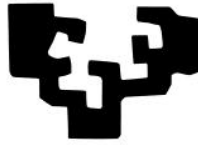


eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

Departamento Ingeniería de Sistemas y Automática  
Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Bilbao

TESIS DOCTORAL

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN Y  
CLASIFICACIÓN DE CAMBIOS EMOCIONALES  
BASADO EN EL ANÁLISIS DE SEÑALES FISIOLÓGICAS  
NO INTRUSIVAS**

**AUTORA**

**Dña. Raquel Martínez Rodríguez**

**DIRECTOR**

**D. Eloy Irigoyen Gordo**

**Bilbao, febrero de 2016**

*A mi familia*



# AGRADECIMIENTOS

---

Hay tanta gente a la que tengo que dar las gracias por poder encontrarme hoy aquí....

Así que te doy las gracias. Si, es a **TI**, gracias por haberme brindado tu apoyo, por haberme ayudado a crecer, por haberme dado lo que necesitaba, tanto si era agradable como si no.

Espero que antes de leer estas líneas, hayas sentido mi gratitud escrita en tu corazón.



## RESUMEN

---

Aunque la autonomía y la independencia de las personas son valores inherentes en los seres humanos, existen colectivos que no pueden disfrutar plenamente de ellos, como es el caso de: personas de la tercera edad, enfermos crónicos, personas con determinada discapacidad intelectual, etc. Promover la independencia de estas personas, tanto en ambientes laborales como sociales, es uno de los principales aspectos para mejorar su calidad de vida y la de los familiares y tutores que los asisten. El estudio de las emociones humanas y sus respuestas ante determinados eventos, es un paso importante para avanzar en este camino.

Dentro de los trabajos cuyo enfoque es el de proporcionar apoyo a las personas con autonomía reducida, el presentado en esta investigación tiene como fin el desarrollo de un algoritmo que permita detectar cambios emocionales a partir de la lectura de variables fisiológicas recogidas de forma no invasiva, como son la variabilidad del ritmo cardíaco (HRV) y la respuesta galvánica de la piel (GSR).

Esta propuesta de tesis presenta un sistema de clasificación emocional en tiempo real basado en máquinas de estados finitos, a partir del análisis de la HRV y GSR. El algoritmo desarrollado detecta la activación del sistema nervioso simpático relacionada con estados de alerta y estrés, y la inhibición del mismo asociada a emociones como el bienestar y la tristeza sin lloro.

Con el objeto de mejorar las propuestas ya existentes, el sistema tiene la capacidad de graduar la activación e inhibición simpática en tres niveles: baja, media o alta, haciendo simultáneamente una clasificación del tipo de activación y etiquetándola como estrés continuado o alerta momentánea.

Se realizaron cuatro experimentos con el objeto de disponer de una base de datos de señales fisiológicas asociadas a cambios emocionales. Para ello se diseñaron varios experimentos que en condiciones de laboratorio, permitan elicitar de la forma más real posible emociones básicas (enfado, bienestar, diversión, sorpresa, asco, miedo y tristeza) y estados de estrés.

Para medir el ratio de acierto del algoritmo en la identificación de las emociones llevadas a estudio, se ha utilizado el parámetro  $F_1$ -score. Los resultados obtenidos tras aplicar el sistema a base de datos, muestran una precisión de 0.98 para detectar estados de activación alta, 0.97 para media y 0.94 para baja. La precisión obtenida en la detección de estados de inhibición es de 1.00 en la emoción sorpresa y 0.987 en bienestar. Una vez analizados los resultados, se puede afirmar que se ha diseñado una herramienta con elevados ratios de acierto en la detección y clasificación de estados emocionales, basada en el estudio de la activación e inhibición del sistema nervioso simpático.



## ÍNDICES

---





## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS .....</b>	<b>1-1</b>
1.1	Motivación.....	1-3
1.2	Objetivos.....	1-6
1.3	Estructura .....	1-7
<b>2</b>	<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>2-1</b>
2.1	Introducción a la psicofisiología .....	2-3
2.1.1	Emoción.....	2-3
2.1.2	Estrés .....	2-5
2.1.3	Sistema nervioso .....	2-6
2.2	Fisiología del sistema nervioso .....	2-8
2.2.1	Neurona y transmisión neuronal.....	2-8
2.2.2	Sistema nervioso central .....	2-10
2.2.3	Sistema nerviosos autónomo y somático.....	2-12
2.2.4	Sistema nervioso periférico.....	2-15
2.3	Clasificación y teorías de la emoción.....	2-17
2.3.1	Clasificación .....	2-17
	Emociones básicas y secundarias .....	2-17
	Emociones positivas y negativas .....	2-20
	Modelo dimensional de la emoción .....	2-20
2.3.2	Teoría de las emociones.....	2-21
	Teoría de JAMES – LANGE .....	2-21
	Teoría de CANNON – BARD .....	2-23
	Teoría de SCHACHTER-SINGER .....	2-24
2.3.3	Biología de las emociones .....	2-25
2.3.4	Propuesta para el análisis de emociones .....	2-26
2.4	Sistemas de identificación .....	2-26
2.4.1	Técnicas de inteligencia artificial.....	2-27
	Algoritmos genéticos.....	2-27
	Redes neuronales .....	2-27
	Lógica difusa .....	2-29
	Máquina de soporte vectorial .....	2-29
2.4.2	Maquina de estados finitos .....	2-30

2.4.3 Propuesta para la identificación de emociones.....	2-31
<b>3 ELICITACIÓN y RECONOCIMIENTO EMOCIONAL.....</b>	<b>3-1</b>
3.1 Metodologías de elicitación emocional .....	3-3
3.2 Reconocimiento de Emociones.....	3-4
3.2.1 Gestos y posturas.....	3-4
3.2.2 Expresiones Faciales .....	3-5
3.2.3 Voz.....	3-6
3.2.4 Fisiología .....	3-7
3.2.5 Actividad Cerebral.....	3-7
3.2.6 Conclusiones .....	3-8
3.3 GSR y ECG - emoción.....	3-8
3.3.1 Bioseñales .....	3-9
GLANDULAS SUDORÍPARAS Y GSR .....	3-9
ACTIVIDAD CARDÍACA Y ECG.....	3-10
3.3.2 Patrones Fisiológicos de la Emoción .....	3-13
ESTRÉS.....	3-13
ENFADO.....	3-14
ASCO.....	3-14
MIEDO .....	3-14
TRISTEZA.....	3-15
BIENESTAR.....	3-15
FELICIDAD.....	3-15
SORPRESA.....	3-16
3.3.3 Conclusiones .....	3-16
<b>4 METODOLOGÍA Y MATERIALES.....</b>	<b>4-1</b>
4.1 Organización .....	4-3
4.2 Experimento i.....	4-4
4.2.1 Diseño de la fase de pruebas .....	4-4
4.2.2 Instrumentos evaluativos .....	4-5
Cuestionario SAM.....	4-5
Anotaciones y marcas .....	4-5
Entrevista .....	4-6
4.2.3 Normativa ética.....	4-6

---

Consentimiento informado .....	4-6
Protección de datos.....	4-6
4.2.4 Registro de los datos .....	4-7
Sistema de adquisición de datos .....	4-7
ECG .....	4-7
GSR.....	4-8
4.2.5 Participantes.....	4-9
4.2.6 Procedimiento .....	4-9
4.3 Experimento II .....	4-11
4.4 Experimento III .....	4-12
4.4.1 ExpIII-A.....	4-13
Participantes.....	4-13
Instrumentos y materiales de estudio.....	4-13
Resultados y Discusión .....	4-15
4.4.2 ExpIII-B.....	4-16
Participantes.....	4-16
Instrumentos y materiales del estudio.....	4-16
Resultados y Discusión .....	4-19
Resultados y Discusión .....	4-28
4.4.3 ExpIII-C.....	4-28
Participantes.....	4-28
Instrumentos y materiales del estudio.....	4-29
Resultados y Discusión .....	4-29
4.5 Experimento IV .....	4-30
<b>5 ANÁLISIS Y PROPUESTA DEL ALGORITMO.....</b>	<b>5-1</b>
5.1 Análisis cualitativo .....	5-3
5.1.1 Activación del SNA.....	5-3
5.1.2 Inhibición del SNAS.....	5-6
5.2 Análisis cuantitativo.....	5-8
5.2.1 Activación del SNAS.....	5-8
5.2.2 Inhibición del SNAS.....	5-13
5.3 Maquina de estados finitos .....	5-16
<b>6 RESULTADOS.....</b>	<b>6-1</b>

---

6.1	Resultados de los experimentos I y II.....	6-3
6.2	Resultados del experimento IV .....	6-9
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS .....</b>	<b>7-1</b>
7.1	Conclusiones .....	7-3
7.2	Líneas futuras.....	7-4
7.3	Contribuciones .....	7-5
7.3.1	Artículos en publicaciones indexadas .....	7-5
7.3.2	Artículos en publicaciones no indexadas.....	7-6
7.3.3	Congresos Internacionales.....	7-9
7.3.4	Congresos nacionales.....	7-10

**Referencias**

**Siglas y Acrónimos**

---

**ÍNDICE DE FIGURAS**
**Figuras Capítulo 1**

Figura 1.1 Las tres disciplinas involucradas en esta investigación ..... 1-4

**Figuras Capítulo 2**

Figura 2.1 Disciplinas involucradas en Psicofisiología ..... 2-3

Figura 2.2 Síndrome General de Adaptación (SGA)..... 2-6

Figura 2.3 Posición anatómica de los componentes del SNC y SNP ..... 2-7

Figura 2.4 Disciplinas involucradas en la fisiología del sistema nervioso ..... 2-8

Figura 2.5 Partes de la neurona y sinapsis química

(Fuente:<https://sites.google.com/site/preupsubiologia/glosario>) ..... 2-9

Figura 2.6 Trasmisión de información de las neuronas a una célula efectora. .... 2-10

Figura 2.7 Componentes del encéfalo (Fuente: Thibodeau GA, Patton KT. Anatomía y fisiología 6ª Ed.

Madrid: Editorial Elsevier, 2007) ..... 2-11

Figura 2.8 Sistema límbico (Fuente: Blog grupo de amistades rialto) ..... 2-11

Figura 2.9 Flujo de transmisión del SNC (Fuente: Ximena Páez) ..... 2-13

Figura 2.10 Organización de la respuesta conductual, endocrina y autonómica (Fuente: X. Navarro) ..... 2-13

Figura 2.11 Nervio espinal (Fuente: Ximena Páez) ..... 2-15

Figura 2.12 Anatomía del SNA periférico (Fuente:blog blogdebiología) ..... 2-16

Figura 2.13 Ejemplo de la transmisión de un estímulo y su respuesta motora (Fuente:

[www.getbodysmart.com](http://www.getbodysmart.com))..... 2-16

Figura 2.14 Disciplinas involucradas en la emoción ..... 2-17

Figura 2.15 Modelo tridimensional de las 8 emociones básicas de Plutchik..... 2-18

Figura 2.16 Clasificación de emociones en positivas y negativas. .... 2-20

Figura 2.17 Clasificación dimensional de las emociones ..... 2-21

Figura 2.18 Teoría de la emoción de James-Lange..... 2-22

Figura 2.19 Teoría de la emoción de Cannon-Bard ..... 2-23

Figura 2. 20 Teoría de Schachter-Singer de la emoción ..... 2-24

Figura 2. 21 Disciplinas involucradas en los sistemas de identificación ..... 2-26

Figura 2.22 Diagrama representativo de las redes neuronales..... 2-28

Figura 2.23 Ejemplo de varios vectores para la clasificación de dos clases. .... 2-30

**Figuras Capítulo 3**

Figura 3.1 Comunicación no verbal entre varias personas (Fuente: enbuscadeantes.com) ..... 3-5

Figura 3.2 Facial Action Coding System (FACS) diseñado por Ekam y Freise (1978).  
(Fuente:<https://merkikerk.wordpress.com/2015/05/07/facial-action-coding-system/>)..... 3-6

Figura 3.3 La imagen cerebral de la izquierda muestra el patrón de señales típico de la alegría, mientras que la de la derecha muestra el patrón típico de la tristeza.(Fuente: Universidad Carnegie Mellon) ..... 3-8

Figura 3.4(a) glándula sudorípara e inervación simpática sin activación, (b) con activación (Fuente: impetomedical)..... 3-10

Figura 3.5 Proceso para el cálculo de la conductividad de la piel..... 3-10

Figura 3.6 Potencial de las células cardíacas (a) autoexcitables o de respuesta lenta (b) muscular o de respuesta rápida (Fuente: fisiologiabasica-facultad-uas) ..... 3-11

Figura 3.7 Potencial de acción típico de cada segmento del corazón ..... 3-12

**Figuras Capítulo 4**

Figura 4.1 Organización del proceso experimental ..... 4-3

Figura 4.2 Puzle y resolución ..... 4-4

Figura 4.3 Cuestionario evaluación dimensional SAM..... 4-5

Figura 4.5 Biopac MP36 ..... 4-7

Figura 4.6 Electrodo y su colocación en el cuerpo humano..... 4-8

Figura 4.7 Colocación de los electrodos para medir el GSR ..... 4-8

Figura 4.8 Emplazamiento de los materiales necesarios para la realización del experimento. .... 4-10

Figura 4.9 Cronograma de tiempos del Experimento I ..... 4-10

Figura 4.10 Cronograma de tiempos del Experimento II ..... 4-12

Figura 4. 11 Cronograma de tiempos del Experimento III ..... 4-14

Figura 4. 12. Intensidad emocional de la emoción objetivo y comparativa discreta de emociones obtenida a partir del CED..... 4-20

Figura 4.13 Distribución de cada película en el espacio dimensional ..... 4-25

Figura 4. 14 Cronograma de tiempo del Experimento IV ..... 4-29

**Figuras Capítulo 5**

Figura 5. 1 Señales fisiológicas recogidas del HRV y GSR (a) corresponde con las señales del sujeto A y (b) con las del B. .... 5-5

Figura 5. 2 SCR de señal GSR..... 5-7

Figura 5. 3 Señal GSR y sus respectivas marcas (a) corresponde con las señales del sujeto A y (b) con las del B..... 5-8

---

Figura 5. 4 Análisis cualitativo de las señales fisiológicas con el objetivo de estudiar diferentes niveles y clases de estrés en tiempo real .....	5-10
Figura 5. 5 Estudio y clasificación de 3 de los 6 estados de activación (a) se corresponde con low-stress level, (b) high-stress y (c) high-alert. ....	5-11
Figura 5.6 Representación de arriba hacia debajo de: la señal HRV, GSR, pendiente de HRV, pendiente de GSR y multiplicación de ambas pendientes.....	5-12
Figura 5.7 Análisis cualitativo de las señales fisiológicas con el objetivo de estudiar diferentes niveles y clases de inhibición del SNAS en tiempo real. ....	5-14
Figura 5.8 Estudio y clasificación de los 3 de inhibición simpática (a) se corresponde con un nivel alto, (b) medio y (c) bajo .....	5-14
Figura 5.9 Señal GSR (arriba), pendiente de la señal (medio) y el área normalizada (abajo).....	5-15

**Figuras Capítulo 6**

Figura 6.1 Las señales de diferentes participantes: señal HRV (arriba), señal GSR (medio) y el resultado de las máquinas de estados (abajo). En la parte superior de cada figura aparece las etiquetas manuales de los <u>distintos</u> eventos visualizados. ....	6-4
Figura 6.2 Señales fisiológicas de uno de los participantes del experimento de la visualización. La primera gráfica muestra la señal del HRV, la segunda el GSR y la tercer la salida de la máquina de estados FSM_A en rojo, y FSM_B en azul .....	6-8
Figura 6.3 Señales de dos de los participantes del experimento emocional, HRV arriba y GSR en medio. La salida de las FSM_A (rojo) y FSM_I (azul) se muestran al final de cada figura.....	6-10



## ÍNDICE DE TABLAS

### Tablas Capítulo 2

Tabla 2.1 Clasificación de emociones básicas según el autor y criterio de elección .....	2-19
--	------

### Tablas Capítulo 4

Tabla 4.1 Películas con sus parámetros utilizados en ExpIII-A.....	4-15
Tabla 4.2 Listado de Películas en el ExpIII-3 .....	4-17
Tabla 4.3 Comparativa de medias entre el ExpB y ExpC.....	4-27

### Tablas Capítulo 5

Tabla 5.1 Condiciones de los parámetros evaluados para determinar estados de activación.....	5-13
Tabla 5. 2 Valores de las características pGSR y área normalizada correspondientes a los tres estados de inhibición del SNAS.....	5-15

### Tablas Capítulo 6

Tabla 6.1 Resultados del FSM_A para estados de activaciones medias y altas.....	6-6
Tabla 6.2 de la FSM_A para estados de estrés y alerta bajos.....	6-7
Tabla 6.3 Resultados del FSM_I para estados de inhibición del SN.....	6-8
Tabla 6.4 Resultados del las maquinas de estados para la identificación emociones.....	6-10

# 1 MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

---

*“Lo importante en ciencia no es tanto obtener nuevos hechos, como descubrir nuevas formas de pensar sobre ellos”*

Albert Szent-Györgi

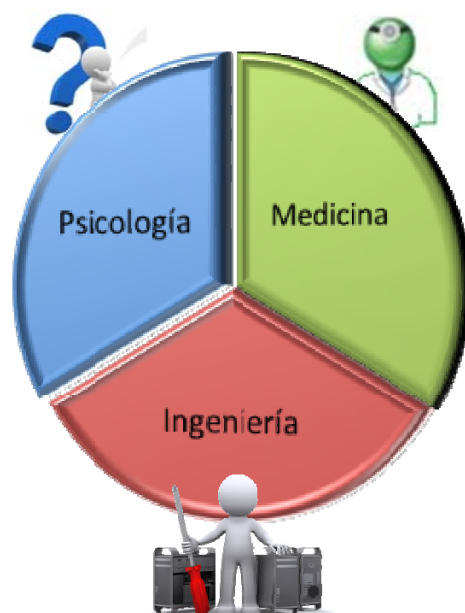


## 1.1 MOTIVACIÓN

La Unión Europea concentra gran parte de sus actividades de investigación e innovación en el Programa Marco denominado Horizonte 2020 (H2020), donde tienen como reto específico crear una Europa en un mundo cambiante, de sociedades inclusivas, innovadoras y reflexivas. Estos retos están impulsados para ser abordados de forma multidisciplinar y novedosa, con el objetivo de estimular nuevas ideas y formas de resolver los proyectos, estableciendo un modelo de trabajo con una visión global. De este modo, se pueden desarrollar de forma conjunta soluciones a los conflictos y problemas surgidos, que den respuesta a dichos desafíos. Uno de los objetivos estratégicos del H2020 es investigar las grandes cuestiones que afectan a la sociedad Europea, entre las cuales se encuentra la salud y el bienestar social, unido a mejorar el envejecimiento de la población.

Parece inevitable que antes o después se produzca un cambio efectivo de paradigma en el concepto de sanidad, hacia un modelo en el que el ciudadano y el paciente pasen a ser el eje central del modelo sanitario. Un aspecto innovador en estas nuevas tendencias es el de incluir dentro del diagnóstico del paciente su estado emocional, para poder posteriormente extenderlo a su asistencia personal, como un importante apoyo para la evolución del mismo. En este sentido, las TIC están demostrando un gran potencial para lograr la mejora en el sistema Sanitario y Social.

El uso combinado en el ámbito médico-asistencial de Tecnologías Electrónicas, de Tecnologías de la Información, junto a la Ingeniería de Sistemas, ha dado como resultado lo que se denomina Ingeniería Biomédica. Actualmente, existen inquietudes en múltiples grupos de investigación de ingeniería que desean aplicar conocimientos técnicos a sistemas que mejoren la calidad de vida de las personas. Por otro lado, existen igualmente equipos médicos que necesitan soluciones tecnológicas para mejorar los procesos de diagnóstico, mediante detección automática de ciertas patologías que actualmente son detectadas de forma visual o sensitiva. Además, desde el ámbito social también se solicita el desarrollo de herramientas que ayuden a la mejora de la independencia de aquellas personas que no pueden gozar libremente de ella motivada por algún tipo de discapacidad y por ende están en riesgo de exclusión. Por lo tanto, la búsqueda de soluciones en este contexto viene motivada fundamentalmente a partir de las necesidades aparecidas en tres áreas diferentes (Figura 1.1) que aunque alejadas en sus dominios, convergen en un único objetivo “la mejora de la calidad de vida de las personas que sufren algún tipo de enfermedad y/o discapacidad”



**Figura**

**Figura 1.1 Disciplinas involucradas en esta investigación**

En la actualidad, una línea de investigación que presenta muchos y buenos resultados es la referente al estudio de las emociones humanas. Algunos colectivos, como es el caso de los autistas y personas con parálisis cerebral, tienen dificultades para expresar sus emociones quedando limitadas las vías de comunicación con su entorno (Gibson y col. 2013). Ello genera en las personas que están a su cuidado gran ansiedad por no saber si algo les duele, molesta o agrada. Otros como las personas con discapacidad intelectual, ante la vivencia de situaciones estresantes pueden manifestar repentinos cambios emocionales y conductuales que derivan en estados de bloqueo. Dichos estados ponen en compromiso la integridad del individuo, lo que conlleva una clara limitación de sus capacidades y actividades, dificultando su participación en la comunidad, tal y como pusieron de manifiesto Emerson y col. (1999).

Por lo tanto, un problema a estudiar de principal relevancia es identificar cómo se manifiestan en las personas las respuestas emocionales ante eventos determinados, para poder detectarlos y ayudar a los colectivos anteriormente mencionados a mejorar la comunicación con su entorno, su autonomía personal y por lo tanto, en su vida diaria. Cuando un individuo vive cualquier situación tanto negativa como positiva, su organismo responde psico-fisiológicamente bien para afrontarla o para mantenerse en un estado de conservación de la energía (Cannon 1935). Es por ello, que una de las formas de poder identificar cambios emocionales es la lectura de las variables fisiológicas.

Dentro de las posibilidades para abordar el estudio de las emociones, la aportación que ofrece el mundo tecnológico puede ayudar a robustecer los análisis de los mismos. Y es a través de la Computación Afectiva, una disciplina de la Inteligencia Artificial, que se intenta desarrollar métodos computacionales orientados a reconocer emociones humanas (Picard, R.W. y Ricard R., 1997).

Desde el punto de vista de la psicología, la Inteligencia Emocional es la disciplina que tiene como uno de sus objetivos el reconocimiento y comprensión de los diferentes modos de identificar y expresar los sentimientos, para luego poder identificar por nosotros mismos porqué una situación ha generado unos sentimientos determinados y cómo poder modularlos (Goleman, 2010). La Computación Afectiva puede ser una herramienta que aporte feedback acerca de qué le está ocurriendo a la persona y cómo se encuentra, complementando la aportación de la Inteligencia Emocional.

Son múltiples las investigaciones que estudian y analizan qué tipo de respuesta fisiológica muestra el cuerpo humano ante situaciones que producen cambios emocionales. La capacidad de medir los cambios fisiológicos originados en el organismo está contrastada y existen múltiples líneas de investigación que lo demuestran a través de sus contribuciones. Partiendo de este conocimiento, queda por resolver el modo en el cual poder identificar dichos cambios emocionales mediante la medida de señales fisiológicas capturadas de forma no intrusiva. Es decir, prescindir de dispositivos que alienen el espacio y la intimidad de las personas, generando herramientas adaptadas que puedan ser portadas de forma natural, sin sentirse “conectado, ni observado”. Ello requiere de soluciones que estudien cómo identificar dichos cambios a través de señales fácil y discretamente medibles, como el ritmo cardíaco o la sudoración de una persona.

La propuesta de tesis doctoral que se presenta en este trabajo, nace del interés por parte de su autora en ahondar en el conocimiento de las emociones y su relación con la fisiología del cuerpo humano, aportando desde el mundo tecnológico el desarrollo de un algoritmo capaz de analizar las emociones a través de las bioseñales generadas en el organismo. Esto permitirá mejorar las herramientas relacionadas con la Computación Afectiva que ayudarán al autoconocimiento emocional, la resolución de conflictos, manejo del estrés, etc., en definitiva, aumentar el bienestar personal.

## 1.2 OBJETIVOS

El **objetivo general** de esta tesis consiste en la detección e identificación automática de situación de estrés y cambios emocionales analizando señales fisiológicas, concretamente aquellas que se puedan recoger de forma no intrusiva, posibilitando en una línea futura realizar una aplicación que sea implementable y portable.

De este objetivo general, se derivan los siguientes objetivos específicos:

- Establecer las nociones básicas sobre las emociones y el estrés, cuáles son sus funciones y cómo se manifiestan fisiológicamente.
- El estudio del sistema nervioso, debido a que es el responsable de percibir y procesar la información proveniente del medio externo o interno del cuerpo, con el fin de regular los demás órganos y sistemas.
- Integrar los conocimientos psico-fisiológicos para poder realizar una correcta lectura de las variables fisiológicas y comprender qué ha ocurrido en el organismo.
- Estudio de las diferentes técnicas de detección e identificación automática de emociones, para posteriormente seleccionar aquella que mejor se adecua a los requerimientos de nuestro sistema.
- Revisión de los trabajos relacionados con la elicitación y reconocimiento de emociones en entornos de laboratorio, con el objetivo de poder diseñar experimentos capaces de provocar diferentes emociones.
- Diseño y realización de varios experimentos para la elicitación de estados de estrés en condiciones de laboratorio, con el objetivo de disponer de una base de datos de señales fisiológicas asociadas a situaciones de estrés.
- Diseño y validación de un conjunto de estímulos audiovisuales para la elicitación de diferentes emociones (asco, ira, tristeza, bienestar, enfado, sorpresa y alegría) en entornos de laboratorio, con el objetivo de obtener una base de datos de señales fisiológicas en respuesta a dichas emociones.
- Análisis de las señales fisiológicas recogidas en búsqueda de patrones fisiológicos emocionales.
- Diseño de un algoritmo para el reconocimiento automático de emociones a través de los patrones fisiológicos detectados.
- Realizar una difusión de los trabajos realizados en congresos internacionales y revistas con índices de impacto.

### 1.3 ESTRUCTURA

Esta tesis está compuesta por siete capítulos. Una vez definidos en el **primer capítulo** tanto la motivación como los objetivos marcados en este trabajo, el **segundo capítulo** está dedicado a realizar una descripción genérica de los aspectos más relevantes de las tres disciplinas integradas en esta investigación. Primero se realiza una pequeña introducción sobre la naturaleza de las emociones y las situaciones de estrés, después se describe la fisiología del sistema nervioso como elemento comunicador del cuerpo humano y por último se realiza un estudio de las diferentes técnicas de identificación automática de patrones.

El **tercer capítulo** comienza con una revisión de las metodologías de elicitación de emociones en condiciones de laboratorio. Posteriormente, se realiza un estado del arte de las diferentes formas de reconocimiento emocional, y se eligen las variables fisiológicas como modo de identificación; más concretamente el electrocardiograma y la sudoración de la piel. Para finalizar el capítulo, se profundiza en la fisiología de las señales biológicas elegidas y se buscan patrones fisiológicos emocionales de dichas señales.

En el **cuarto capítulo** se explica la metodología y los materiales necesarios para la realización de varios experimentos, que tienen por objeto la obtención de una base de datos de señales fisiológicas relacionadas con cambios emocionales.

En el **quinto capítulo** se analizan la base de datos anteriormente mencionada, con el objetivo de diseñar un algoritmo que sea capaz de detectar y clasificar tanto la activación, como la inhibición del sistema nervioso autónomo simpático, relacionadas con situaciones de estrés y estados de relajación o tristeza sin lloro respectivamente.

A lo largo del **capítulo sexto** se muestran los resultados obtenidos tras aplicar el algoritmo a las variables fisiológicas recogidas durante la fase experimental y se cuantifica la precisión del sistema para la identificación de las emociones llevadas a estudio.

Por último en el **capítulo séptimo** se agrupan las conclusiones, las líneas futuras y las aportaciones de este trabajo de investigación al mundo científico.





## 2 ANTECEDENTES

---

*“No hay que apagar la luz del otro para lograr que brille la nuestra”*

Ghandi



Este capítulo pretende mostrar cuántas fuentes y referencias han sido consultadas, con el objeto de poder asentar los conceptos necesarios para el desarrollo de la presente tesis en sus tres disciplinas. Adquiriendo conocimientos acerca de la emociones (psicología), los procesos fisiológicos que desencadenan una respuesta emocional (medicina) y las técnicas automáticas existentes para la detección de patrones (ingeniería).

## 2.1 INTRODUCCIÓN A LA PSICOFISIOLOGÍA

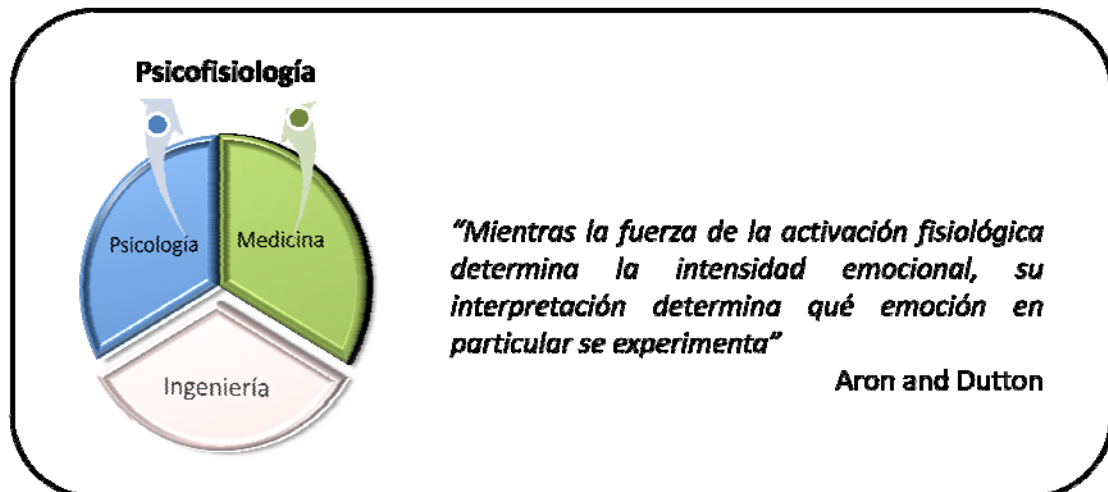


Figura 2.1 Disciplinas involucradas en psicofisiología

Uno de los principales objetivos de este trabajo, es el estudio de las emociones, las situaciones de estrés y la relación de ambas con los cambios fisiológicos. Existe una rama de la psicología denominada psicofisiología, que se encarga de la aplicación de la lectura fisiológica para la comprensión de los fenómenos emocionales, con objeto de encontrar las estructuras que median entre ellos.

Para poder profundizar en los aspectos más relevantes de la psicofisiología, primeramente es indispensable tener unas nociones básicas sobre la naturaleza de la emoción, el estrés y el sistema nervioso como medio de intercomunicación corporal.

### 2.1.1 EMOCIÓN

Aunque día a día experimentamos infinidad de emociones, nos es difícil identificarlas e incluso a veces hasta reconocerlas. Gracias a las emociones, sentimos, expresamos, enfocamos nuestra conducta, reaccionamos ante situaciones de peligro, en definitiva vivimos.

A pesar de lo importante que son las emociones, se podría afirmar que, en el pasado han recibido escasa atención por parte de la Psicología, la cual estaba más enfocada a un estudio de

la conducta. Las emociones se veían como algo instintivo, una parte de nuestra herencia evolutiva que había que reprimir. Sin embargo, a principios del siglo XX los científicos empezaron a darse cuenta de la importancia de las emociones (Chóliz, 2005). Actualmente se piensa que son esenciales para la supervivencia, e importantes para el enriquecimiento personal, hasta el punto que se están introduciendo poco a poco dentro de la educación, como una materia más que incrementa el conocimiento del estudiante (Goleman, 2010; Damasio, 2010).

### ¿Qué es la emoción?

*"Casi todo el mundo piensa que sabe qué es una emoción hasta que intenta definirla. En ese momento prácticamente nadie afirma poder entenderla."*

(Wenge, Jones, & Jones, 1962)

El concepto de emoción es tan complejo, que ni los propios científicos se ponen de acuerdo a la hora de definirla. Como comenta Frijda (1986), aunque no hay una definición estandarizada sobre la emoción, la mayoría de los autores están de acuerdo en el hecho de que la emoción es un fenómeno que engloba diversos procesos.

En estos procesos, coincidiendo con el modelo tridimensional de la ansiedad propuesto por Lang (1968), intervienen tres componentes:

- **Cognitivo:** Es un componente que puede realizarse de forma consciente o inconsciente y está basado en la valoración subjetiva de un acontecimiento.
- **Fisiológico:** Es un proceso mayoritariamente involuntario, cuya función es la de generar los cambios fisiológicos necesarios para adaptar al organismo a la situación vigente.
- **Conductual:** La expresión de las emociones tiene una dimensión conductual –expresiva. La manifestación de la emoción nos ayuda a optimizar la experiencia afectiva, tanto en la comunicación con nuestro entorno, como en la movilización fisiológica que acelera la respuesta emocional.

### ¿Para qué sirven las emociones?

Las emociones presentan 3 funciones importantes:

- **Adaptativa:** Cada emoción tiene su propia utilidad y ayuda a la persona a adaptarse de la mejor manera posible al evento que la originó. Por ejemplo, el miedo tiene la función de proteger y el asco previene de la ingesta de alimentos en mal estado.
- **Motivacional:** Energiza la conducta motivada que se realiza de una forma más vigorosa y eficaz. Las emociones predisponen al organismo a realizar respuestas enfocadas a cubrir las necesidades básicas, metas y entornos.

- **Comunicativa:** Abarca la comunicación intrapersonal y la interpersonal. De la intrapersonal obtenemos información propia. En cambio, en la interpersonal se presta atención a la comunicación verbal y no verbal, que influyen en la conducta de los demás.

En definitiva, las emociones son una respuesta emocional de sensaciones agradables y desagradables que difieren en intensidad y duración. Estas sensaciones nos ayudan a afrontar determinadas circunstancias de nuestra vida con mayor o menor éxito.

Por lo tanto, cuanto mayor conocimiento se tenga de las emociones, de cómo identificarlas y manejarlas, mayor éxito tendremos en el desarrollo de nuestras vivencias cotidianas, tal y como plantea Goleman (2010) en el aprendizaje de la inteligencia emocional.

### 2.1.2 ESTRÉS

El término estrés tiene su origen en el estudio de la física del siglo XVII, donde el inglés Robert Hooke lo aplicaba para explicar la relación entre la deformación de un objeto y las fuerzas aplicadas sobre este. A partir de ese momento, comienza la exportación de dicha terminología en otras ciencias como la medicina, la biología y la química. Fue en el siglo XX cuando Walter Cannon (1911) realizó una serie de investigaciones donde se aplica el término estrés conjuntamente en la psicología y en la medicina.

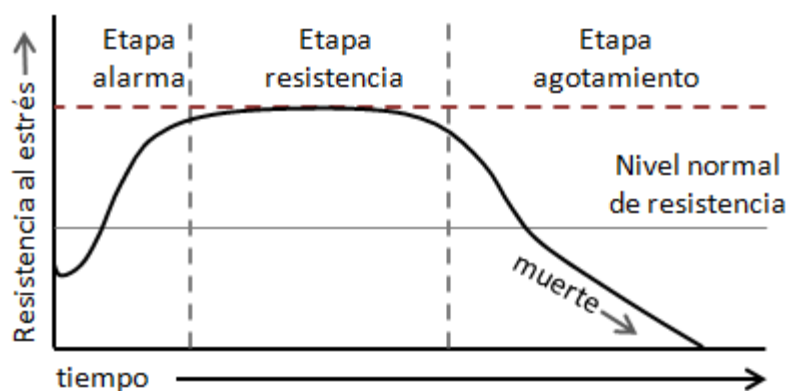
La aportación de Cannon (1935) al mundo psicológico, le condujo a postular una nueva teoría sobre el estrés como mecanismo de adaptación ante situaciones potencialmente nocivas y a acuñar el término homeostasis.

*“La Homeostasis es el conjunto de fenómenos de autorregulación que llevan al mantenimiento de la constancia en las propiedades y la composición del medio interno de un organismo”.*

Cannon defiende que cuando un individuo se enfrenta a una situación peligrosa, aparece el estrés como respuesta para poder solventarla, bien sea luchando o huyendo (“Lucha-huida”). Mientras tanto, en el organismo se genera una reacción de alarma, conocida como “Arousal” que activa el sistema nervioso autónomo, más concretamente la rama simpática, junto con el sistema límbico con el objetivo de mantener el balance homeostático.

A mediados del siglo XX se reconocen los efectos negativos del estrés en la vida de las personas, tanto en temas referentes a su salud, como en sus conductas. Siguiendo este enfoque, Hans Selye propuso nuevas definiciones del estrés basadas tanto en el estímulo que lo provoca, como en la respuesta que se produce. Su trabajo también aportó dos conceptos novedosos. El primero es el Síndrome General de Adaptación (SGA) (Selye, 1946), definido como suma de todas las

reacciones sistémicas del cuerpo, tras una larga y continua exposición al estrés. El SGA está caracterizado en su desarrollo por tres fases consecutivas denominadas: reacción de alarma, estadio de resistencia y agotamiento. La evolución de dichas fases queda reflejada en la Figura 2.2 tal y como proponen actualmente Kim y col, (2012). El segundo concepto es el de **estresor**, utilizado para definir el agente que provoca el estrés (Selye, 1956).



**Figura 2.2 Síndrome General de Adaptación (SGA)**

A finales del siglo XX se continuó profundizando en el estudio del estrés, llegando a ofrecer dos nuevos enfoques conceptuales. El primero lo aporta Richard Lazarus (1984), el cual reconoce la importancia del entorno y la valoración cognitiva del suceso a la hora de generar una respuesta de estrés. El segundo, aparece nuevamente de la mano de Selye, diferenciando entre el estrés positivo o Eustrés, y el negativo, Distrés (Selye, 1978).

### **2.1.3 SISTEMA NERVIOSO**

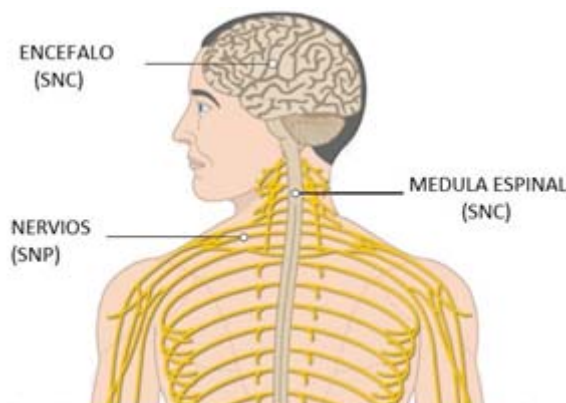
Todas las personas necesitan establecer conexiones con el ambiente que les rodea y con su medio interno, con el fin de poder realizar las acciones necesarias que les permitan seguir desarrollando sus procesos vitales. Las funciones como la digestiva, respiratoria, la eliminación de productos tóxicos, etc., requieren de una perfecta coordinación de todo el organismo, siendo los sistemas nervioso y endocrino los que regulan dichas funciones. El sistema nervioso utiliza un gran número de células especializadas (neuronas) para formar vías de conducción que transmiten información, mientras que el sistema endocrino segrega hormonas distribuidas a través de la sangre. El trabajo desarrollado en la presente tesis, se centrará en el estudio del sistema nervioso (SN), debido a que es el mayor responsable de la comunicación y respuesta del cuerpo humano.

El sistema nervioso, en función de su localización, se divide en dos grandes subsistemas:

- 1. Sistema nervioso central (SNC):** Compuesto por el encéfalo y la médula espinal.

2. **Sistema nervioso periférico (SNP):** Dentro del cual se incluyen todos los tejidos nerviosos situados fuera del sistema nervioso central y que conectan órganos y tejidos con el SNC.

En La Figura 2.3 se puede observar la ubicación del SNC y el SNP dentro del organismo (Cacioppo y col., 2007).



**Figura 2.3 Posición anatómica de los componentes del SNC y SNP**

El sistema nervioso es el responsable de las funciones intelectivas, como la memoria y las emociones, y proporciona la mayor parte de funciones de regulación del cuerpo. Estas funciones pueden agruparse en tres básicas:

#### **Funciones sensoriales - aferentes**

Gran parte de las actividades del sistema nervioso se inician por la recepción sensorial del medio externo o interno. El organismo recibe estímulos externos que pueden ser de diversos tipos: químicos (olfato o sabor), físicos (temperatura, sentido de la visión), mecánicos (sonido, presión-tacto, golpe), etc. Así mismo, también percibe estímulos originados en el interior del organismo, como los cambios de temperatura interna, del ritmo cardiaco, modificaciones en la presión arterial, secreción de glándulas, etc. Las neuronas que transmiten la información sensorial al encéfalo o a la médula espinal se denominan neuronas sensoriales o aferentes.

#### **Funciones integradoras**

Una vez percibido un estímulo, la información captada por las neuronas sensoriales se transfiere a diferentes partes del encéfalo, donde tras ser analizada se construirán las decisiones pertinentes para que tenga lugar la respuesta más apropiada al estímulo recibido. En las funciones integradoras participan las llamadas interneuronas.

#### **Funciones motoras - eferentes:**

Responden a las decisiones tomadas por la función integradora para controlar diversas actividades corporales, a través de la regulación de la contracción de los músculos y la secreción de glándulas exocrinas y endocrinas. Las neuronas encargadas de esta función son las neuronas



motoras o eferentes y transmiten información del encéfalo y la médula espinal a las diversas estructuras corporales.

## 2.2 FISIOLÓGÍA DEL SISTEMA NERVIOSO



**Figura 2.4 Disciplinas involucradas en la fisiología del sistema nervioso**

A fin de conocer cuál es el comportamiento del cuerpo ante cualquier cambio emocional, se hace necesario conocer cómo el sistema nervioso recibe la información de un estímulo, la transfiere y procesa, ejecutando la acción motora correspondiente. Estos fenómenos intervienen directamente en el modo de presentarse las emociones y por ende, de la forma en que deben ser analizadas las respuestas del cuerpo humano ante un cambio emocional.

A continuación se hará una descripción de los elementos que forman el sistema nervioso y cómo se realiza la comunicación entre ellos.

### 2.2.1 NEURONA Y TRANSMISIÓN NEURONAL

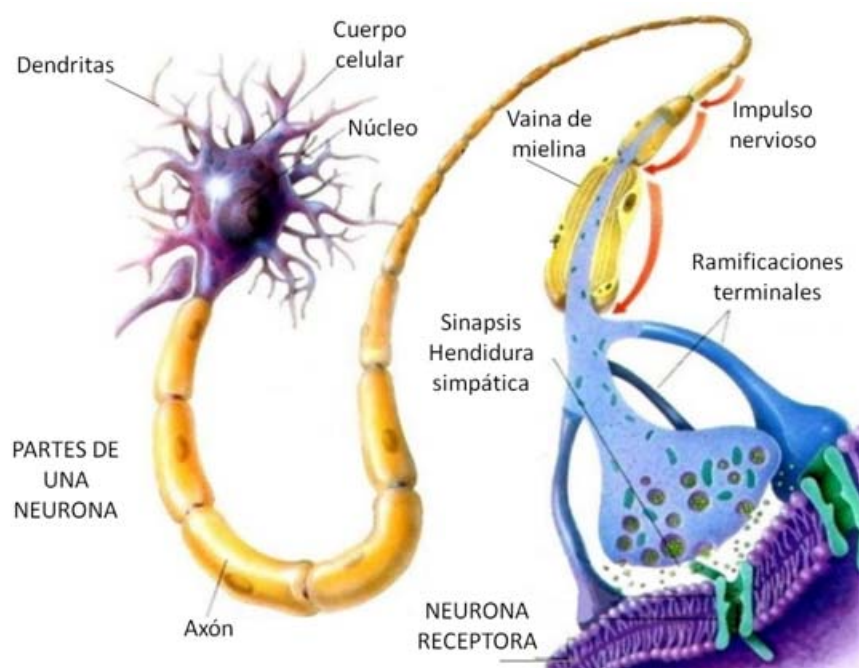
La neurona es el nombre que se le da a la célula nerviosa y a sus prolongaciones. Las neuronas son células excitables especializadas para la recepción de diferentes estímulos y su conducción hacia otras neuronas, células, tejidos y órganos efectores (Butler, 2002). Cada neurona se puede comunicar con muchas otras al mismo tiempo y su comportamiento se basa en el equilibrio de las influencias que la excitan o inhiben en un momento dado.

Existen diferentes tipos de neuronas, pero todas ellas tienen una estructura básica compuesta por un cuerpo celular de la cual nacen varias prolongaciones llamadas neuritas. Las neuritas encargadas de recibir la información y llevarla al núcleo de la célula se llaman dendritas. La neurita más larga y la única responsable de sacar la información desde el cuerpo celular en

forma de impulsos eléctricos es el axón. Este puede llegar a medir hasta un metro, de forma que puede conducir el impulso eléctrico a otro lugar del sistema nervioso donde se encuentran las dendritas de otra neurona con la que se comunica. Las dendritas y axones se pueden llamar también fibras nerviosas y a la comunicación entre neuronas, sinapsis.

La mayoría de las neuronas puede hacer conexiones con más de 1.000 neuronas y pueden recibir hasta 10.000 conexiones de otras (Snell, 2007). Hay al menos 9 tipos de interacciones neuronales: acoplamiento electrónico, sinapsis eléctrica, química, recíprocas, combinadas, mixtas, seriadas, modulación química de un acoplamiento electrotónico y autapsis. La mayoría de las sinapsis son de tipo químico, en las cuales una sustancia, el neurotransmisor, se difunde a través del estrecho espacio entre las células nerviosas haciendo de puente entre ellas y se adhiere a una molécula proteica en la membrana postsináptica. A la neurona que libera el neurotransmisor se le llama neurona presináptica y a la receptora postsináptica. Dependiendo del tipo de neurotransmisor liberado, las neuronas postsinápticas son estimuladas (excitadas) o desestimuladas (inhibidas).

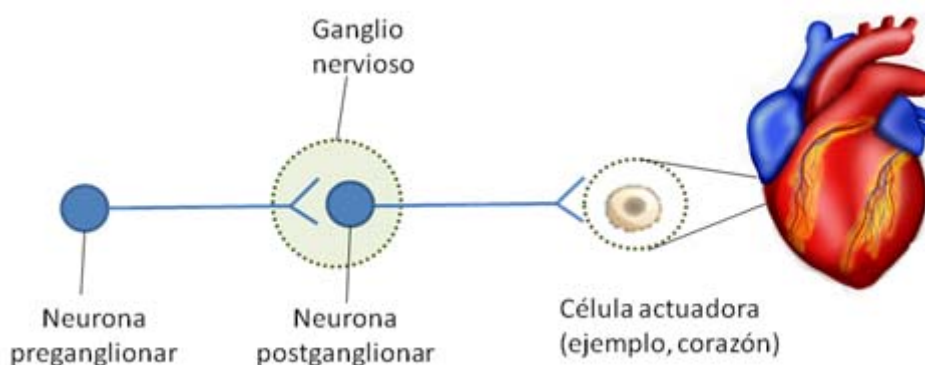
En la Figura 2.5 se puede observar tanto los elementos de los que consta la neurona, como el proceso de sinapsis químico.



**Figura 2.5 Partes de la neurona y sinapsis química**  
 (Fuente: <https://sites.google.com/site/preupsubiologia/glosario>)

Existen diferentes tipos de neurotransmisores: acetilcolina, noradrenalina, adrenalina, dopamina, serotonina y glutamato, siendo los más comunes la acetilcolina y la noradrenalina (Burnstock, 1992).

Como se ha comentado anteriormente, la sinapsis también puede originarse entre una neurona y una célula efectora que actuará sobre los músculos para moverlos, o glándulas para la secreción de hormonas. En la Figura 2.6, se muestra un esquema de la trasmisión de información de neuronas hasta una célula efectora final perteneciente al corazón.



**Figura 2.6 Trasmisión de información de las neuronas a una célula efectora.**

Los receptores colinérgicos se dividen en dos tipos: muscarínicos y nicotínicos. Los nicotínicos se encuentran en las neuronas de los ganglios autonómicos y en el músculo esquelético. Los receptores de ambas localizaciones difieren en su respuesta a agentes antagonistas. Las fibras posganglionares colinérgicas activan receptores muscarínicos de la membrana del músculo liso o de las células glandulares, que son bloqueados específicamente por la atropina. Entre los receptores muscarínicos se han diferenciado tres subtipos farmacológicos y cinco formas moleculares distintas. La estimulación de algunos tipos causa **activación** y la de otros **inhibición**, según la localización del receptor (Ramos, 2001).

Los receptores adrenérgicos se clasifican en: alfa y beta. Los receptores alfa se subdividen en  $\alpha 1$  o  $\alpha 2$ . Los receptores  $\alpha 1$  son posganglionares y suelen mediar respuestas excitadoras. Los  $\alpha 2$  son preganglionares y regulan la liberación y recaptación de noradrenalina. En cuanto a los receptores beta, los  $\beta 1$  se ubican en el miocardio, y los  $\beta 2$  en otros órganos periféricos, a menudo presinápticamente. En ocasiones, ambos tipos de receptores están presentes en el mismo órgano y determinan funciones diferentes, mientras los receptores beta relajan el músculo, los alfa lo contraen (Navarro, 2002).

## 2.2.2 SISTEMA NERVIOSO CENTRAL

El SNC está formado por el encéfalo y la médula espinal. El encéfalo es la parte del sistema nervioso central contenida en el cráneo y el cual comprende el cerebro, el cerebelo, el diencefalo y el tronco encefálico (Barr e Isoard, 2000). El cerebro está compuesto por la corteza y el cuerpo caloso, el diencefalo por el tálamo, epítesis e hipotálamo, y el tronco del encéfalo por

el mesencéfalo, protuberancia y bulbo raquídeo. En la Figura 2.1 se puede observar los subsistemas que componen el encéfalo.

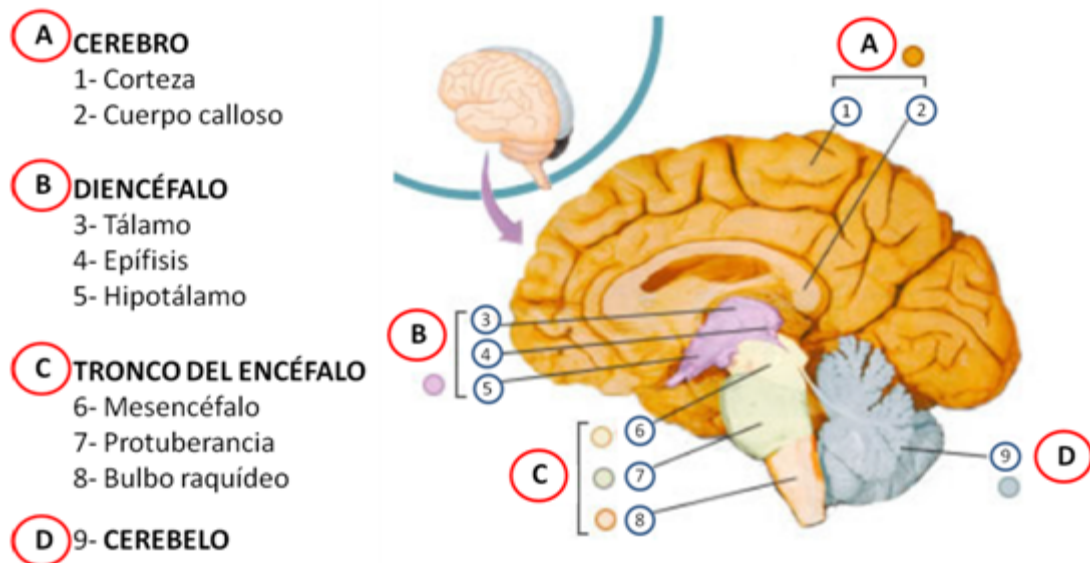


Figura 2.7 Componentes del encéfalo (Fuente: Thibodeau GA, Patton KT. Anatomía y fisiología 6ª Ed. Madrid: Editorial Elsevier, 2007)

La médula espinal es la parte del sistema nervioso central situado en el interior del canal vertebral y se conecta con el encéfalo a través del agujero occipital del cráneo. El SNC (encéfalo y médula espinal) recibe, integra y correlaciona distintos tipos de información sensorial.

Además el SNC es también la fuente de nuestros pensamientos, emociones y recuerdos. Es aquí donde entra en juego el sistema límbico, también conocido como cerebro emocional, el cual está integrado por varias estructuras cerebrales que gestionan respuestas fisiológicas ante estímulos emocionales.

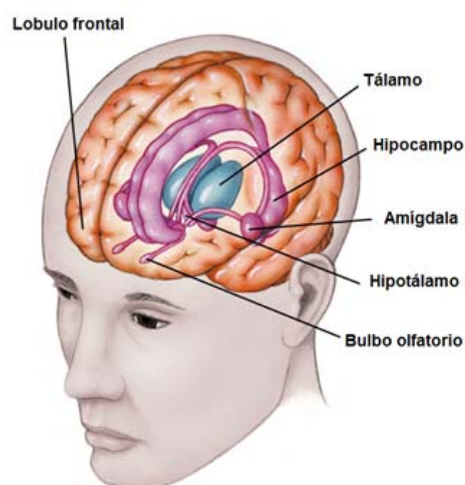


Figura 2.8 Sistema límbico (Fuente: Blog grupo de amistades rialto)

El sistema límbico está relacionado con la memoria, recuerdos, atención, instintos sexuales, emociones (placer, miedo, agresividad, etc.), personalidad y la conducta. Dicho sistema está formado por el tálamo, hipotálamo, hipocampo, amígdala cerebral, cuerpo calloso, septo y mesencéfalo. En la Figura 2.8 se detallan los componentes del sistema límbico y su localización cerebral. El sistema límbico interacciona muy velozmente con el sistema endócrino y el sistema nervioso autónomo (que se explicará más adelante) y al parecer sin que necesiten mediar estructuras cerebrales superiores.

La investigación llevada a cabo por LeDoux (1986) explica la forma en que la amígdala asume el control emocional cuando el cerebro pensante, el neocórtex, todavía no ha llegado a tomar ninguna decisión. Es por ello, que para poder encontrar patrones fisiológicos ante determinados cambios emocionales y situaciones estresantes, es necesario conocer la influencia que la amígdala ejerce en tales patrones.

La amígdala está constituida por diferentes núcleos con fibras que se conectan con el hipocampo, ganglios basales, hipotálamo, tálamo y núcleos del tronco cerebral. El complejo amigdalino juega un rol fundamental en la coordinación de las representaciones corporales de las emociones y de la percepción consciente de las mismas (sentimientos) (Hamann y col., 1999). La información que ingresa a la amígdala, lo hace desde distintos sistemas corticales y subcorticales, donde se procesan e integran para elaborar una respuesta emocional concreta. Una vez integradas las respuestas en el complejo amigdalino, las mismas viajarán por las vías eferentes para ejercer sus acciones; coordinando la respuesta corporal de las emociones y la percepción consciente de dichas emociones (sentimientos).

### **2.2.3 SISTEMA NERVIOSOS AUTÓNOMO Y SOMÁTICO**

El sistema nervioso también se puede clasificar por el modo en el que se transfiere la información, que puede ser de forma voluntaria o involuntaria. Se denomina sistema nervioso somático aquel que de forma voluntaria recoge información a través de la piel, ojos, músculos, etc. y envía la respuesta motora al músculo esquelético. Dicho sistema actúa sobre el ambiente externo y responde voluntariamente a señales sensoriales percibidas conscientemente.

El sistema nervioso autónomo (SNA) o vegetativo es la parte del sistema nervioso central y periférico que se encarga de la regulación de las funciones involuntarias del organismo, del mantenimiento de la homeostasis interna y de las respuestas de adaptación ante las variaciones del medio externo e interno (McCorry, 2007). El SNA recoge información de las vísceras (corazón, hígado etc.) y la envía bien por su rama simpática (SNAS) o parasimpática (SNAP) a

glándulas, vísceras y músculo liso. La mayoría de las señales sensoriales son percibidas de forma no consciente y la mayoría de las actividades motoras no son ejecutadas voluntariamente. La Figura 2.9 muestra de forma visual el flujo de transmisión del SNC.

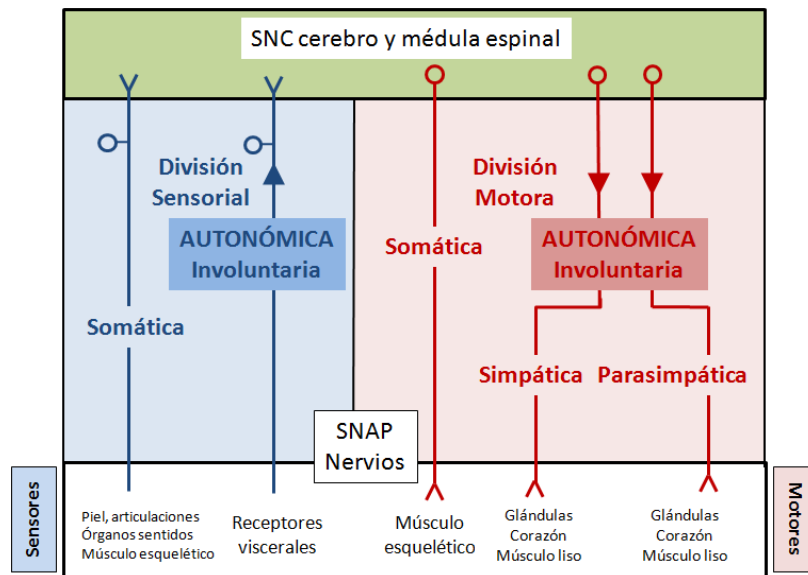


Figura 2.9 Flujo de transmisión del SNC (Fuente: Ximena Páez)

El principal centro organizativo del sistema nervioso autónomo es el hipotálamo, controlando todas las funciones vitales e integrando los sistemas autónomo y neuroendocrino (ver Figura 2.10). En el tronco encefálico y amígdalas cerebelosas, están localizados los centros de organización y respuesta aguda del sistema nervioso autónomo, cuya función es la de integrar los ajustes hemodinámicos momentáneos y mantener la automaticidad de la ventilación. El núcleo del tracto solitario, localizado en la médula, es el principal centro de llegada de la información procedente de las vías aferentes, que después se redistribuye a la zona correspondiente (Navarro, 2002).

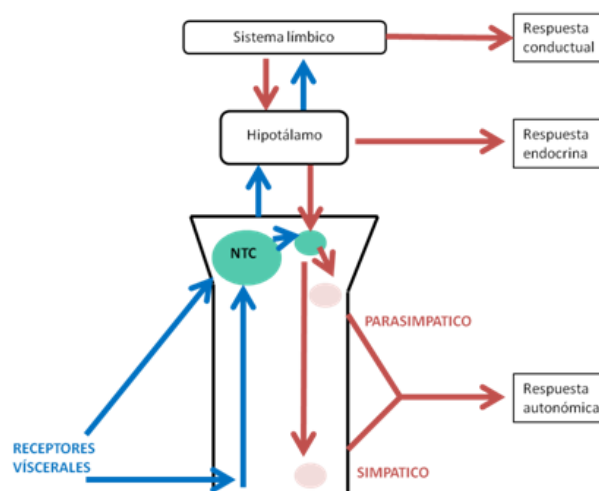


Figura 2.10 Organización de la respuesta conductual, endocrina y autónoma (Fuente: X. Navarro)

El Sistema Nervioso Simpático y el Sistema Parasimpático realizan acciones que pueden parecer antagónicas de una misma función. El SNAS actúa en casos de urgencia, activación y de estrés. Tal como planteó Canon, cuando el organismo siente que está en peligro, se prepara para enfrentarse al peligro y actuar en el concepto de “luchar-huir”. Para ello, el organismo necesita utilizar al máximo la energía de la que dispone, y lo consigue provocando diversas reacciones como la aceleración del pulso y la respiración, se incrementa la sudoración, frena la digestión, aumenta la presión arterial y hace que la sangre llegue en mayor cantidad al cerebro, piernas y brazos, también hace que aumente el nivel de azúcar en la sangre.

El SNAP, en cambio, prepara al organismo para captar y conservar la energía. Por otro lado, la activación del parasimpático tiene que ver con situaciones de recuperación de energía. Después de un susto, trauma, dolor intenso, cualquier situación especial del cuerpo o incluso comer, el Parasimpático se encarga de que todo vuelva a la calma y normalidad. Durante la activación del SNP se relaja el corazón, se activan las secreciones digestivas, aumenta el peristaltismo, se reduce el flujo sanguíneo hacia el cerebro, lo que trae como consecuencia un estado de somnolencia.

Cuando el SNA se activa, la transmisión del estímulo excitatorio a través de la hendidura sináptica ocurre mediante liberación fundamentalmente de tres neurotransmisores que son la noradrenalina (NA), la acetilcolina y en casos de emergencia la adrenalina. En los circuitos donde el neurotransmisor es la acetilcolina se denominan colinérgicos y cuando es la noradrenalina se llaman adrenérgicos.

Todas las neuronas preganglionares, tanto las del sistema nervioso simpático como las del parasimpático, son colinérgicas. Las neuronas postganglionares del sistema nervioso parasimpático también son colinérgicas. En cambio, las neuronas postganglionares simpáticas son adrenérgicas y secretan NA, excepto las que van a las glándulas sudoríparas y a una minoría de vasos sanguíneos que son colinérgicas. Las neuronas postganglionares de la médula suprarrenal secretan sobretodo adrenalina y muy poca cantidad de NA.

Cada órgano y tejido está innervado por vías simpático y/o parasimpático distintas, con muy poca o ninguna interferencia entre ellas (Jänig y McLachlan, 1992;). Las neuronas pueden acoplarse selectivamente, de manera que los circuitos individuales sistémicos u otras unidades efectoras se activan de forma independiente (Low, 2008).

## 2.2.4 SISTEMA NERVIOSO PERIFÉRICO

Los nervios periféricos se comunican con la médula espinal por los nervios espinales. Estos tienen una raíz sensorial que lleva la información aferente, y otra motora que lleva la eferente. Cada una de las raíces se divide a su vez en dos partes, la somática y la autónoma como se puede observar en la Figura 2.11.

Si ocurre un estímulo, este se transmite por los nervios aferentes a la médula ósea y ésta lleva la información a los diferentes núcleos del tallo. Allí se procesa y se envía a la zona cerebral correspondiente donde se integra. Después, tras haberse generado una respuesta motora, esta vuelve por los nervios aferentes haciendo el camino inverso hasta llegar a los efectores que se encargan de hacer efectiva la respuesta motora.

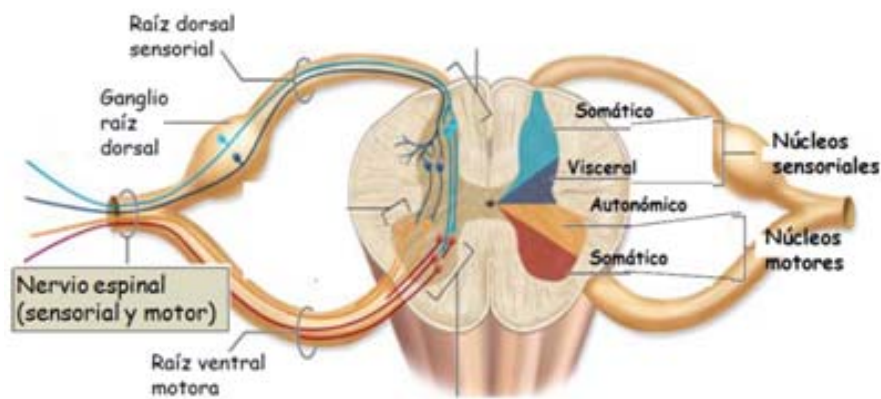


Figura 2.11 Nervio espinal (Fuente: Ximena Páez)

El sistema nervioso periférico se divide en dos partes denominadas sistema nervioso simpático o adrenérgico y sistema nervioso parasimpático o colinérgico; los efectos sobre un mismo órgano son generalmente antagónicos de tal manera que el resultado final dependerá del balance entre los dos. Algunos elementos, como por ejemplo las glándulas sudoríparas, solo están inervados por la rama simpática tal y como se puede observar en la Figura 2.12.

Un ejemplo de funcionamiento del sistema nervioso se puede observar en la figura 9. Cuando un receptor percibe información sobre un evento, la neurona sensorial transmite dicha información a otras hasta llegar a la parte del cortex sensorial (Figura 2.13 a). Una vez generada la respuesta, el cortex motor excita las neuronas eferentes hasta llegar al músculo efector que realiza el movimiento correspondiente (Figura 2.12 b).



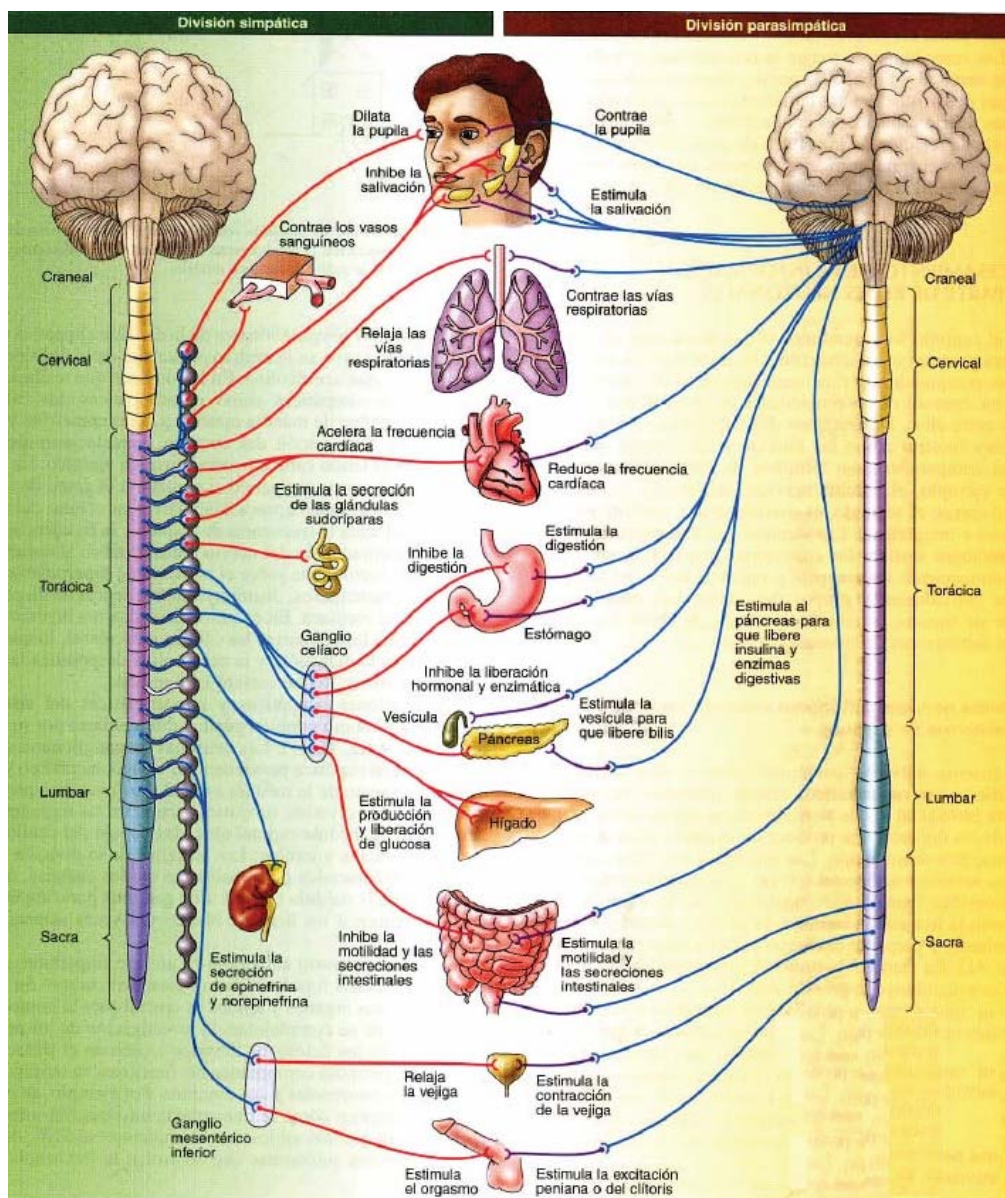


Figura 2.12 Anatomía del SNA periférico (Fuente:blog blogdebiología)

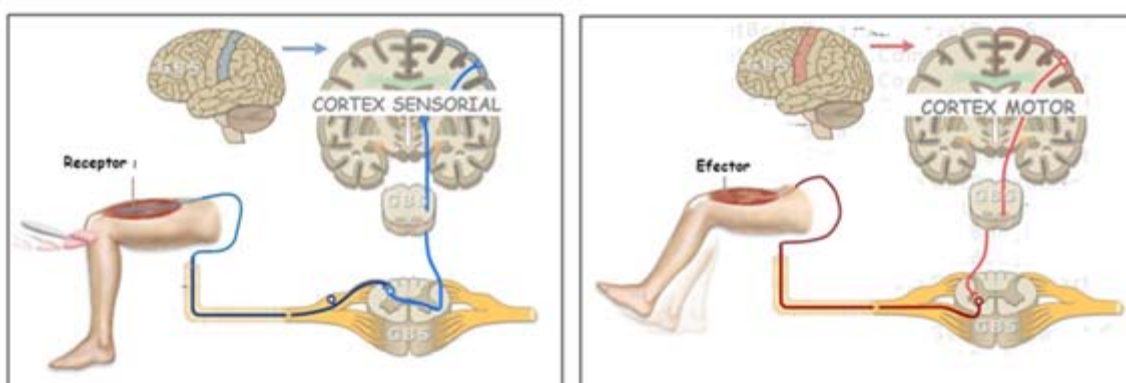


Figura 2.13 Ejemplo de la transmisión de un estímulo y su respuesta motora (Fuente: www.getbodysmart.com)

## 2.3 CLASIFICACIÓN Y TEORÍAS DE LA EMOCIÓN



**Figura 2.14 Disciplinas involucradas en la emoción**

Este apartado profundiza en el estudio de las emociones. Primero se hará una clasificación de las mismas según las propuestas presentadas por diferentes autores para la descripción de las emociones. Posteriormente se expondrán las diferentes teorías sobre el origen de las emociones y su relación con la respuesta fisiológica. Finalmente, se presentarán algunos conceptos de la biología de las emociones y sus relaciones con los sistemas límbico y encefálico, debido a su importancia en la identificación de las emociones desde un enfoque físico-biológico.

### 2.3.1 CLASIFICACIÓN

Las emociones se han clasificado siguiendo numerosos y variados criterios, en función del área de la que procedan los autores que han trabajado sobre ellas para llegar a una propuesta reconocida por la comunidad científica. A continuación se van a describir aquellos que guardan una relación directa con la línea de trabajo de la presente tesis.

#### Emociones básicas y secundarias

Los estados emocionales son tan básicos que si nos paramos a analizar nuestra experiencia, descubriremos que siempre nos encontramos experimentando algún sentimiento. Hay algunas emociones que son más reconocibles y primarias que otras. A estas emociones se les denomina emociones básicas. El resto estarían englobadas en el conjunto de emociones secundarias.

Las primeras mediciones de la existencia de emociones básicas datan de la época de los estoicos entre los años 300 a.C. y 525 d.C., para los cuales la emoción carece de significado y función (Casado y Colomo, 2006). Los estoicos distinguen cuatro emociones fundamentales: el *anhelo*

de los bienes futuros y la *alegría* por los bienes presentes (originadas por bienes presuntos); y el *temor* a los males futuros y la *aflicción* por los males presentes (originadas por males presuntos).

Acercándose a investigadores del siglo pasado y manteniendo la misma premisa, aparecen aportaciones como la de Charles Darwin (1872) que aboga por la universalidad de la expresión emocional entre las razas de la humanidad. Darwin defiende que cada reacción emocional puede caracterizarse por una serie de gestos o movimientos faciales específicos que facilitan su reconocimiento por parte de observadores externos. Algunas de las más significativas son las siguientes: alegría, asco, ira, miedo, sorpresa y tristeza.

Por otro lado, en base a la adaptación biológica, Plutchik (1980) propuso la existencia de ocho emociones básicas: miedo, sorpresa, tristeza, asco, enfado, expectativa, alegría y aceptación. Además definió el círculo de emociones de Plutchik, en el cual las emociones adyacentes se parecen más entre sí que las que están más alejadas. Dentro de cualquiera de las 8 emociones categorizadas se da una variación en intensidad definiendo emociones secundarias relacionadas entre sí, tal y como se observa en la Figura 2.15.



**Figura 2.15 Modelo tridimensional de las 8 emociones básicas de Plutchik**

Otra posible propuesta es la de Larazus (1991), la cual realiza una clasificación primaria en función de los procesos cognitivos implicados en la emoción, siendo estas emociones: Ira, ansiedad, vergüenza, tristeza, envidia, disgusto, felicidad-alegría, orgullo, amor-efecto, alivio, esperanza, compasión y emociones estéticas.

Retomando la investigación sobre los gestos y movimientos faciales de Darwin, en una búsqueda intercultural de las expresiones emocionales, (Ekman 1993; Cosmides y Tooby, 1992) presentan

con detalle la universalidad de las expresiones de estados emocionales espontáneos e intencionales, cuya caracterización se somete a reglas de despliegue que permiten entender quién, cómo y cuándo se manifiestan las emociones. En base a estos hallazgos se estima que existe un alto acuerdo en la interpretación de las emociones básicas, (miedo, enfado, alegría, tristeza, sorpresa y asco, al que se le puede añadir bienestar) cuyo reconocimiento alcanza un 70% en las diversas culturas. Los planteamientos de Ekman (Ekman 1992, 1993) coinciden con la clasificación realizada por Darwin.

Por último Goleman (1995) defiende su teoría de clasificar las emociones básicas, primarias y familiares como: Ira, tristeza, miedo, alegría, amor, sorpresa, aversión y vergüenza. La mayoría de los autores coinciden en considerar la clasificación más idónea la de las 6 emociones de Ekman. En algunos casos específicos a estas 6 emociones se le añade la emoción de *bienestar* (Gross y levenson, 1995). La Tabla 2.1 recoge los diferentes tipos de emociones básicas en función del autor y su criterio de clasificación.

**Tabla 2.1 Clasificación de emociones básicas según el autor y criterio de elección**

Autor	Criterio Clasificador	Emociones Básicas
<b>Estoicos</b> (300a.C. - 525d.C.)	Necesidades básicas	Anhelo, alegría, temor y aflicción
<b>Darwin</b> (1872)	Expresiones básicas	Alegría, asco, ira, miedo, sorpresa, tristeza.
<b>Plutchick</b> (1980)	Adaptación biológica	Aceptación, alegría, expectación, ira, miedo, repugnancia, sorpresa y tristeza.
<b>Lazarus</b> (1991)	Cognitivo	Ira, ansiedad, vergüenza, tristeza, envidia, disgusto, felicidad-alegría, orgullo, amor-efecto, alivio, esperanza, compasión y emociones estéticas.
<b>Ekman, Friesen y Ellsworth</b> (1993)	Expresión facial	miedo, enfado, alegría, tristeza, sorpresa y asco
<b>Goleman</b> (1995)	Emociones primarias	Ira, tristeza, miedo, alegría, amor, sorpresa, aversión, vergüenza.

## Emociones positivas y negativas

Las emociones también se pueden clasificar en positivas o negativas. Como si fuera un sistema de alarma, las emociones negativas nos advierten de peligros que debemos solventar o evitar, mientras que las positivas tienden a acercarnos a disfrutar de situaciones agradables (Wukmir, 1967; Cacioppo y col 2007).

Las emociones negativas son aquellas que están relacionadas con vivencias desagradables y requieren de la utilización de los recursos cognitivos y conductuales para resolver la situación que las provocó. Las emociones positivas, por el contrario, son emociones agradables y beneficiosas para el organismo, que hacen mejorar el rendimiento en todas las facetas en la que se desenvuelve la persona.

Atendiendo a la clasificación entre positivas y negativas, las emociones se pueden desglosar siguiendo una jerarquía, tal y como muestra la Figura 2.16.

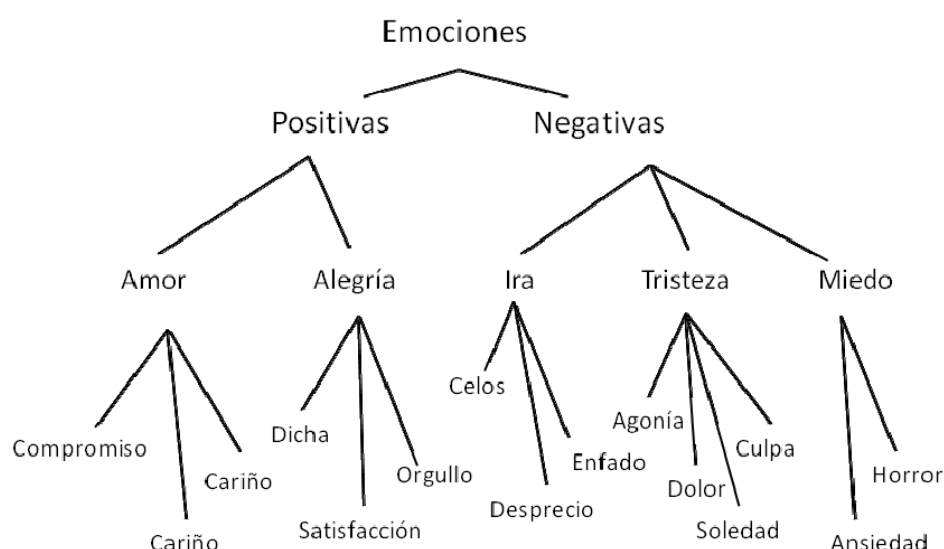


Figura 2.16 Clasificación de emociones en positivas y negativas.

## Modelo dimensional de la emoción

Wundt (1896) propuso una teoría de clasificación emocional basada en tres dimensiones: agradable-desagradable, relajación-tensión y calma-excitación. Posteriormente, Osgood y col. (1957) revisaron dicha clasificación de forma empírica y obtuvieron dimensiones similares a las de Wundt.

Dichos autores estudiaron ampliamente una variedad de juicios verbales y encontraron que la varianza en las evaluaciones puede ser contabilizada mayormente por una valencia afectiva (placer-displacer), seguida estrechamente por la activación-arousal (calma-activación) y por

último con menor peso, lo que denominaron dominancia o control. Afianzando el concepto dimensional de la emoción aparecieron otros investigadores, como es el caso de Mehrabian y Russell (1974), que corroboraron repetidamente que el espacio afectivo es bipolar y que la valencia y el arousal son medidas fiables. La clasificación de distintas emociones de forma dimensional queda representada en la Figura 2.17.

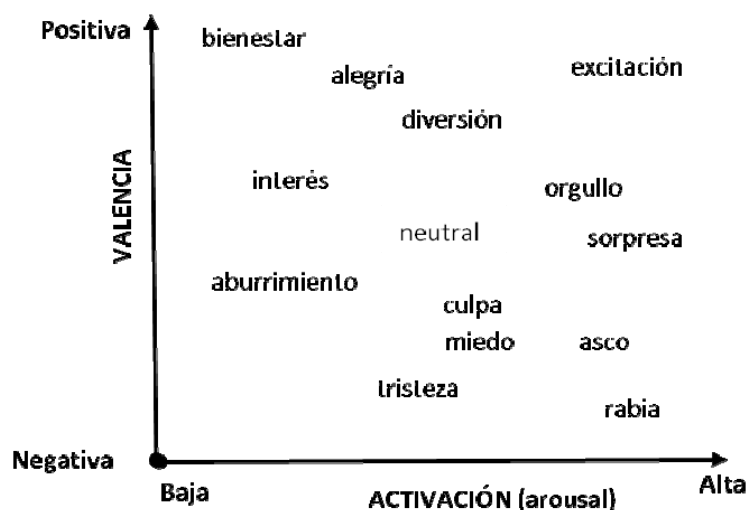


Figura 2.17 Clasificación dimensional de las emociones

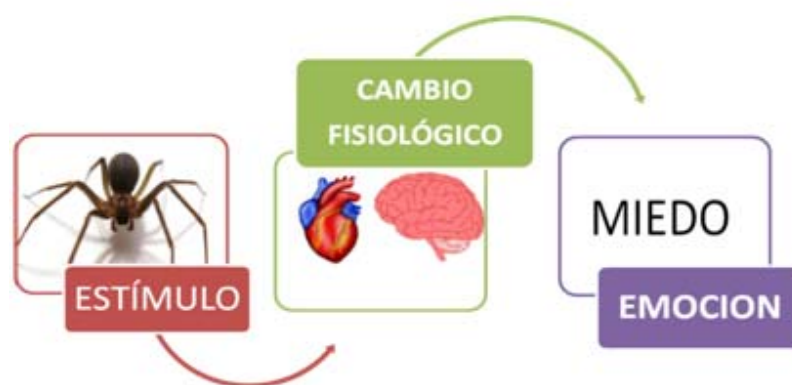
### 2.3.2 TEORÍA DE LAS EMOCIONES

En lo referente a la naturaleza y el origen de la emoción, históricamente se han defendido 3 principales teorías de la emoción, tal y como presentan Morris y Maisto (2005): **James-Lange**, **Canon-Bard** y **Schachter y Singer** (cognoscitiva).

#### Teoría de JAMES – LANGE

El psicólogo estadounidense William James (1884) planteó la primera teoría moderna de la emoción. Casi paralelamente el psicólogo inglés Carl Lange (1885) llegaba a las mismas conclusiones. Por ello se denominó al compendio de ambas teorías la teoría de James-Lange.

De acuerdo con su teoría, ante un cambio ambiental, el organismo reacciona con cambios fisiológicos que son interpretados por el sujeto dando lugar a la emoción. Es decir, son los receptores viscerales, la piel, los órganos de los sentidos y los músculo-esqueléticos los que de forma aferente llevan la información al encéfalo para que sea procesada y se produzca como resultado una emoción. De ahí que esta teoría se llame también *teoría periférica de la emoción*. Por lo tanto, para James y Lange cualquier estímulo tanto interno como externo produce un patrón fisiológico específico. Dicho patrón es identificado por el cerebro como una emoción concreta, tal y como muestra la Figura 2.18.



**Figura 2.18 Teoría de la emoción de James-Lange**

En este sentido es importante destacar que, para James, las reacciones viscerales y las somáticas son igualmente importantes y además es el baremo central para identificar estados emocionales. Sin embargo, para Lange, el énfasis se debe poner en los cambios vasculares, fundamentalmente en la presión sanguínea. Aunque fue una teoría innovadora para su tiempo, no especifica cómo tras la percepción de los cambios corporales se realizan los procesos de valoración que determinan la emoción.

La teoría de James – Lange fue apoyada por numerosos autores, pero también suscitó varias críticas como:

- Si se sabe que la información de los cambios fisiológicos es transmitida al cerebro vía médula espinal y las emociones son identificadas a través de dicha información, entonces las personas con severas lesiones medulares deberían experimentar menos emociones. Con objeto de aclarar este término se realizaron diferentes estudios (Chwalisz y col. 1988) que demostraron cualitativamente que las personas con lesiones medulares se emocionan y sienten de igual manera a las personas sin lesiones.
- Las distintas emociones deben de ir asociadas a cambios corporales específicos, aspecto que Cannon (1927) desmintió, tal y como se explicará en la siguiente teoría.

Completo o no el planteamiento teórico de James y Lange, es necesario reconocer su labor como las primeras personas que asumieron la existencia de emociones concretas relacionadas con cambios en la fisiología humana, introduciendo en el mundo científico las bases de la psicología de la emoción.

## Teoría de CANNON – BARD

Una teoría alternativa de las emociones, originada como crítica a los planteamientos de James y Lange, es la postulada por Cannon (1927), quien establece cinco argumentos que cuestionan las afirmaciones de James:

- 1) Es posible controlar e incluso eliminar los cambios corporales, sin que se modifiquen las emociones.
- 2) Los patrones fisiológicos no son específicos de una emoción, ya que hay cambios comunes a varias emociones.
- 3) Los órganos internos, que según James proporcionan al cerebro la información necesaria para la identificación de la emoción, son elementos más motores que sensitivos. Más específicamente, el número de fibras nerviosas aferentes, es decir las que llevan información de los órganos al cerebro, es de una proporción de 1:10 respecto al número de fibras eferentes, las que dirigen la respuesta del cerebro a los órganos.
- 4) La dinámica de los órganos internos es más lenta que la propia experiencia de la emoción. Por lo tanto la emoción debe suceder antes que los cambios corporales.
- 5) La inducción de cambios de forma artificial (mediante la inyección de adrenalina) no provocan reacciones emocionales, a pesar de que los cambios inducidos son iguales a los que originan emociones.

A partir de dichos argumentos, Cannon propone que las emociones se antepone a los cambios fisiológicos y las conductas, aunque casi se producen al mismo tiempo. Esto es debido a que las emociones tienen la función de preparar al organismo para sobrellevar las situaciones, manteniendo al cuerpo en el mejor estado posible (ver Figura 2.19). A su vez, introdujo el término “*homeostasis*” como el conjunto coordinado de procesos fisiológicos que mantienen el equilibrio de las funciones corporales, regulando las influencias del medio externo y las respuestas correspondientes del organismo.

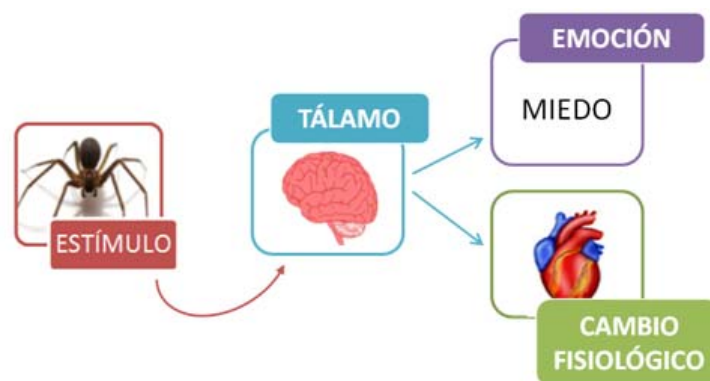


Figura 2.19 Teoría de la emoción de Cannon-Bard



Cannon (1935) no buscaba una correlación entre emociones y señales fisiológicas. Para Cannon existe un estado ideal de bienestar homeostático y cualquier estímulo que lo perturbe genera un aviso de alarma para que el organismo experimente emociones intensas y comience a realizar ajustes para devolver a su estado de bienestar. A raíz de estas primeras hipótesis, Cannon planteó la primera de las *Teorías de Emergencia*, en la cual el cuerpo ante una situación adversa prepara al individuo para resolverla en modo de lucha o huida. Dicha teoría está basada en la neurofisiología, lo que conlleva un procesamiento emocional en el tálamo y no en la zona cortical del cerebro. Bard (1934) por su parte, había hecho experimentos con gatos descorticados que podían llegar a generar respuestas de rabia, demostrando así que los mecanismos de reconocimiento emocional están en una zona subcortical. De forma independiente, Cannon y Bard habían llegado a las mismas conclusiones, de ahí la denominación genérica de Teoría de Cannon-Bard.

Lo verdaderamente importante de la crítica de Cannon es que abrió un nuevo marco teórico en referencia a las investigaciones sobre la psicología y la fisiología. Lo que dio lugar a lo que se conoce actualmente con psicofisiología.

### Teoría de SCHACHTER-SINGER

Una nueva teoría se acerca al marco teórico de la emoción de mano de los psicólogos cognoscitivos, los cuales afirman que nuestra percepción de las situaciones es absolutamente imprescindible para la experiencia emocional (Lazarus, 1991).

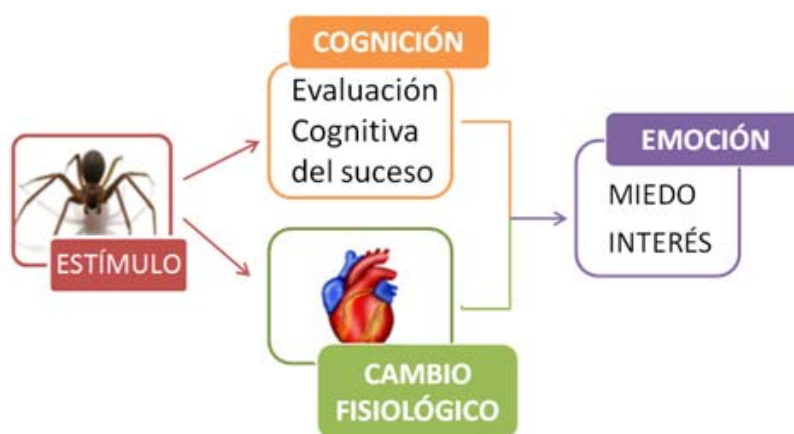


Figura 2. 20 Teoría de Schachter-Singer de la emoción

La primera teoría de la emoción que tomaron en cuenta los procesos cognitivos, fue la elaborada por Schachter y Singer (1962) y se denominó *Teoría Cognoscitiva*. Su planteamiento defiende que no es el estímulo físico en si quien produce la emoción, sino la representación cognitiva y la evaluación del estímulo en un contexto físico y social. Sugieren por lo tanto, que solo cuando se

reconoce cognoscitivamente que estamos en peligro (o con alguien querido) se experimentan los cambios corporales y la emoción de miedo (o amor) (ver Figura 2. 20).

### 2.3.3 BIOLOGÍA DE LAS EMOCIONES

El planteamiento evolucionista de Darwin (1872) respecto a las emociones y su expresión entre miembros de la misma especie, abre la puerta hacia una investigación basada en la biología de las emociones (Cantero, 2003).

Tras la aparición de las primeras teorías sobre la emoción y su relación con el sistema nervioso, han aparecido trabajos que han ido desvelando el procesamiento cerebral de las mismas. Un planteamiento derivado de los trabajos de Cannon es el postulado por Papez (1937), el cual plantea la existencia de conexiones entre los hemisferios cerebrales, el tálamo y el hipotálamo llamado el "*gran lóbulo límbico*" y de una corriente de sentimientos transmitida en dos direcciones. La información emocional viaja desde el tálamo al hipotálamo para después, una vez allí, tomar dos caminos. El primero la lleva al troncoencéfalo y vía médula espinal al sistema nervioso, provocando la conducta emocional. Sin embargo en una segunda corriente, tras abandonar el hipotálamo, la información se dirige hacia la corteza cerebral, convirtiéndose en percepciones, pensamientos y actitudes.

MacLean (1949) tras ahondar en el estudio de las estructuras subcorticales y su relación con las emociones, propone que el lóbulo límbico, junto con otras secciones subcorticales, y la amígdala, constituyen un sistema propio denominado *sistema límbico* y que la información emocional no tiene caminos como proponía Papez, si no que todas las estructuras nerviosas están implicadas. MacLean también consideró que el encéfalo humano estaba constituido por tres capas, formadas por estructuras anatómicas diferentes y con procesos químicos propios. La primera capa del encéfalo es la más "*antigua*", representando nuestra herencia encefálica reptiliana y aparece en la organización actual del troncoencéfalo. Esta capa recibe el nombre de "*cerebro reptiliano*" y es responsable de la conducta instintiva automática, conducta necesaria para la supervivencia. La segunda capa es la límbica o "*cerebro del mamífero antiguo*", encargándose de la conservación de la especie y de la identificación como individuo. La capa límbica está relacionada con las funciones alimentarias, emocionales, de emergencia y de búsqueda de placer. Siguiendo con la evolución humana, aparece la tercera capa o "*cerebro mamífero nuevo*" y responsable de las estrategias racionales y de la capacidad verbal.

Años más tarde y gracias a las investigaciones de LeDoux (1986, 2000) se comprobó que algunas señales procesadas por el tálamo, llegan a la amígdala en una sola sinapsis sin pasar por el

neocortex. Es decir, la amígdala proporciona una respuesta emocional de forma instintiva sin que el neocortex haya realizado una evaluación racional de la situación. Una de las tareas de la amígdala es la de percibir estímulos de alerta que podrían significar poner en peligro la integridad física del individuo, ser referentes a algo que se odia, se teme o puedan hacer daño, mientras que en caso de alarma, debe poner en funcionamiento los recursos neurales y endocrinos.

### 2.3.4 PROPUESTA PARA EL ANÁLISIS DE EMOCIONES

Debido a que en el trabajo llevado a cabo en esta tesis es necesario establecer un primer contacto con la naturaleza emocional, la clasificación entre emociones básicas y secundarias posibilitará el centrar los estudios en aquellas que son más significativas. También se debe tener en cuenta la clasificación dimensional, dada la importante relación existente entre la dimensión *Arousal* y la activación del Sistema Nervioso Autónomo Simpático.

De entre todas las teorías sobre la evolución emocional planteadas anteriormente, aunque es la de Cannon la tomada como referente para entender los procesos psicofisiológicos, es necesario considerar igualmente el concepto cognoscitivo aportado por Schachter-Singer.

## 2.4 SISTEMAS DE IDENTIFICACIÓN

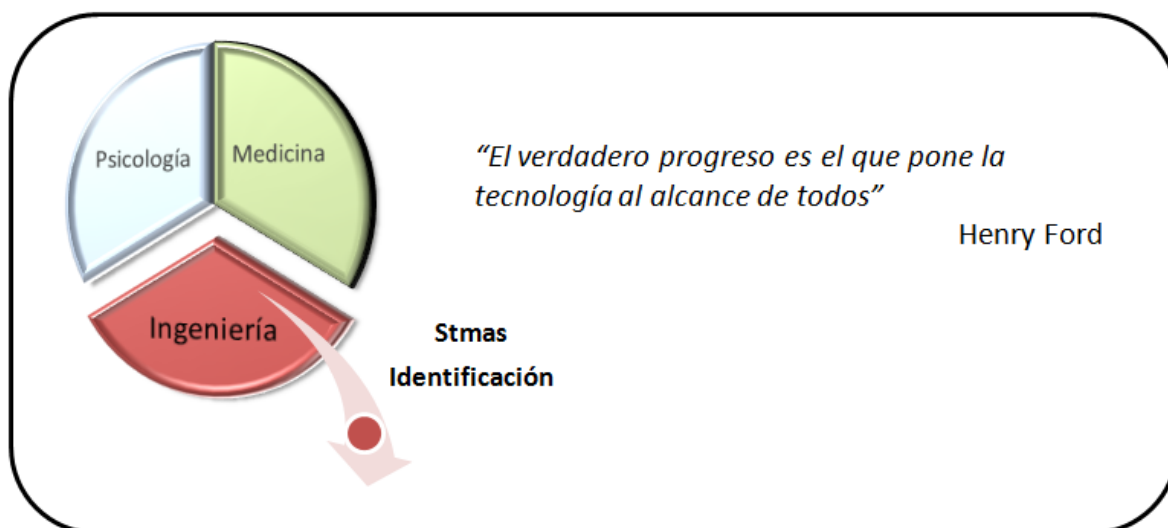


Figura 2.21 Disciplinas involucradas en los sistemas de identificación

En vista de la complejidad del proceso de detección de cambios emocionales y la gran cantidad de aspectos que se deben considerar (fisiología del cuerpo humano, evolución temporal de las señales fisiológicas, etiquetas de los eventos responsables de los cambios emocionales, etc.), se

ha decidido considerar en detalle diferentes alternativas entre las posibles herramientas de identificación automática. De entre las mismas se ha elegido la que mejor se adapta a las características del problema de identificación emocional planteado en esta tesis.

### **2.4.1 TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL**

La idea de diseñar un sistema el cual pueda ejecutar tareas donde se requiera de una característica humana como es la inteligencia, es uno de los aspectos más atractivos en el campo de la Ingeniería Biomédica (Peng y col, 2010). Dichos sistemas son referenciados de diferentes formas en función del área en la que sean utilizados, encontrándose denominaciones como: Inteligencia Artificial, Inteligencia Computacional, etc.

Las técnicas de Inteligencia Computacional permiten utilizar una serie de metodologías que trabajan tolerando cierto nivel de incertidumbre o imprecisión. Bajo esta descripción se encuentran principalmente técnicas como los algoritmos genéticos, las redes neuronales artificiales y la lógica difusa, que pasan a describirse a continuación.

#### **Algoritmos genéticos**

Los algoritmos genéticos son métodos evolutivos utilizados en problemas donde es complicado encontrar una solución satisfactoria. Están basados en los principios genéticos adaptativos de los seres vivos. Tal y como postuló Darwin (1859), la evolución de cualquier especie se lleva a cabo mediante una selección natural de aquellos miembros que mejor se adaptan al entorno, buscando soluciones a los nuevos retos planteados. Los algoritmos genéticos fueron desarrollados por Holland (1975) con la idea de aplicar dicho principio evolutivo y dotar a los sistemas artificiales de la capacidad de ir creando soluciones optimizadas y adaptadas al propio sistema.

El funcionamiento de este tipo de algoritmos se basa en la generación aleatoria de una población inicial de soluciones potenciales, para posteriormente entrar en un proceso iterativo que transforma la población a través de:

- Una evaluación de las soluciones que forman la población.
- Una selección de las “mejores” y su reproducción en la nueva población.
- Una recombinación de éstas formando parte de la nueva población.

#### **Redes neuronales**

Las redes neuronales constituyen una poderosa herramienta para modelar sistemas, especialmente no lineales, sean dinámicos o estáticos. Están inspiradas en las redes neuronales

de comunicación interna de los seres vivos (Bishop, 1996). Es una técnica computacional formada por un gran número de elementos simples interconectados entre sí a través de pesos sinápticos, los cuales procesan información por medio de su estado dinámico como respuesta a entradas externas.

Realizando una analogía con las redes neuronales biológicas, este tipo de técnicas están compuestas por un gran número de neuronas clasificadas en tres grupos: neuronas sensoriales (captan la información del exterior), neuronas intermedias (la procesan y la transmiten a través de la red) y neuronas de salida (recogen la información y la presentan como salida de la red).

Cada neurona está compuesta por:

- Un conjunto de entradas,  $x_j(t)$ , cada una de las cuales está caracterizada por medio de un peso sináptico  $w_{jk}$ , que representa la intensidad de las interacciones entre una neurona  $k$  y cada una de las neuronas  $j$  de la capa anterior.
- Una regla de propagación, que determina la entrada efectiva de la neurona  $k$  a partir de todas las entradas individuales a la misma.
- Una función de activación  $f_k$ , que determina la salida  $y_k$  de la neurona  $k$  por medio de su nivel de excitación.
- Una salida externa adicional, llamada polarización o vías ( $b_k$ ), que incrementa o disminuye la excitación umbral de una neurona.

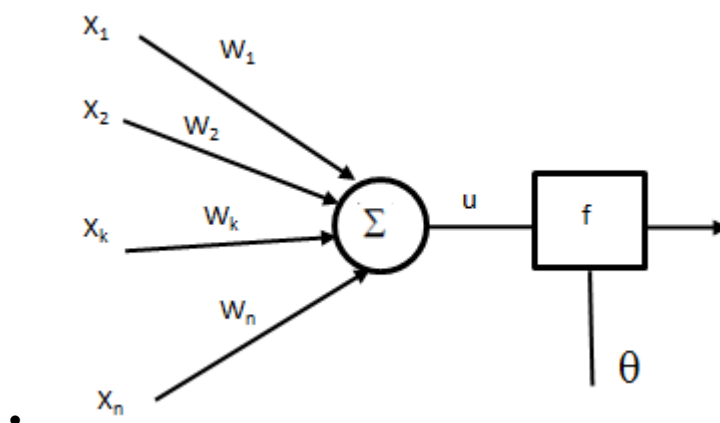


Figura 2.22 Diagrama representativo de las redes neuronales

En esta estructura, se tiene

$$u = \sum_{i=1}^n W_i X_i \quad (2.1)$$

Donde:  $W_i$  son los pesos de la neurona,  $X_i$  son las entradas a la neurona y  $n$  el número de entradas a la neurona.

El modo de funcionamiento de una red neuronal previamente entrenada, consiste en la recepción de datos, la activación de varias neuronas a través de las diversas capas de la red, y la posterior inferencia de una salida, la cual será el resultado propuesto por la red.

## Lógica difusa

El concepto de lógica difusa (o borrosa), fue concebido por Zadeh (1965) como una extensión de la lógica booleana que existía hasta entonces basada en todo o nada (1 o 0), pertenencia o no pertenencia.

A modo de ejemplo considérese que se utiliza la lógica booleana para determinar si una persona es baja o alta, primeramente hay que especificar el umbral para poder diferenciar los conjuntos. Si dicho umbral es 1,80, entonces aquel que mide 1,799 estaría considerado como bajo, y por lo tanto catalogado de la misma forma que otro que midiera 1,50. Además, tampoco hay un valor cualitativo que defina el concepto de persona alta. Esta depende del contexto, por ejemplo si es hombre o mujer, la edad, el país al que pertenezca, etc. Una jugadora de baloncesto de 1,80 puede ser considerada baja, mientras que una gimnasta no lo es. Lo que sí está claro es que alguien que mide 2,00 es alto y otro que mide 1,30 no lo es.

Para representar este hecho de pertenencias difusas, se puede definir un conjunto de modo que cada uno de sus elementos pertenezca a él con cierto grado (posibilidad). Un conjunto difuso A se caracteriza por una función de pertenencia:

$$\mu_A : U \rightarrow [0,1]$$

Está asociada a cada elemento  $x$  de  $U$  un número  $\mu_A(x)$  del intervalo  $[0,1]$ , que representa el grado de pertenencia de  $x$  al conjunto difuso A, denominando  $U$  al universo de discurso.

La lógica difusa no usa valores exactos como 1 o 0, pero usa valores entre 1 y 0 (inclusive) que pueden indicar valores intermedios (Ej. 0, 0.1, 0.2, ..., 0.9, 1.0).

## Máquina de soporte vectorial

La teoría de máquinas de soporte vectorial, (Support Vector Machine - SVM) fue desarrollada por Vapnik (1988) basándose en técnicas de aprendizaje estadístico. Dichas técnicas de aprendizaje son utilizadas como herramientas para la clasificación y el reconocimiento de patrones.

Un conjunto de vectores  $\{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}$  donde  $x_i \in \mathbb{R}$  e  $y_i \in \{-1, 1\}$  para  $i = (1, \dots, n)$ , se dice separable, si existe algún hiperplano en  $\mathbb{R}$  que separa los vectores  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$  con etiqueta  $y_i = 1$  de aquellos con etiqueta  $y_i = -1$ .

En problemas de clasificación se debe encontrar un modelo que permita separar ejemplos entre una clase y otra. Cuando los ejemplos se pueden representar a través de vectores, para separar entre las dos clases se debe buscar un hiperplano, es decir una frontera que los divida. Para un nuevo vector, dependerá de a qué lado queda de la frontera, para saber a qué clase pertenece y etiquetarlo como  $y_i = 1$  o  $y_i = -1$ . Las máquinas de soporte vectorial, buscan una frontera en particular, aquella que maximice la distancia entre dos ejemplos de cada clase. Los ejemplos usados para definir esa frontera se le llaman vectores de soporte, de ahí su nombre.

En el ejemplo de la Figura 2.23, se muestra la clasificación de varios vectores en dos clases, con varias líneas que los dividen, siendo  $H_2$  la que mejor se aproxima a las condiciones establecidas.

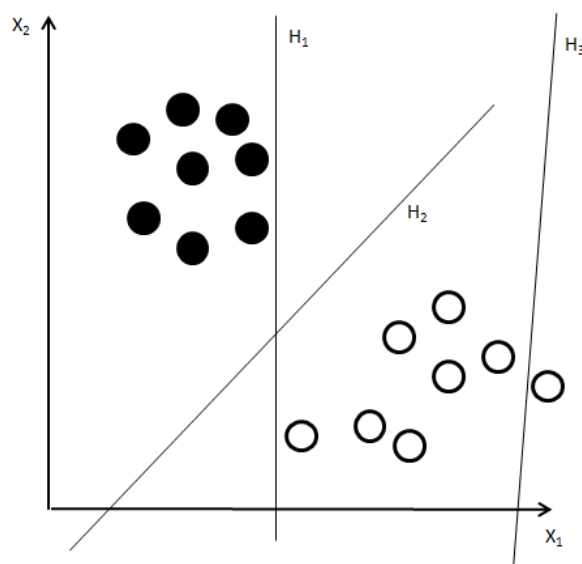


Figura 2.23 Ejemplo de varios vectores para la clasificación de dos clases.

## 2.4.2 MAQUINA DE ESTADOS FINITOS

Las máquinas de estado finito (Finite State Machine- FSM) o también llamados autómatas finitos, es una herramienta que sirve para representar aspectos dinámicos de un sistema que evoluciona a lo largo del tiempo en diferentes estados de forma secuencial (Salomaa, 1969). Es una técnica muy útil para especificar en tiempo discreto aspectos relacionados con modelización de sistemas, tiempo real, arquitecturas de software, etc. A diferencia de las técnicas computacionales, la FSM no puede trabajar con valores imprecisos, ya que es necesario que el proceso a modelar esté descrito mediante una secuencia finita de pasos bien definidos.

Una máquina de estados representa el comportamiento de un sistema en base a un conjunto de estados posibles en los que se puede encontrar el sistema, y una serie de transiciones entre

ellos, asociadas a los diferentes eventos (entradas) que se pueden dar en el sistema. Además de estados y transiciones, siempre debe existir un punto de inicio que indica cuál es el estado inicial del sistema y opcionalmente, un punto de fin que representa el final de la ejecución de la máquina de estados.

Por lo tanto, la FSM se puede definir como A:

$$A = (Q, s, E, q_0; F)$$

Donde Q sería el conjunto de posibles estados, s la matriz de las posibles transiciones entre estados, E las condiciones de las transiciones,  $q_0$  el estado inicial y F el final.

### **2.4.3 PROPUESTA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE EMOCIONES**

Debido a las características dinámicas que presentan las transiciones entre estados emocionales y la necesidad de tener que definir criterios para su identificación, la metodología elegida para el desarrollo de la presente tesis ha sido la máquina de estados finitos (FSM). Los buenos resultados conseguidos por esta técnica en problemas de idénticas características (Hong y col, 2000; Belli., 2001; Zhai y col., 2005; Sathar y col., 2014) han apoyado que los estudios de identificación de cambios emocionales se hayan planteado en esta dirección.





### **3 ELICITACIÓN Y RECONOCIMIENTO EMOCIONAL**

---

*“Aferrarse al odio es como tomar veneno y esperar que la otra persona muera”*

Dalai Lama



Uno de los objetivos de este trabajo es el reconocimiento automático de emociones. Para poder abordar este objetivo, es necesario estudiar los cambios emocionales en condiciones de laboratorio y las diferentes metodologías para poder inducirlos.

El siguiente reto que se plantea en este capítulo, es el modo en el que se van a reconocer las emociones. Tras la revisión de los diferentes planteamientos de reconocimiento emocional, el que mejor se adapta a las premisas establecidas en la introducción es el análisis de las variables fisiológicas, más concretamente el ritmo cardíaco y la sudoración.

En este capítulo también se llevará a cabo un estudio en profundidad de la fisiología de las variables utilizadas, para poder hacer una correcta lectura de las mismas e identificar qué está ocurriendo en el organismo. Posteriormente se presentarán los patrones fisiológicos asociados a diferentes emociones y se concluirá con la elección de las emociones a identificar y los patrones que las representan.

### **3.1 METODOLOGÍAS DE ELICITACIÓN EMOCIONAL**

Existen distintos métodos para provocar emociones en laboratorio como: la hipnosis (Bower, 1983), repetición de frases (Velten, 1968), movimientos faciales (Ekman y col., 1983), imaginación (Lang, 1979), música (Sutherland, y col., 1982), fotos (Lang, y col., 1999), películas (Gross y Levenson, 1995; Philippot, 1993; Hewig y col., 2005), palabras (Bradley y Lang, 1999a) exposición a situaciones reales (Gilet, 2008; Marci, y col. 2007), e incluso métodos combinados (Mayer, y col.,1995).

Tras un estudio pormenorizado de las alternativas existentes para inducir diferentes estados emocionales, se consideró usar como material de elicitación aquel basado en proyecciones audiovisuales (películas y grabaciones de hechos reales). Esto se debe a que son estímulos dinámicos, fácilmente estandarizables y capaces de inducir diferentes emociones a través de distintos sistemas de respuesta, tal y como apuntan los trabajos de Coan y Allen (2007) y Leupoldt et al. (2007).

La elicitación de emociones a partir de películas ha sido estudiada en varios países, entre ellos están: Estados Unidos (Gross y Levenson, 1995; McHugo y col., 1982), Bélgica (Philippot, 1993), Alemania (Hewig y col., 2005), Japón (Sato y col., 2007) y España (Megías y col., 2011). Tras un profundo estudio de todos ellos, se seleccionó como base de datos de referencia las propuestas por Gross y Levenson (1995), la cual ha sido posteriormente utilizada por otros investigadores como Christie y Friedman (2004) y Coan y Allen (2007). También se ha observado que Hewig y col. (2005) usaron parte de esas películas para crear un test de elicitación en la población

alemana; Sato y col. (2007) las emplearon para provocar emociones en la población japonesa; Leupoldt y col. (2007) adaptaron dichos cortes para niños y varios autores más las utilizan para relacionar emociones con variables fisiológicas (Costaa, 2006; Hastings y col., 2009). Dicha base de datos está compuesta por 16 películas capaces de elicitar 7 emociones diferenciadas: asco, miedo, sorpresa, tristeza, enfado, diversión y bienestar. Además, en ella se presenta una metodología y material de experimentación que se ajusta adecuadamente a los objetivos perseguidos en nuestro trabajo.

Otro de los estados emocionales que se desea estudiar en este trabajo son los derivados de experiencias estresantes. Es por ello que los investigadores que pretenden elicitar situaciones de estrés en condiciones de laboratorio se decantan por reproducir situaciones lo más reales posibles, como es el caso de Healy y Picard (2005) mediante la conducción de un coche por diferentes escenarios, Vries y col. (2015) realizando la prueba de colores y Sharma y Gedeon (2014) una entrevista personal. Este trabajo propone una nueva forma de provocar situaciones estresantes, lo más real posible, tal y como se detalla en el capítulo 4.

## **3.2 RECONOCIMIENTO DE EMOCIONES**

Los seres humanos podemos sentir y expresar emociones de maneras muy diversas. Pero una cosa es experimentar una emoción y otra, darnos cuenta de qué emoción o emociones estamos viviendo.

En base a las teorías de la emoción planteadas anteriormente sobre la existencia de una relación entre dichas emociones y los cambios corporales, diversos investigadores han planteado diferentes modos de reconocimiento de emociones derivadas de la elección de la parte del cuerpo en la que se enfoque el estudio. Las expresiones faciales, corporales y la voz, están relacionadas con la respuesta motora somática del sistema nervioso, la fisiología con la respuesta motora autónoma, y los estudios referentes a señales cerebrales, con la respuesta cortical.

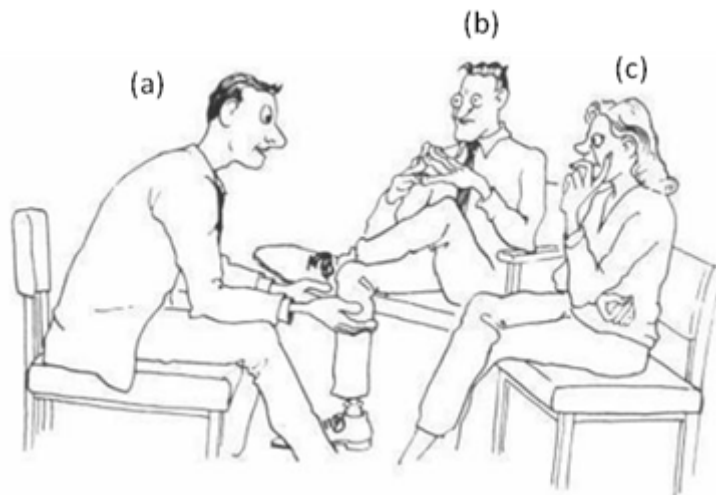
### **3.2.1 GESTOS Y POSTURAS**

Los gestos, las posturas, las expresiones faciales y el tono de voz, forman un lenguaje complementario a las palabras con el que nos comunicamos constantemente, de manera consciente o inconsciente. Este tipo de lenguaje recibe el nombre de comunicación no verbal (CNV) (Rulicki y cherny 2012).

La CNV ha existido siempre tal como planteó Darwin en su obra “The expression of the emotions in man and animals”, pero durante años ha estado relegada a la comunicación entre animales. Esto puede ser debido a que una de las características que nos distingue de ellos es el poder de la palabra. Es más, el hecho de afianzar la palabra como sistema de comunicación, nos hace definir nuestra identidad como seres humanos. Cuando un niño nace, la forma de comunicación entre él y las personas de su entorno es exclusivamente CNV. Hasta que el niño empieza a decir sus primeras palabras, momento en el que la capacidad de entendimiento a través de gestos y posturas se debilita.

A través de los gestos y posturas expresamos cuál es nuestro estado de ánimo, nuestras emociones, nuestros sentimientos (de Meijer, 1989). La postura corporal dice mucho de nosotros mismos y de las expectativas que tenemos hacia la persona a quien nos dirigimos.

En la Figura 3.1 se puede observar como la persona (a) tiene una actitud de comunicación abierta, mientras que la (b) y (c) no.



**Figura 3.1 Comunicación no verbal entre varias personas (Fuente: enbuscadeantes.com)**

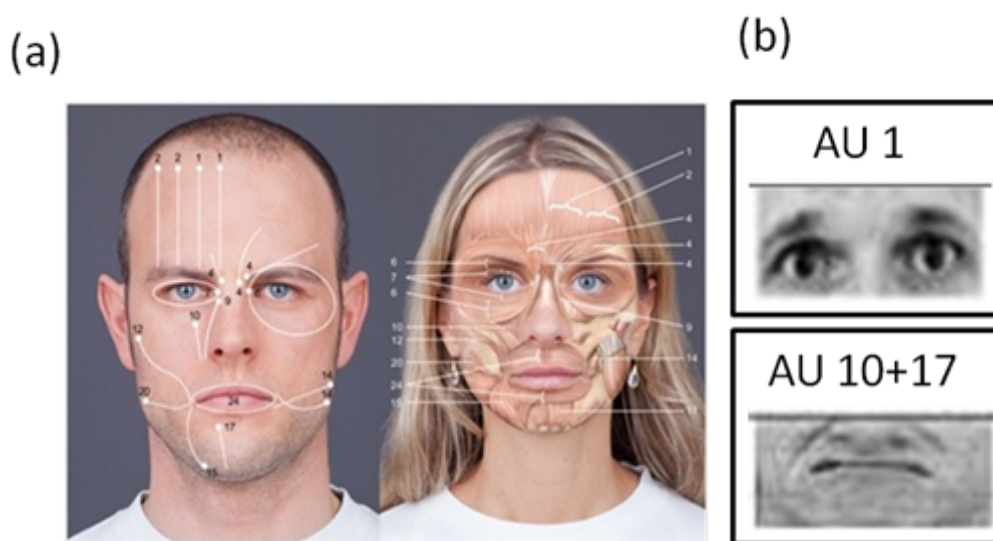
Además de la lectura que se puede hacer de gestos y posturas, la expresión facial añade matices importantes. Por ejemplo, una persona con los brazos cerrados y cara tensa afianza una actitud cerrada, sin embargo si su expresión facial es relajada, denota un matiz de aprobación.

### **3.2.2 EXPRESIONES FACIALES**

Darwin (1872) fue el pionero en estudiar las relaciones entre los gestos faciales y movimientos corporales con las emociones. Basándose en los aspectos biológicos de los animales, las

expresiones faciales son un mecanismo de comunicación, transfiriendo información acerca del entorno y del estado emocional del animal.

Posteriormente siguiendo con las investigaciones de Darwin, Ekman y Friesen (1978) se centraron en la respuesta somático-facial del SNA y desarrollaron un código para medir las expresiones faciales e identificar así las emociones básicas “Facial Action Coding System”. Dicho código se basa en catalogar unidades específicas de acción (Action unit -AU) y los segmentos temporales que producen la expresión. La Figura 3.2(a) muestra la localización de las AU en la cara, y la Figura 3.2(b) la relación entre las AU y distintas expresiones faciales.



**Figura 3.2 “Facial Action Coding System” diseñado por Ekam y Freise (1978).**  
(Fuente:<https://merkikerk.wordpress.com/2015/05/07/facial-action-coding-system/>)

Profundizando en el estudio de las expresiones faciales a través del análisis de la respuesta cortical, Ekman llegó a la conclusión de que si un individuo finge la expresión de sus emociones, la manifestación de la misma en su cara es asimétrica, siendo la parte izquierda de la cara la que más expresión muestra. Por el contrario, si la emoción es sentida de forma natural, se muestra en una expresión facial simétrica.

### 3.2.3 Voz

Cuando nos comunicamos con otra persona, transmitimos tanta información en el propio mensaje, como en la forma en que lo decimos. El control expresivo del lenguaje se origina en la región motora de la corteza cerebral (Luria, 1980), más concretamente en el Área de Broca. Posteriormente, a través de un complejo sistema de neuromecanismos se hace efectiva la articulación y emisión acústica del lenguaje verbal.

La voz está directamente relacionada con los diferentes estados emocionales, ya que cualquier cambio psico-fisiológico tiene su repercusión a nivel del aparato fonador. Por ejemplo una palabra expresada con estado emocional triste presenta baja intensidad y corta duración, en comparación con la misma palabra expresada con un estado emocional alegre o sorprendido.

La decodificación de mensajes paralingüísticos todavía no está plenamente desarrollada, pero sí mediante la prosodia y las vocalizaciones no lingüísticas como llantos, risas, etc.

### **3.2.4 FISIOLÓGÍA**

La respuesta fisiológica como mecanismo homeostático ante cualquier evento interno o externo está regulada por el sistema nervioso autónomo, tanto de su rama simpática como parasimpática (Canon 1935). Para el funcionamiento correcto del organismo debe haber un control constante de todos los cambios. Ello implica, una gran precisión y especificación del SNA para que responda de forma adaptativa en cada órgano y músculo específico.

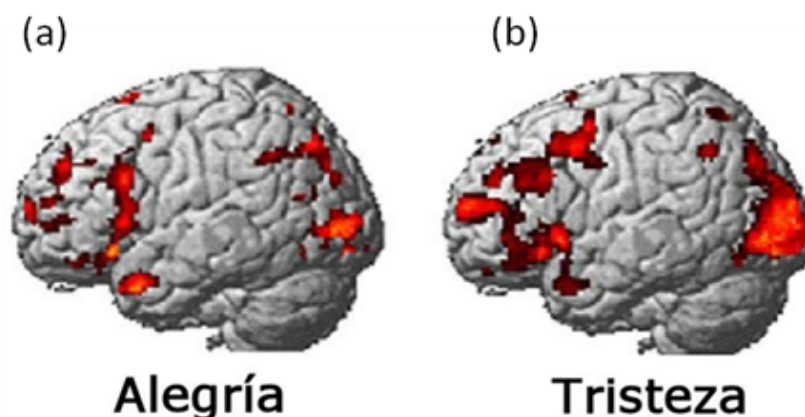
La activación o inhibición del SNA durante procesos emocionales se estudia a través de varias señales fisiológicas como: el diámetro de la pupila, la temperatura corporal, los movimientos musculares a partir del electromiograma, la frecuencia respiratoria, la dinámica del corazón mediante el electrocardiograma y la sudoración a través la respuesta galvánica de la piel (Kreibig, 2010). Entre los diferentes trabajos consultados se puede ver que Ren y col. (2014) únicamente se basan en el estudio del pupila; de Santos y col. (2011) en el ritmo cardíaco y la sudoración; y muchos de los restantes utilizan distintas combinaciones de varias señales (de Vries y col., 2015; Healey y Picard, 2005; Nasoz y col., 2004).

### **3.2.5 ACTIVIDAD CEREBRAL**

La actividad cerebral juega un papel importantísimo en el desarrollo de las emociones, tanto en su función transmisora, como de procesamiento y cognitiva. La neurociencia afectiva se basa en los últimos avances de los estudios cerebrales, con objeto de ahondar en la búsqueda de un mapa neural relacionado con las experiencias emocionales (Koelsch, 2014).

Las técnicas más utilizadas para el estudio cerebral son las imágenes por resonancia magnética funcional (fMRI) y la electroencefalografía. Kassam y col. (2013) combinando fMRI con aprendizaje automático en un ordenador, han desarrollado una técnica que permite leer con precisión emociones en individuos. Los resultados de su trabajo se muestran en la Figura 3.3, donde en la Figura 3.3 (a) se observa un patrón típico de un estado de alegría y en la Figura 3.3 (b) de tristeza.





**Figura 3.3** La imagen cerebral de la izquierda muestra el patrón de señales típico de la alegría, mientras que la de la derecha muestra el patrón típico de la tristeza.(Fuente: Universidad Carnegie Mellon)

La utilización de la encefalografía se ha aplicado con buenos resultados en el desarrollo de sistemas computacionales para medir niveles de estrés (Sharma y Gedeon, 2014).

### 3.2.6 CONCLUSIONES

El objetivo de esta investigación es el desarrollo de un sistema capaz de detectar diversos estados emocionales. Por lo tanto, a la hora de elegir las entradas al sistema que determine el estado emocional, es necesario que éstas puedan ser recogidas de forma no invasiva.

Tras un análisis de los diferentes métodos para el reconocimiento de emociones se ha elegido la utilización de variables fisiológicas, más concretamente la actividad cardíaca y la sudoración a través de los registros obtenidos del electrocardiograma (ECG) y la respuesta galvánica de la piel (GSR) respectivamente. La elección de dichas señales se basa en el hecho de que la dinámica del corazón y las glándulas sudoríparas dan información suficiente de la activación o inhibición del SNA. Además, tanto el ECG como la GSR se pueden recoger de forma no invasiva, cumpliendo así con los requisitos previamente establecidos para un futuro desarrollo de dispositivos portables.

### 3.3 GSR Y ECG - EMOCIÓN

En el contexto de las emociones, la pregunta que se plantea es: ¿Cómo funciona el corazón y las glándulas sudoríparas?, ¿qué variables indican su dinámica?, ¿cómo se origina y se organiza la respuesta del SNA ante la vivencia de cierto tipo de emoción o ante una situación de estrés? En los siguientes apartados se presentarán los resultados de estudios que proporcionan respuestas a las preguntas planteadas.

### 3.3.1 BIOSEÑALES

#### GLANDULAS SUDORÍPARAS Y GSR

La función de las glándulas sudoríparas ecrinas se encuentra sometida a la regulación de la temperatura corporal. La vía aferente parte de diversos termorreceptores (cutáneos e hipotalámicos) que emiten impulsos a través de la médula espinal y el tálamo hacia el hipotálamo, centro donde se integran las señales sensoriales. Ante situaciones de calor, el sistema termostático del hipotálamo provoca un descenso de la temperatura mediante la vasodilatación de la glándula sudorípara y ello produce la estimulación de sudor. La sudoración también tiene un componente de control emocional (sudoración emocional) regulado por el córtex cingulado anterior y el sistema límbico.

Las vías eferentes de las glándulas sudoríparas pertenecen exclusivamente al sistema simpático, cuyo neurotransmisor es la acetilcolina, a diferencia de la mayoría de ramas simpáticas que utilizan noradrenalina. Por lo tanto, son exclusivamente simpático colinérgicas. En la Figura 3.4(a) se observa una glándula sudorípara inactiva, mientras que en la Figura 3.4(b) se muestra otra glándula que ha sido activada, produciendo una vasodilatación y la correspondiente secreción del sudor (Benedek y Kaernbach, 2010).

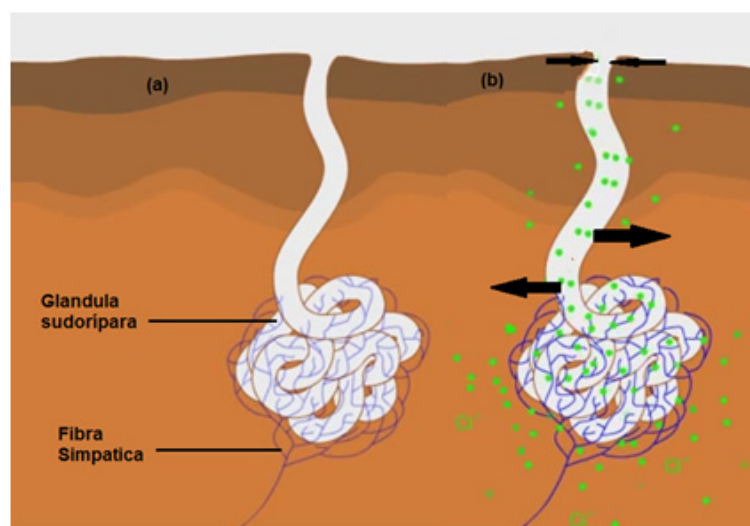
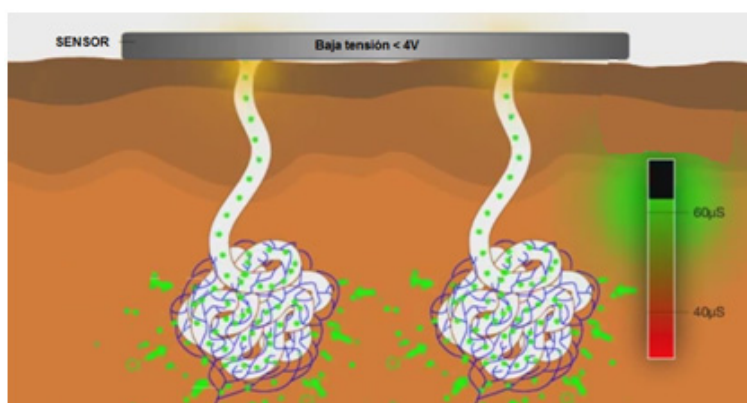


Figura 3.4 (a) glándula sudorípara e inervación simpática sin activación, (b) con activación (Fuente: impetomedical)

Cuando en una zona superficial de las glándulas sudoríparas se aplica un pequeño voltaje mediante un sensor de acero inoxidable, se crea una corriente debida a la reacción electroquímica. Con esta baja tensión, el estrato córneo actúa como un condensador y sólo

permite la transmisión de iones de sudor. Esto asegura que la corriente medida (conductancia) se corresponda exclusivamente a la función de sudoración. Esta medida también se llama respuesta galvánica de la piel (GSR) y se mide en microsiemens ( $\mu\text{S}$ ). En la Figura 3.5 queda representado el proceso de captación de la conductividad.



**Figura 3.5 Proceso para el cálculo de la conductividad de la piel**  
(Fuente: impetomedical)

### ACTIVIDAD CARDÍACA Y ECG

El corazón funciona como una bomba electromecánica, cuya finalidad es la de recoger la sangre y expulsarla por todo el organismo gracias a la acción combinada de sus cuatro cámaras: aurículas derecha e izquierda y ventrículos derecho e izquierdo. La contracción y distensión de dichas cámaras se realiza de manera síncrona de forma que se optimiza el gasto cardíaco (Geddes, 1984).

El corazón es un músculo compuesto por células excitables (Webster, 1992) que se contraen al ser estimuladas por sus vecinas. El origen de la excitación está ubicado en el nodo sinusal (nodo SA), que es el marcapasos cardíaco en situaciones normales. A diferencia de las células nerviosas, las células del nodo SA no necesitan un estímulo para desencadenar un impulso eléctrico, sino que tienen la capacidad de iniciar el impulso por sí solas, es decir, son autoexcitables y dotadas de una cierta ritmicidad, cuya frecuencia está regulada por diversos sistemas. En el nodo SA comienza el impulso nervioso y se distribuye por la aurícula derecha, después por la izquierda, provocando la contracción de ambas aurículas, dando paso a la sangre hacia los ventrículos. Del nodo SA se transmite el impulso hasta el nodo aurículo-ventricular (AV) y a continuación llega a una estructura corta denominada haz de His. Este se bifurca en dos ramas, derecha e izquierda, que a su vez se subdivide en una red circuitos transmisores del impulso eléctrico (red de Prukinje) a todas las células musculares de los ventrículos, que se encargan de bombear la sangre hacia los órganos.

Según el tipo de actividad eléctrica que desempeña cada célula del corazón, se pueden dividir en dos:

- Células de respuesta lenta o **autoexcitables**: Además de conducir el impulso eléctrico, tienen la capacidad de generarlo. Poseen un potencial de reposo variable, que se va despolarizando hasta alcanzar el potencial de umbral y provocar un potencial de acción que se transmite al resto de células (Figura 3.6 (a)).
- Células de respuesta rápida o **musculares**: Poseen un potencial de reposo constante y necesitan de un estímulo eléctrico para sobrepasar el potencial de umbral y generar el potencial de acción necesario para contraer los miocitos (células que forman la musculatura del corazón) (Figura 3.6 (b)).

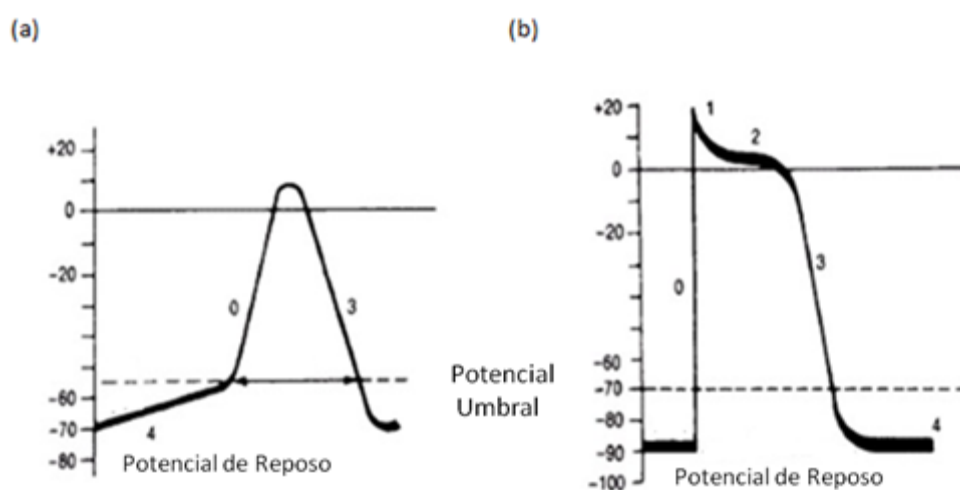
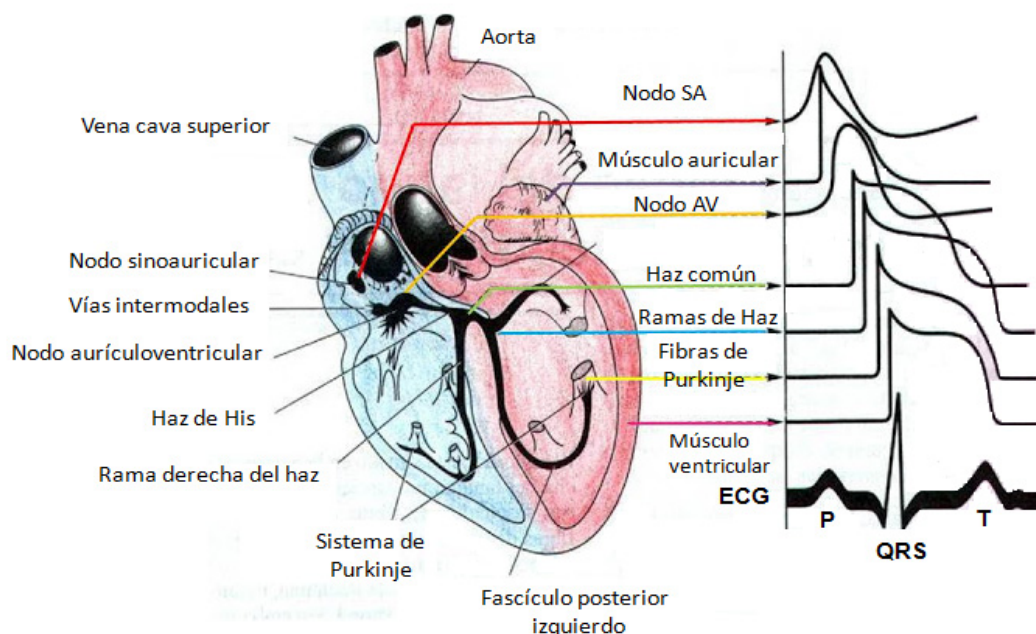


Figura 3.6 Potencial de las células cardíacas (a) autoexcitables o de respuesta lenta (b) muscular o de respuesta rápida (Fuente: fisiologiabasica-facultad-uas)

El ciclo anteriormente descrito, controla la contracción sincrona de las aurículas y ventrículos, en el cual las células se activan o despolarizan, y una vez activadas vuelven a condiciones eléctricas de reposo (repolarización), en espera de volver a ser despolarizadas.

El electrocardiograma representa un registro gráfico de la actividad eléctrica del corazón (Figura 3.7) en el cual se pueden distinguir la onda P, complejo QRS y onda T. La onda P corresponde con la despolarización de las aurículas, el complejo QRS con la despolarización de los ventrículos y la onda T con la repolarización de los ventrículos. La repolarización de las aurículas queda enmascarada por el complejo QRS.



**Figura 3.7 Potencial de acción típico de cada segmento del corazón**

**(Fuente: fisiologiabasica-facultad-uas)**

Debido a que el corazón está inervado tanto por las ramas eferentes del sistema simpático como por las del parasimpático, el ritmo cardíaco varía en función de la excitación proveniente de ambas. Cuando hay una activación del SNAS, los receptores  $\beta_1$  adrenérgicos aumentan la frecuencia cardíaca en el nodo sinusal, la contractilidad de los músculos cardíacos de las aurículas y ventrículos y la conducción. Por el contrario si se activa el SNAP, los receptores M2 colinérgicos disminuyen la velocidad de conducción a nivel de los nodos SA y AV, reduciendo así la frecuencia cardíaca, sin tener efectos en las fuerzas contráctiles del músculo cardíaco del ventrículo. Tanto el sistema simpático como el parasimpático interactúan de manera constante en este proceso, produciendo una variabilidad del ritmo.

Debido a que la finalidad del estudio cardíaco en la presente tesis es determinar los cambios fisiológicos y no las cardiopatías, no es necesario estudiar la onda cardíaca completa, si no que con la evolución de su ritmo cardíaco es suficiente. La variabilidad del ritmo cardíaco (HRV) es una señal que mide las variaciones temporales entre latido y latido (Malik 1998), las cuales disminuyen cuando el corazón se acelera y crecen cuando se ralentiza. La HRV es una señal ampliamente estudiada ya que refleja con precisión la dinámica del corazón, pudiéndose encontrar innumerables trabajos donde se utiliza como método de diagnóstico, tanto de emociones, como de numerosas enfermedades, siendo ejemplos muy significativos los trabajos de Carney (2005 y Thayer (2010).

### 3.3.2 PATRONES FISIOLÓGICOS DE LA EMOCIÓN

Como se ha explicado anteriormente, hay una clara relación entre las emociones y las variables fisiológicas. Durante décadas, numerosos estudios han investigado sobre ello, desarrollando diferentes teorías sobre las emociones y sus respuestas autonómicas. De hecho, se han llegado a realizar numerosas investigaciones con el objetivo de averiguar qué cambios fisiológicos suceden en el organismo ante emociones concretas. Cannon ya predijo que no hay un patrón fisiológico que se corresponda con una determinada emoción, pero sí una respuesta de activación del SNAS ante una situación de emergencia.

En esta sección se hará una síntesis de los datos más concluyentes, en base a la teoría de activación de Canon (1935), las aportaciones de Damasio (2010) y Goleman (2010) sobre las emociones. También se estudiará el trabajo de Kreibig (2010) en el cuál se recopilan 134 investigaciones de diferentes autores que investigan sobre la relación entre las emociones y la respuesta del SNA. Todo ello con el objetivo de definir patrones fisiológicos de sudoración y de ritmo cardíaco, asociados tanto a situaciones de estrés, como a las emociones de enfado alegría, miedo, bienestar, tristeza, sorpresa y asco.

#### ESTRÉS

Tal y como propuso Canon (1935) en su teoría de la activación, cuando una persona se encuentra ante una situación de amenaza, su organismo desencadena una serie de reacciones físico-químicas y emocionales para poder afrontarlo. Un evento, como por ejemplo tocar algo muy caliente, hace que la mano se retire de inmediato. Pero, ¿cómo se genera la respuesta del organismo ante la recepción de una situación de amenaza?

En estados normales, el sistema nervioso simpático y parasimpático regula la homeostasis del organismo llevando pequeñas cantidades de neurotransmisores como noradrenalina y acetilcolina directamente a los órganos. Sin embargo ante una situación de estrés, la amígdala manda una señal al hipotálamo y este activa el sistema nervioso simpático mandando señales a través de los nervios autonómicos a la glándula adrenal. Dicha glándula responde aumentando la secreción de noradrenalina y acetilcolina junto con un nuevo transmisor, la adrenalina. Cuando los neurotransmisores llegan a los órganos y glándulas empiezan los cambios fisiológicos: el corazón se acelera y las glándulas sudoríparas secretan un golpe fuerte de sudor. Estos cambios son rápidos e intensos, de mayor intensidad según sea la percepción de peligro, con el objetivo de ayudar al organismo a solventar cuanto antes el problema.

Según la sensación de peligro desaparece, el simpático se inhibe, pero debido al gasto energético producido ante la situación de estrés, el parasimpático toma fuerza para ayudar al cuerpo a recuperarse, manteniéndolo en un estado de conservación de energía. El corazón disminuye su frecuencia cardíaca y las glándulas ecrinas dejan de emitir sudor.

### **ENFADO**

La ira provoca un sentimiento de indignación que genera un impulso de dañar al agente causante del enfado. Para afrontar dicho impulso el SNAS se activa y con él los receptores  $\alpha$  y  $\beta$  adrenérgicos, reflejando un aumento en el ritmo cardíaco (HR) y en la sudoración.

A pesar de este patrón básico de enfado, se han encontrado diferentes respuestas fisiológicas ante esta emoción. En experimentos cuyo estímulo elicitor son las películas, Stemmler y col. (2007) demostraron que el momento en el cual se empieza a sentir enfado, la función cardíaca se mantiene constante, pero cuando desaparece la emoción, el ritmo del corazón desciende. Dimberg y Thunberg (2007) también encontraron un patrón distinto cuando intentaban provocar enfado a través de la visualización de imágenes, más concretamente cuando las fotos se corresponden con personas enfadadas. En ese caso, los sujetos llevados a estudio mostraron un descenso del ritmo cardíaco, pudiendo ser debido a que dichas imágenes provocan miedo más que enfado.

### **ASCO**

El asco es una emoción que implica una respuesta de rechazo hacia el estímulo que lo desencadena. La respuesta fisiológica sigue dos patrones distintos, dependiendo de: si (1) se ha sentido asco a través de estímulos potencialmente dañinos para el organismo, como comida en mal estado, olores corporales, etc.; (2) ante la visualización de escenas sangrientas como amputaciones, autopsias, etc.

Ante el primer caso, el patrón fisiológico se corresponde con aceleraciones en el ritmo cardíaco y una inactividad o descenso en la secreción de las glándulas sudoríparas. Mientras que en el segundo caso correspondiente a escenas sangrientas, el ritmo cardíaco se decelera y la sudoración aumenta.

### **MIEDO**

El miedo conlleva una inseguridad en la capacidad para poder manejar la situación amenazante. En función de las capacidades personales y del tipo de peligro, el miedo puede desencadenar dos tipos de respuestas. Una de ellas se desencadena con la idea de facilitar al organismo de los

recursos necesarios y la energía suficiente para una posible huida de peligros potenciales. El NSAS se activa y por consiguiente aumenta el ritmo cardíaco y el nivel de sudor.

Otro modo de reaccionar ante una situación que produce miedo es la inmovilidad, de tal forma que pasar inadvertido se presenta como la opción más eficiente para sobrevivir. El patrón fisiológico que ayuda a generar estados de paralización se corresponde con una inhibición del simpático que mantiene constante o incluso ralentiza el ritmo cardíaco y la sudoración.

### **TRISTEZA**

Los estudios basados en la elicitación de tristeza mediante películas, han revelado dos patrones distintos dependiendo de si la emoción desemboca en lloro o no. El patrón fisiológico para los sujetos que han sentido tristeza acompañada de llanto se caracteriza por una activación del SNAS y por consiguiente con un aumento del HR y de la sudoración. Por otro lado, aquellos que han sentido tristeza sin lloro tenían un patrón heterogéneo simpático-parasimpático marcado con pequeños descensos en el nivel de sudor y del ritmo cardíaco.

Cabe destacar que en experimentos basados en la visualización de imágenes, los patrones varían según el tipo de imagen a visualizar. Si esta se corresponde con catástrofes, guerras etc., el ritmo cardíaco aumenta, y si por el contrario eran accidentes aéreos o víctimas, el ritmo cardíaco disminuye.

### **BIENESTAR**

Para poder inducir estados de bienestar en condiciones de laboratorio, los investigadores se decantan por la proyección de películas de naturaleza con música de relajación. De tal forma que el sujeto que lo visualiza sienta paz y bienestar. El patrón fisiológico encontrado en estos estados es bastante claro. Al no generarse la necesidad de activación del simpático, disminuyen los niveles de transmisores adrenérgicos y colinérgicos, y por lo tanto el corazón desacelera y se mantiene a un ritmo constante, el nivel de sudoración baja y la variabilidad del ritmo cardíaco es armónica.

### **FELICIDAD**

La felicidad es una emoción positiva que implica sentimientos agradables. Como toda emoción positiva está asociada con una disminución de la influencia de transmisores adrenérgicos simpáticos. Trabajos relacionados con distintos métodos de elicitación de emociones, han evocado alegría mediante imaginación o visualización de escenas como la de un deportista



ganando una medalla, o un momento de alegría entre una madre y su hija, comprobando que el corazón laten a un ritmo decelerado y las glándulas sudoríparas dejan de secretar.

Si la felicidad va acompañada de un momento de alegría y diversión, e incluso una risa, la respuesta fisiológica es diferente. Debido a un efecto motivacional, los cambios fisiológicos se caracterizan por un aumento de la activación simpático adrenérgica y por consiguiente de la actividad cardiovascular y electrodermal. Estos cambios dan como resultado una aceleración del ritmo cardíaco y de la sudoración, patrones parecidos a emociones negativas como el enfado o tristeza con lloro, debido a una inactividad parasimpática.

### **SORPRESA**

Las emociones neutras son aquellas que por sí mismo no producen ni sentimientos agradables ni desagradables. Aunque tras ellas sí se da pie a la aparición de posteriores estados emocionales. La sorpresa es la emoción más significativa de las emociones neutras. Es la emoción menos intensa de todas, apareciendo de forma muy rápida y llegando a desaparecer de igual modo. Después del proceso cognitivo de valoración de lo ocurrido, se genera también de forma muy rápida la emoción subsecuente, si ha sido una sorpresa agradable una emoción positiva y si ha sido desagradable, negativa.

Debido a la naturaleza impetuosa del estímulo que generó la sorpresa y ante la posibilidad de que ocurra una situación de alarma, el cuerpo se prepara para lo peor y lanza una súbita activación simpática para proveer al organismo de la energía necesaria para lo que pueda ocurrir. Por consiguiente, hay una rápida estimulación de las glándulas sudoríparas y también se aceleran los latidos del corazón. Si la emoción se procesa como no peligrosa, se produce otro cambio rapidísimo para devolver al cuerpo a la situación estable previa al estímulo.

### **3.3.3 CONCLUSIONES**

En este apartado se ha realizado un estudio de la fisiología del sistema nervioso centrado en la actividad cardíaca y en las glándulas sudoríparas. Dicho estudio sirve de base para poder entender cómo y porqué suceden los cambios fisiológicos en el organismo y tiene por objeto poder identificar estados emocionales a través de la lectura de esas variables fisiológicas.

Una conclusión relevante alcanzada tras la lectura de los diferentes trabajos relacionados con el estudio de la psicofisiología, es que aun habiendo un patrón fisiológico predominante para cada emoción, este no es único y depende de cómo el sujeto viva y se desarrolle la emoción, tal y como predijo Cannon (1935). Hay patrones fisiológicos que se corresponden con emociones tan

antagónicas como estados concretos de felicidad y rabia. Hecho que deriva el análisis a una identificación de estados más genéricos, como la activación e inhibición del sistema nervioso simpático, relacionados con estados de alerta y relajación o tristeza sin lloro respectivamente.

Cuando el SNAS se activa se puede hablar de un patrón fisiológico claramente identificable, sin importar el tipo de evento o emoción que generó dicha activación. En el momento que el organismo percibe una situación de alerta, bien sea por estrés, cambio atencional, sorpresa etc., se origina un cambio rápido en la fisiología aumentando el ritmo cardíaco y la sudoración. Dicho cambio se mantiene hasta que la percepción de peligro va desapareciendo, dando más peso al sistema parasimpático y reconduciendo al cuerpo a una situación de equilibrio y conservación de energía.

Cabe decir que aunque ante una situación de estrés hay una clara respuesta del organismo, no todas las situaciones de estrés son de la misma intensidad, ni vividas de la misma forma. Es en este punto donde entra en juego el procesamiento cognoscitivo de cada individuo. Ello deja abierto un abanico de diferentes estados de estrés y por consiguiente, distintas respuestas fisiológicas.

Del mismo modo que hay un patrón básico en la activación del SNAS, lo hay para su inhibición. Durante las emociones de relajación, bienestar o tristeza sin lloro, el cuerpo se encuentra en un estado de interiorización, contención y conservación de la energía. Al no haber respuesta simpática, las glándulas sudoríparas conectadas exclusivamente con nervios SNAS no se activan y el nivel de sudor disminuye. En contraposición, el parasimpático toma fuerza y el corazón decelera su frecuencia cardíaca.

Los argumentos planteados ponen de relieve que los patrones psicofisiológicos no son lo suficientemente específicos como para permitir la diferenciación entre emociones, aunque sí entre las situaciones de activación simpática y parasimpática. Es por ello que este trabajo empieza buscando cambios fisiológicos asociados con situaciones de estrés y posteriormente se analiza el resto de emociones.



## 4 METODOLOGÍA Y MATERIALES

---

*“No es la especie más fuerte la que sobrevive, ni la más inteligente, si no la que responde mejor al cambio”*

Charles Darwin



Para poder reconocer de forma automática diferentes cambios emocionales, es necesario disponer de una base de datos de estudio. Es por ello que para este trabajo, se han diseñado varios experimentos que tienen por objeto elicitación entre sus participantes diferentes emociones, a la vez que son recogidas sus variables fisiológicas. De tal forma que se pueda disponer de una base de datos que posteriormente se lleven a análisis.

Este capítulo comienza describiendo las diferentes etapas del proceso experimental, así como la aportación de cada uno de los tres equipos científicos en cada fase. Posteriormente, se explica en detalle las metodologías de cada uno de los experimentos, así como los materiales necesarios para llevarlos a cabo.

## 4.1 ORGANIZACIÓN

Debido al carácter multidisciplinar del trabajo desarrollado en esta tesis, ha sido necesario realizar varias reuniones entre el equipo técnico, psicológico y médico con objeto de configurar los experimentos y dar los pasos idóneos para el diseño de los mismos. En la Figura 4.1 Organización del proceso experimental se presentan las aportaciones de cada grupo participante durante las fases del proceso experimental.

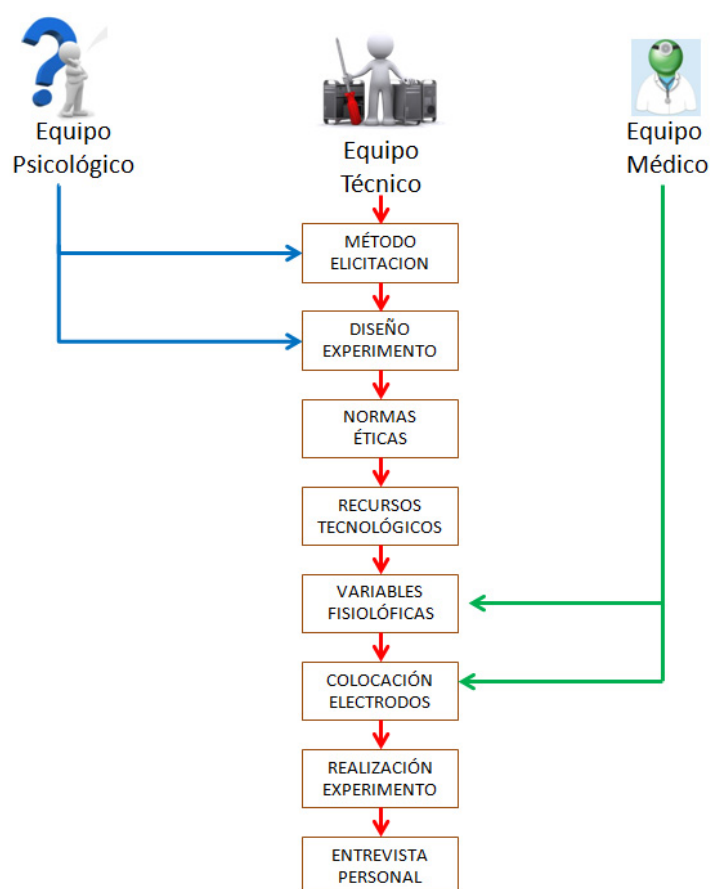


Figura 4.1 Organización del proceso experimental

## 4.2 EXPERIMENTO I

El procedimiento experimental que se presenta a continuación, se diseñó con objeto de elicitarse en diversas personas cambios emocionales que derivasen en una situación estresante. Todo ello dentro de un entorno de laboratorio controlado y de la forma más real posible. En las pruebas realizadas, se recogieron a su vez muestras de señales fisiológicas para posteriormente ser analizadas en busca de patrones de estrés. Las señales adquiridas de los participantes fueron la GSR y el ECG, en base a las premisas anteriormente establecidas.

### 4.2.1 DISEÑO DE LA FASE DE PRUEBAS

Para la realización del experimento se buscó un reto al que debían enfrentarse los participantes en un tiempo determinado. En concreto, el reto planteado fue la resolución de puzzles de madera 3D, para lo cual debían tener habilidades de visualización espacial y medición geométrica.

En las pruebas llevadas a cabo, se utilizaron 5 puzzles de diferentes grados de dificultad para obtener así distintos grados de estrés. A los sujetos se les propusieron diversos objetivos, con el fin de motivarlos y conseguir que su implicación a la hora de resolver la tarea fuera lo más real posible. La Figura 4.2 muestra uno de los puzzles, donde se observa tanto la solución final, como las fases de su resolución.

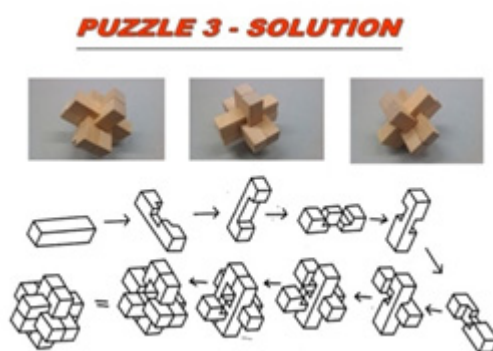


Figura 4.2 Puzzle y resolución

Otras de las cuestiones consideradas en la etapa de experimentación, fue la de llevar al sujeto a un estado emocional basal antes de la realización del puzzle, a través de la visualización de un vídeo de naturaleza con música relajante. Tras la finalización del experimento, también se decidió proyectar el vídeo de relajación y que de este modo el sujeto saliera del experimento con un estado emocional positivo.

Para un posterior análisis de los datos, los participantes rellenaron un documento con aspectos socioeconómicos, como género, población, etc.

## 4.2.2 INSTRUMENTOS EVALUATIVOS

La evaluación de la respuesta de los sujetos en cada prueba, se llevó a cabo mediante los tres siguientes tipos de valoración emocional:

### Cuestionario SAM

Para evaluar la capacidad de generar estados emocionales de forma dimensional, Lang (1980) ideó una medida pictográfica no verbal: el Maniquí de Autoevaluación (Self-Assessment Manikin, SAM). Entre los sistemas de agrupación emocional descritos en capítulo 2, el cuestionario SAM se diseñó para clasificar las emociones de forma dimensional. Las tres dimensiones: valencia, activación y dominancia, se evalúan mediante una escala tipo Likert de 9 puntos (de 1 a 9) y 5 imágenes por dimensión, tal y como se observa en la Figura 4.3. La valencia expresa el grado de felicidad o tristeza que produce el estímulo emocional. La activación se refiere al nivel de alteración con la que el sujeto responde al mismo, y por último la dominancia indica el control de la situación. La dimensión más significativa para este trabajo es la activación, debido a que está íntimamente relacionada con el SNAS y por consiguiente con los cambios a situaciones estresantes.

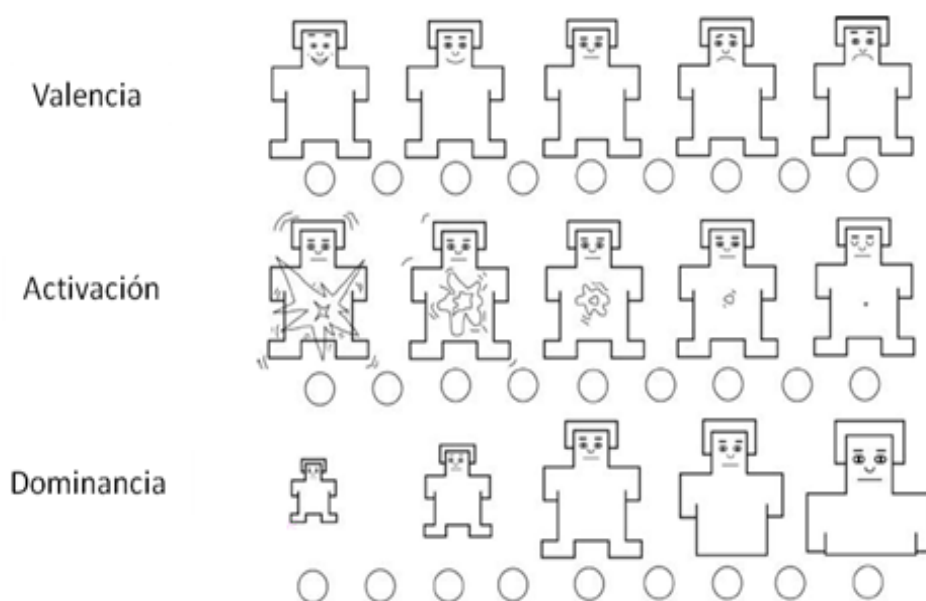


Figura 4.3 Cuestionario de evaluación dimensional (SAM)

### Anotaciones y marcas

Las anotaciones y marcas se realizaron en el registro, indicando episodios concretos durante la realización de las pruebas como: inicio del experimento, caída de una pieza, etc., las cuales permiten identificar en qué momento se producen los eventos estresantes.



## Entrevista

Como último elemento evaluativo, a los participantes se les realizó una pequeña entrevista preguntándoles cómo se habían sentido en las distintas fases de la prueba.

### 4.2.3 NORMATIVA ÉTICA

Debido a que se va a realizar una experimentación en seres humanos, es necesario cumplir diferentes códigos éticos y normativas legales. Los dos pilares de la regulación de la experimentación humana son el Código de Nüremberg (1947) y la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial (1964); en los cuales se resumen los principios éticos en investigación sobre seres humanos. Ambos documentos establecen la obligación de preservar la confidencialidad de los datos recogidos y la existencia de un consentimiento informado firmado por los participantes.

### Consentimiento informado

El consentimiento informado es un punto clave en la investigación en seres humanos; pretende proteger al sujeto de la investigación de posibles intereses. No ha de ser un simple requisito legal o un trámite administrativo, sino que es un derecho humano.

El consentimiento informado debe contener tres elementos:

- Voluntariedad: Un acuerdo para participar en una investigación es válido solo si la persona participa de forma voluntaria, sin haber persuasión ni manipulación.
- Compresión: La información plasmada en la hoja de consentimiento debe estar redactada de forma clara y concisa, de tal modo que el participante no tenga duda del experimento que va a realizar.
- Información: de los riesgos que pudieran entrañar la participación de la prueba, si es que los hubiera.

La hoja de consentimiento debe estar firmada tanto por el investigador como por el sujeto al cual se le realiza el experimento.

### Protección de datos

El tratamiento de datos personales por cualquier entidad pública o privada, genera una serie de obligaciones en España, tanto técnicas como organizativas, a través de la Ley Orgánica 15 /1999, de Protección de Datos de carácter personal; del Real Decreto 1720/2010.

Para preservar la protección de los datos, los registros tomados durante el experimento serán guardados mediante un sistema de codificación sin aparecer datos personales del participante.

#### 4.2.4 REGISTRO DE LOS DATOS

##### Sistema de adquisición de datos

Las señales de los participantes fueron recogidas mediante el sistema profesional de adquisición de datos BIOPAC MP 36 System (Biopac Systems Inc., USA). La unidad MP36 tiene un microprocesador interno que permite controlar la adquisición de datos, recogiendo las señales fisiológicas y convirtiéndolas en señales digitales que pueden ser procesadas posteriormente. Como se puede observar en el panel frontal del dispositivo (Figura 4.4), puede recoger hasta 4 bioseñales diferentes, todas a la misma frecuencia de muestreo.

Los datos recogidos son enviados a un ordenador vía puerto USB. El software AcqKnowledge permite visualizar las señales fisiológicas en tiempo real e ir introduciendo marcas en los registros junto a comentarios explicativos. Los datos se pueden guardar con extensión “. Acq” para un posterior análisis de las mismas dentro del propio programa, o “.txt” para ser leídas desde cualquier otro.



Figura 4.4 Biopac MP36

##### ECG

El ECG detecta la actividad cardíaca del corazón a través de unos electrodos colocados en la superficie de la piel. Debido a que este estudio se centra en el análisis de la variabilidad del ritmo cardíaco y no en cardiopatías, la señal recogida con tres electrodos será lo suficientemente precisa.

La colocación de los electrodos según las pautas dadas por Biopac, situaban dos de ellos en los tobillos. Ese tipo de asignación induce ruido cada vez que el participante mueve las piernas. El equipo médico planteó la colocación de los tres electrodos en el pecho, tal y como se observa en la Figura 4.5, de tal forma que el ruido provocado por el movimiento se reduce considerablemente.

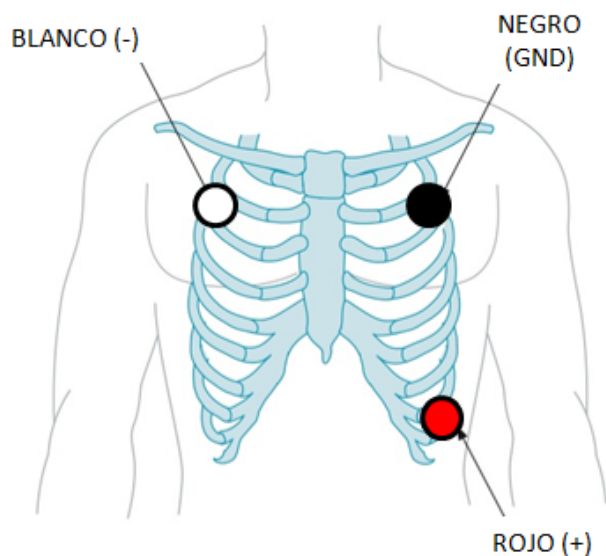


Figura 4.5 Electrodo y su colocación en el cuerpo humano

Los parámetros de adquisición de la señal ECG se configuraron de la siguiente manera:

- Frecuencia de muestreo de 1000 Hz
- Filtro notch
- Ganancia 200

## GSR

La GSR es la medida de la conductancia de la piel e indirectamente del nivel de sudor. Se aplica un pequeño voltaje a través de dos electrodos atados uno a cada dedo de una mano (Figura 4.6), con el objetivo de establecer un circuito eléctrico donde el sujeto hace de resistencia variable en función del nivel de sudoración.



Figura 4.6 Colocación de los electrodos para medir el GSR

Los parámetros de adquisición de la señal GSR se configuraron de la siguiente manera:

- Frecuencia de muestreo de 1000 Hz
- Filtro notch
- Ganancia 200

#### **4.2.5 PARTICIPANTES**

Un total de 166 participantes (125 hombres, 41 mujeres) de edades comprendidas entre 19 y 45 años, con una media (M)=22.88 y desviación estándar (SD)= 3.1, participaron voluntariamente en este experimento. Todos los participantes eran estudiantes de Ingeniería de la Universidad del País Vasco.

Cabe decir que para ser un experimento en el cual se recogen señales fisiológicas de seres humanos, se ha conseguido una muestra de estudio grande. Healy y Picard (2005) realizaron sus estudios con una muestra de 9 participantes, Zhai y Barreto (2006) con 32 y de Santos y Col. (2011) con 80.

#### **4.2.6 PROCEDIMIENTO**

Para la realización del experimento se preparó un laboratorio con 2 puestos. En cada uno de ellos había un puzle desarmado junto con su resolución, los documentos a rellenar, el sistema audiovisual para la proyección del vídeo basal y el equipamiento necesario para la recogida de las variables fisiológicas: sistema de adquisición de datos, un portátil, electrodos, transductores y cableado (Figura 4.7).

Los participantes permanecían a la espera fuera del laboratorio y una vez todo estaba preparado, se les asignaba un puesto. Inicialmente se les informaba del propósito de las pruebas y en qué consistían. Después se les explicaba qué documentos debían rellenar, los cuales eran: una hoja de datos socio-demográficos, otra de consentimiento que debía de ser firmada donde se explica que se preservaban todos los derechos de confidencialidad y se respetaban las leyes vigentes relacionadas con estos procedimientos experimentales (Ezeiza y col., 2008) y por último el cuestionario SAM para completar al finalizar la prueba.

Una vez rellenadas y recogidas tanto las hojas de consentimiento como las socio-demográficas, se les colocó a los sujetos los electrodos encargados de recoger sus variables fisiológicas, los cuales estaban conectados previamente al sistema profesional de adquisición de datos.

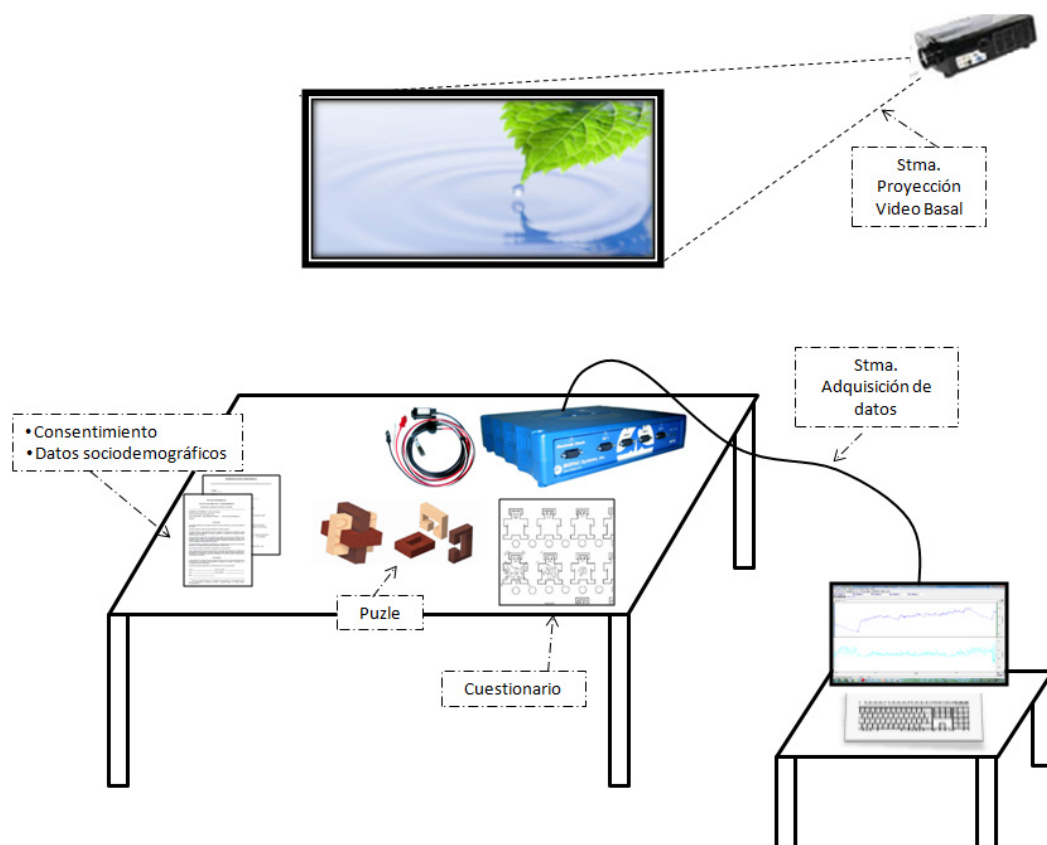


Figura 4.7 Emplazamiento de los materiales necesarios para la realización del experimento.

Antes de empezar con la resolución del puzle, se proyectó un vídeo relajante, con el objeto de llevar al sujeto a un estado emocional basal. Inmediatamente después del vídeo, cada participante comenzó con la resolución del puzle, dentro de un tiempo previamente determinado e informado, tal y como refleja la Figura 4.8. Una vez finalizado ese tiempo, se repitió la proyección del vídeo de relajación para reconducir a los sujetos a un nivel basal. Posteriormente, se finalizó con la recogida de datos de las señales fisiológicas y se pasó a la fase de evaluación emocional, primero contestando al cuestionario SAM y después realizando la entrevista personal.

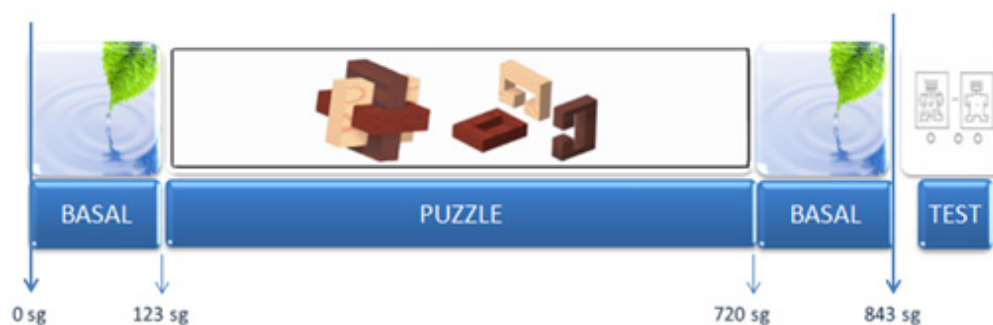


Figura 4.8 Cronograma de tiempos del Experimento I

### 4.3 EXPERIMENTO II

Con la idea de realizar un análisis más robusto de las posibles situaciones de estrés, se diseñó un segundo experimento, en el cual con ayuda de técnicas de relajación y visualización, se hizo revivir a los participantes una situación conflictiva de su pasado.

Las fases a seguir en esta prueba fueron las mismas que en el experimento I. Se tuvieron en cuenta las premisas establecidas anteriormente en lo referente a normas éticas, sistemas de evaluación y colocación de los electrodos.

La muestra en este experimento fue de 13 sujetos, menor que en anterior, debido a que el objetivo era el de robustecer los resultados. De los 13 participantes, 8 eran mujeres y 5 hombres, con edades comprendidas entre 19 y 23 años ( $M=21.53$ ,  $SD=1.5$ ). Todos los participantes eran estudiantes de Ingeniería de la Universidad del País Vasco.

El experimento se realizó en el mismo laboratorio que en el primero, con el mismo número de puestos e igual disponibilidad del equipo de adquisición de datos y el sistema audiovisual.

Previo a la realización del experimento, se explicó a los participantes en qué iba a consistir el experimento y se les pidió que eligiera una situación del problemática o estresante del pasado. Posteriormente se les repartió la documentación que debían rellenar y por último se les colocaron los electrodos para el registro de sus señales.

Una vez terminada la fase preparatoria, se apagaron las luces para dar comienzo a la prueba con la proyección del vídeo basal, tal y como se planteó en el experimento I. Después se le pidió a los sujetos que cerraran los ojos y se dejaran guiar por las palabras del experimentador a la vez que se escuchaba una música tranquila de fondo. En primera parte de la visualización se induce al participante en un nivel de relajación más profundo, y una vez ahí se le lleva a revivir la situación estresante elegida previamente. Por último, a través de técnicas de programación neurolingüística se guía al sujeto para ayudarle a resolver ese conflicto. Una vez terminada la visualización, se proyectó de nuevo el vídeo de relajación para reconducir a los participantes a una situación emocional basal. El experimento completo termina con la evaluación emocional mediante el cuestionario SAM y la entrevista personal. En la Figura 4.9 e puede observar las fases de este segundo experimento.

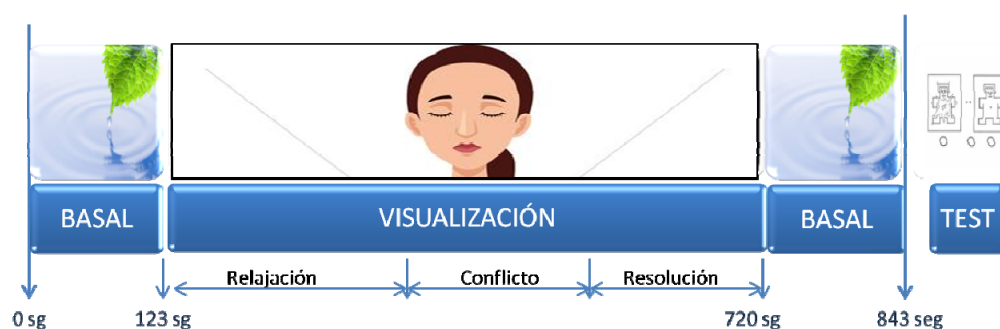


Figura 4.9 Cronograma de tiempos del Experimento II

## 4.4 EXPERIMENTO III

Otro de los objetivos de este trabajo de tesis, es el estudio de las señales fisiológicas ante emociones básicas. En el capítulo 3, se eligió como estímulo de elicitación emocional la visualización de películas o cortes audiovisuales. Por lo tanto surge la necesidad de disponer de una base de datos de películas que provoquen diferentes emociones.

Este tercer experimento se plantea con el objeto de crear y validar un conjunto de cortes audiovisuales, para posteriormente en un cuarto experimentos, utilizarlas a la vez que se registran las bioseñales de los participantes.

Tal y como se comentó en el capítulo anterior, la base de datos de películas elegidas como referencia, es la diseñada por Gross y Levenson (1995). Pero debido a que las películas eran de origen anglosajón, fue necesario sustituir algunas de ellas por otras que tuvieran una relación más directa con la cultura española. Existen trabajos previos donde se han realizado una adaptación española a diferentes estímulos emocionales tales como: a) fotografías - International Affective Picture System, IAPS (Lang y col., 1999) que realizó Molto y col. (1999), b) palabras - Affective Norms for English Words, (ANEW; Bradley y Lang, 1999a), que adaptó Redondo y col. (2007), c) sonidos - the evaluations of emotional sounds from the Internacional Affective Digitized Sounds (IADS; Bradley y Lang, 1999b) que desarrollaron Redondo y col. (2008) y d) películas comerciales (Megías y col., 2011). Aunque existen trabajos que validan películas en la población española, en nuestra investigación se ha considerado de gran importancia incluir cortes audiovisuales basados en hechos reales. Esto es debido a que se ha detectado que ciertas emociones son inducidas en mayor medida visualizando hechos reales.

Para diseñar una base de datos robusta, fue necesario realizar 3 líneas de experimentación. La primera (ExplIII-A) consistió en un experimento piloto donde se validaron, tanto las películas, como el cuestionario emocional propuestos por Gross y Levenson (1995). Por diversas

cuestiones que se abordarán en los siguientes apartados, se abrió una segunda línea de experimentación (ExpIII-B) donde se diseñó y validó una nueva base de datos de material audiovisual, compuesta por las mejores películas de Gross y Levenson junto con cortes nuevos y hechos reales. La última línea de experimentación se diseñó con el objetivo de robustecer la validación de esta nueva base de datos en zonas geográficamente alejadas de España dando lugar al tercer experimento (ExpIII-C).

#### 4.4.1 ExpIII-A

##### Participantes

Un total de doce sujetos (2 hombres y 10 mujeres) con edades comprendidas entre 22 y 51 años ( $M=34.33$ ,  $SD=9.70$ ) realizaron voluntariamente este experimento. Todos los participantes eran de nacionalidad española, más concretamente del País Vasco, de etnia caucásica y niveles socio-económicos diferentes.

##### Instrumentos y materiales de estudio

###### Materiales

El objetivo de este primer experimento fue validar la efectividad del conjunto de películas propuestas por Gross y Levenson (1995) para elicitación en la población española 7 emociones básicas (*diversión, enfado, bienestar, miedo, tristeza, asco y sorpresa*) y el cuestionario de emociones discreta (CED) que ellos mismos diseñaron como instrumento de evaluación. Tras una etapa de búsqueda y análisis, se tuvieron que sustituir algunas de las películas propuestas, por otras con semejantes características debido a diferentes razones. Una de ellas fue la de mejorar la calidad audiovisual del corte asociado a la emoción bienestar, "The beach". Para ello se eligió un vídeo de delfines nadando en el mar editado por National Geographic ("Delfín"). Otra de las razones que nos llevó a realizar un segundo cambio, fue que no se encontraron dos de las películas llevadas a estudio; "My bodyguard" y "Pink Flamingos". Estas fueron cambiadas por "Cobardes" y una autopsia real "Autopsia" que abordan los mismos temas, el bullying y una escena de asco respectivamente. El último cambio realizado fue el del monólogo de habla inglesa interpretado por Robin Williams por varios monólogos en castellano: "Santi", "Pijama" y "Anabel".

Finalmente, las películas elegidas fueron: para diversión, "Cuando Harry encontró a Sally" (Harry), "Santi", "Anabel" y "Pijama"; para enfado, "Grita libertad" (Grita) y "Cobardes"; para miedo, "El resplandor" (Resplandor) y "El silencio de los corderos" (Corderos); para tristeza,



“Campeón”, “Rey león” (León) y “Vuelve a mi” (Vuelve); para sorpresa, “Capricornio uno” (Capricornio); para asco, “Autopsia”; y por último para bienestar, “Delfín”. La duración de las 13 películas oscila entre 32 y 214 segundos ( $x=145$  y  $SD=71.0$ ).

### **Instrumentos**

Se utilizó como instrumento de evaluación el CED (Gross y Levenson, 1995). Dicho cuestionario consta de 16 términos que fueron traducidos al castellano (diversión, enfado, excitación, confusión, desprecio, alegría, asco, vergüenza, miedo, felicidad, interés, dolor, alivio, tristeza, sorpresa y tensión). Los sujetos evaluaron cómo de intensa han sentido cada emoción, mediante una escala tipo Likert donde 0 significa sin intensidad en la emoción y 8 el máximo de intensidad. A los participantes también se les preguntó si habían visto con anterioridad la película y si habían sentido alguna emoción que no estuviera reflejada en el cuestionario.

### **Procedimiento**

La proyección se realizó en una sala de audiovisuales donde los sujetos podían sentarse en butacas cómodas y lo suficientemente separados entre sí como para lograr la máxima intimidad y no condicionarse. Las películas se presentaron desde un ordenador a través de una pantalla de proyección junto con un sistema de sonido. Después de una fase de presentación y descripción del experimento, los participantes debían firmar una hoja de consentimiento y rellenar otra con sus datos socio-demográficos. A continuación, se realizó una prueba para que los sujetos se familiarizaran con los cuestionarios y el procedimiento.

De las catorce películas a evaluar, se editaron 4 proyecciones diferentes compuestas por 11 películas tal y como se observa en la Figura 4. 10. Cada proyección se iniciaba con un mensaje de bienvenida al experimento (15 segundos), seguido de la secuencia compuesta por un vídeo neutro (1 minuto), el corte de película, y tras ésta, un mensaje para indicarles que debían proceder a la evaluación de la misma mediante el CED en formato papel. Las luces se apagaban durante la visualización del vídeo neutro y película y se encendían durante la evaluación. El orden de presentación de los vídeos durante la sesión experimental fue un aspecto relevante a considerar. De esta forma se controla los efectos de influencia entre emociones, cansancio y aprendizaje en los participantes.

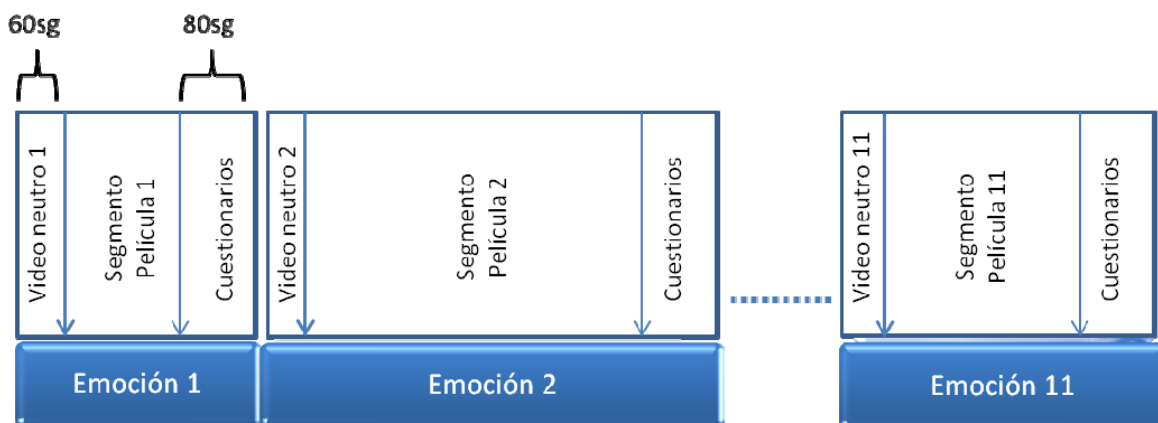


Figura 4. 10 Cronograma de tiempos del Experimento III

## Resultados y Discusión

Las películas han sido evaluadas en función de su intensidad emocional a través del parámetro “Intensidad”, y la cuantificación de dicha intensidad se ha medido, con el valor medio de la emoción, tal y como presentan Coan y Allen (2007) a partir de la propuesta hecha por Gross y Levenson (1995).

Tabla 4.1 Películas con sus parámetros utilizados en ExpIII-A

ExpIII-A					
Emoción	Longitud	Intensidad	Emoción	Longitud	Intensidad
Objetivo	película	(0-8)	Objetivo	película	(0-8)
<i>película</i>	(min:seg)		<i>película</i>	(min:seg)	
<b>Diversión</b>			<b>Asco</b>		
<i>Harry</i>	3:25	6	<i>Autopsia</i>	1:51	7,5
<i>Pijama</i>	3:34	5,25	<b>Miedo</b>		
<i>Santi</i>	2:48	4,75	<i>Resplandor</i>	3:13	3
<i>Anabel</i>	3:24	5	<i>Corderos</i>	2:50	2,7
<b>Enfado</b>			<b>Tristeza</b>		
<i>Cobardes</i>	0:32	5	<i>Campeón</i>	2:51	5,67
<i>Grita</i>	2:36	6,33	<i>León</i>	2:10	3,5
<b>Bienestar</b>			<i>Return</i>	3:25	4
<i>Delfin</i>	1:08	6,25	<b>Sorpresa</b>		
			<i>Capricornio</i>	0:49	4,56

Al analizar la intensidad en la respuesta emocional de los participantes se pudo observar que algunas películas se evaluaron muy intensamente, como “Delfín”= 8, “Autopsia”=7,5 y “Grita”=6,33. Sin embargo, otras no han conseguido provocar con gran intensidad la emoción objetivo, como miedo (“Corderos”=2,7 y “Resplandor”=3), tristeza (“León”=3,5, “Return”=4) y diversión (“Pijama”=5,25, “Santi”=4,75 “Anabel”=5).

Una vez analizados los resultados se observó que no todas las películas elicitaban emociones con la misma intensidad. Esto dio paso a la idea de generar una nueva base de datos de películas con el fin de provocar emociones de manera más intensa entre las personas de nuestro entorno socio-cultural. Dicha nueva base de datos estaría compuesta por las mejores películas del ExpIII-A junto con nuevos cortes y con el fin de ser validada se preparó la siguiente fase experimental.

A partir de los resultados mostrados en la Tabla 4.1, las películas seleccionadas para la siguiente fase de estudio (ExpIII-B) son: diversión - “Harry”, Miedo - “Resplandor”, tristeza - “Campeón”, bienestar - “Delfín”, asco - “Autopsia”, sorpresa - “Capricornio”, enfado - “Grita”.

#### **4.4.2 ExpIII-B**

##### **Participantes**

Un total de 123 sujetos (76 hombres y 47 mujeres) de entre 18 y 54 años ( $M=22.88$ ,  $SD=3.1$ ) participaron en este estudio. Todos ellos estaban vinculados con la Universidad del País Vasco (UPV/EHU), siendo el 75.33% estudiantes de diferentes titulaciones (ingenieros y psicólogos) y el 24.67% trabajadores parte de los cuales (12.25%) eran profesores de la universidad. La raza de 4 de los participantes era africana y el resto caucásica.

##### **Instrumentos y materiales del estudio**

###### **Materiales**

Vista la necesidad de modificar la base de datos utilizada en el ExpIII-A, se pasó a una fase de búsqueda de nuevos cortes audiovisuales. Para ello, se contó con la colaboración de varias personas expertas en cine. El objetivo inicial de dicha búsqueda era estudiar películas más actuales y adaptadas a las características sociales de nuestro entorno. Más tarde se hizo especial hincapié en la utilización de hechos reales, los cuales podrían tener mayor grado de credibilidad y por lo tanto mayor impacto emocional.

Se añadieron 5 nuevos cortes basados en hechos reales. Para elicitación de diversión elegimos un episodio en el cual un cargo político sufre un ataque de risa durante un comunicado “Concejal” y una recopilación de las anécdotas más divertidas de un concurso televisivo “Bote”. Dado que

“Delfín” obtuvo una buena evaluación para la emoción de bienestar, el nuevo corte que se buscó para ampliar la BD fue uno con características similares a éste, denominado “BBC”. Para la emoción tristeza se eligió un episodio real de una catástrofe natural “Omaira” y un episodio real relacionado con un tema de lapidación, denominado “Nasija”.

En cuanto a cortes basados en películas, en la emoción asco se incluyó la película “Pink Flamingos” (Pink) y además se añadió una escena de la película “Hostel”. Para completar la base de datos se utilizaron películas recientes que pudiesen elicitarse, miedo, susto y enfado. Las elegidas fueron, “Ring1”, “Ring2”, “La Monja” (Monja), “El Orfanato” (Orfanato), “El bola” (Bola) y “Te doy mis ojos” (Ojos) estas dos últimas películas tocan temas de maltrato familiar y de género de forma muy realista. Las 20 películas finales elegidas son las que se muestran en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Listado de Películas en el ExpIII-3

ExpIII-B		
Emoción	Longitud	Título
Objetivo	película	
Acrónimo	(min:seg)	
<b>Asco</b>		
<i>Autopsia</i>	1:51	Autopsia Real
<i>Hostel</i>	2:10	"Hostel"
<i>Pink</i>	1:10	"Pink Flamingos"
<b>Diversión</b>		
<i>Bote</i>	1:24	Date el bote - tomas falsas
<i>Concejal</i>	2:08	Ataque risa concejal
<i>Harry</i>	3:25	"Cuando Harry encontró a Sally"
<b>Bienestar</b>		
<i>BBC</i>	2:04	imágenes de naturaleza (BBC)
<i>Delfín</i>	1:08	imágenes de delfines (National Geographic)
<b>Miedo</b>		
<i>Resplandor</i>	3:13	"El Resplandor"
<i>Ring1</i>	4:59	"Ring1"
<i>Ring2</i>	2:20	"Ring2"
<b>Tristeza</b>		
<i>Campeón</i>	2:51	"El Campeón"
<i>Nasija</i>	2:15	Lapidación

<i>Omaira</i>	3:20	Desastre natural
<b>Enfado</b>		
<i>Bola</i>	2:00	"El Bola"
<i>Grita</i>	2:36	"Grita libertad"
<i>Ojos</i>	1:05	"Te doy mis ojos"
<b>Sorpresa</b>		
<i>Capricornio</i>	0:49	"Capricornio uno"
<i>Monja</i>	2:23	"La monja"
<i>Orfanato</i>	0:49	"El orfanato"

---

### Instrumentos

En este segundo experimento, para tener un mayor rango de evaluación emocional, además de analizar las emociones de forma discreta se analizaron también dimensionalmente.

1. **Discreto:** Tras el análisis de los resultados del CED en el ExplIII-A, se vio la necesidad de modificar algunos de sus ítems evaluativos. Se observó que debido a las diferentes acepciones entre el inglés y el español, había emociones que tenían significados muy similares y éstas fueron descartadas. Además, en el primer experimento los sujetos reflejaban emociones que no estaban descritas en el cuestionario. Tras observar que algunas de ellas eran propuestas por todos los sujetos, se consideró significativo añadirlas como nuevos términos evaluativos. Teniendo en cuenta las aportaciones propuestas anteriormente, se diseñó un nuevo CED compuesto por los siguientes ítems: *diversión, enfado, ansiedad, bienestar, vergüenza, miedo, asco, felicidad, alegría, orgullo, tristeza, sorpresa, pena, rabia, impotencia y tranquilidad*.
2. **Dimensional:** La evaluación de las emociones según la clasificación emocional, se realizó mediante el cuestionario SAM utilizado en experimento I y II.

### Procedimiento

Cada sesión de evaluación albergaba un mínimo de 8 personas y un máximo de 16. El procedimiento seguido en este experimento fue el mismo que se utilizó en el ExplIII-A: la misma sala y las mismas instrucciones para los sujetos. Para controlar el efecto del orden y como técnica de contrabalanceo, las 20 películas seleccionadas se editaron en 4 grupos de proyecciones, compuestos de 11 cortes cada una.

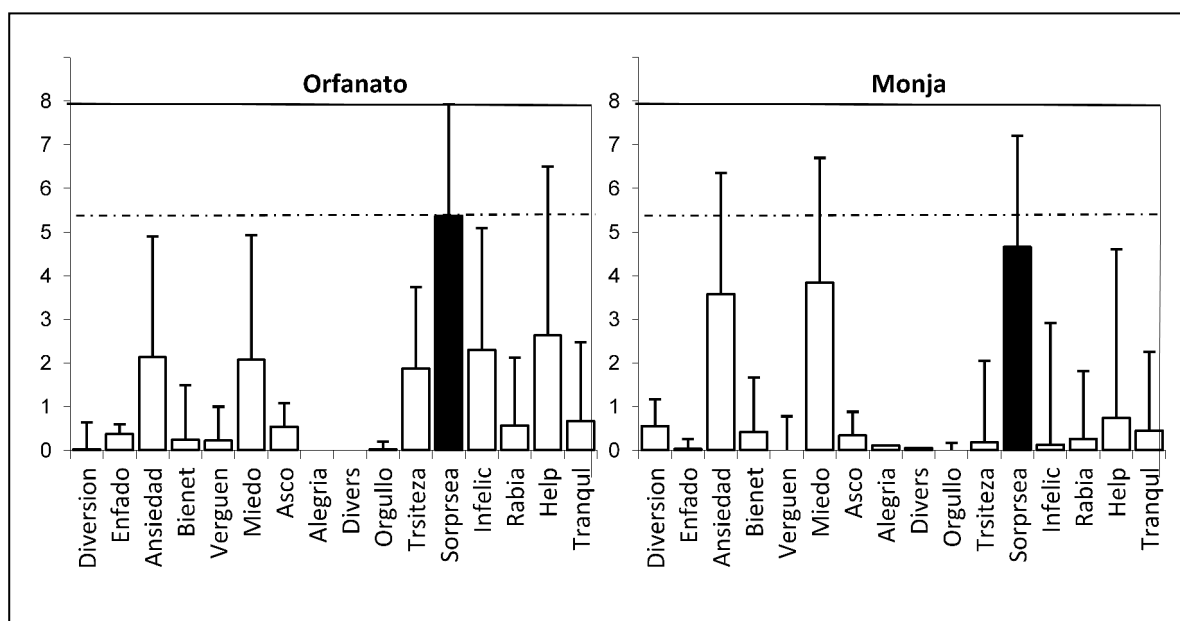
## Resultados y Discusión

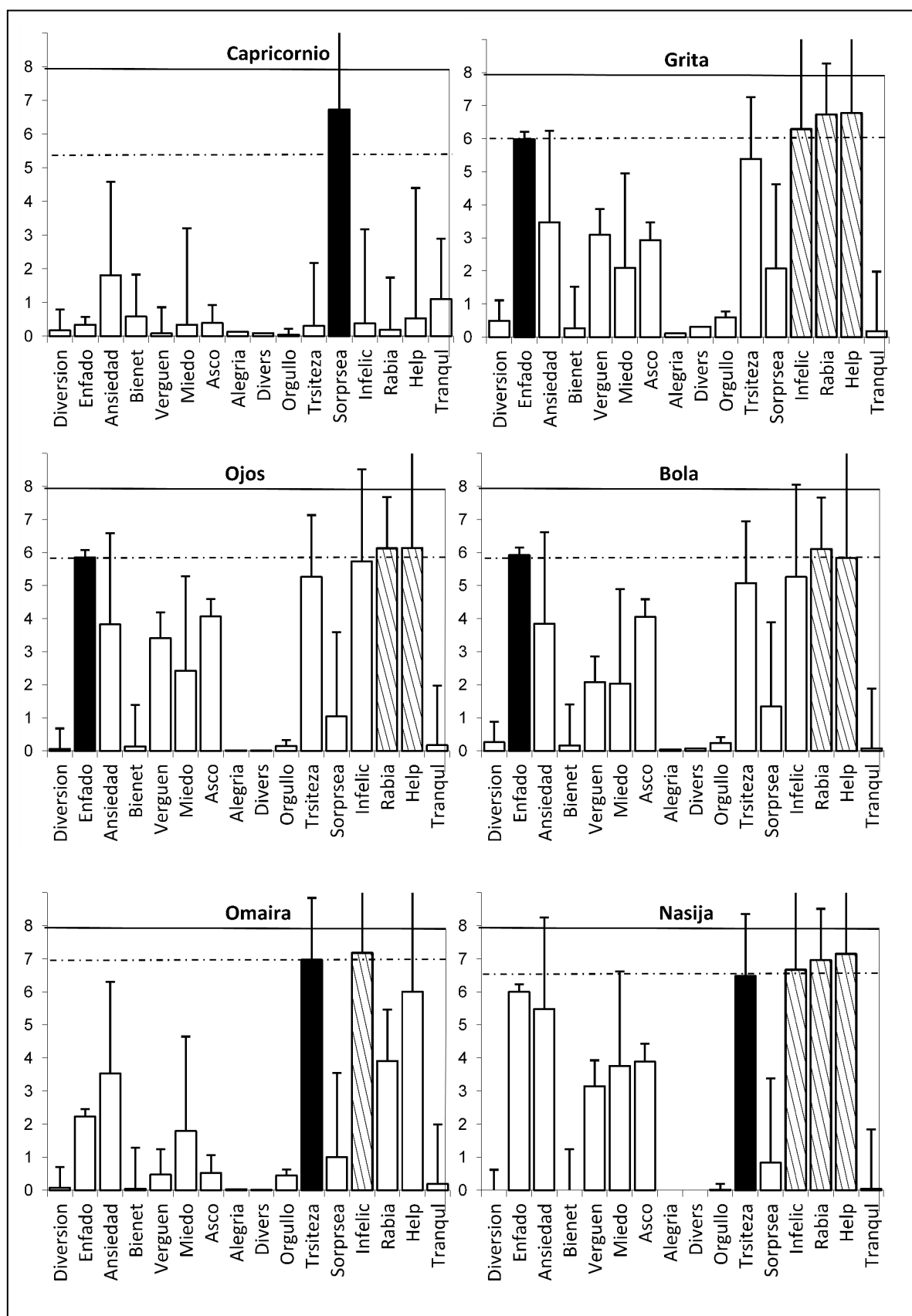
Los resultados se derivan del análisis de los dos cuestionarios evaluativos presentados anteriormente: cuestionario discreto CED y cuestionario dimensional SAM. El análisis de los datos se llevó a cabo mediante el uso del programa SPSS (Statistical Package for Social Sciences), versión 15.0 para Windows.

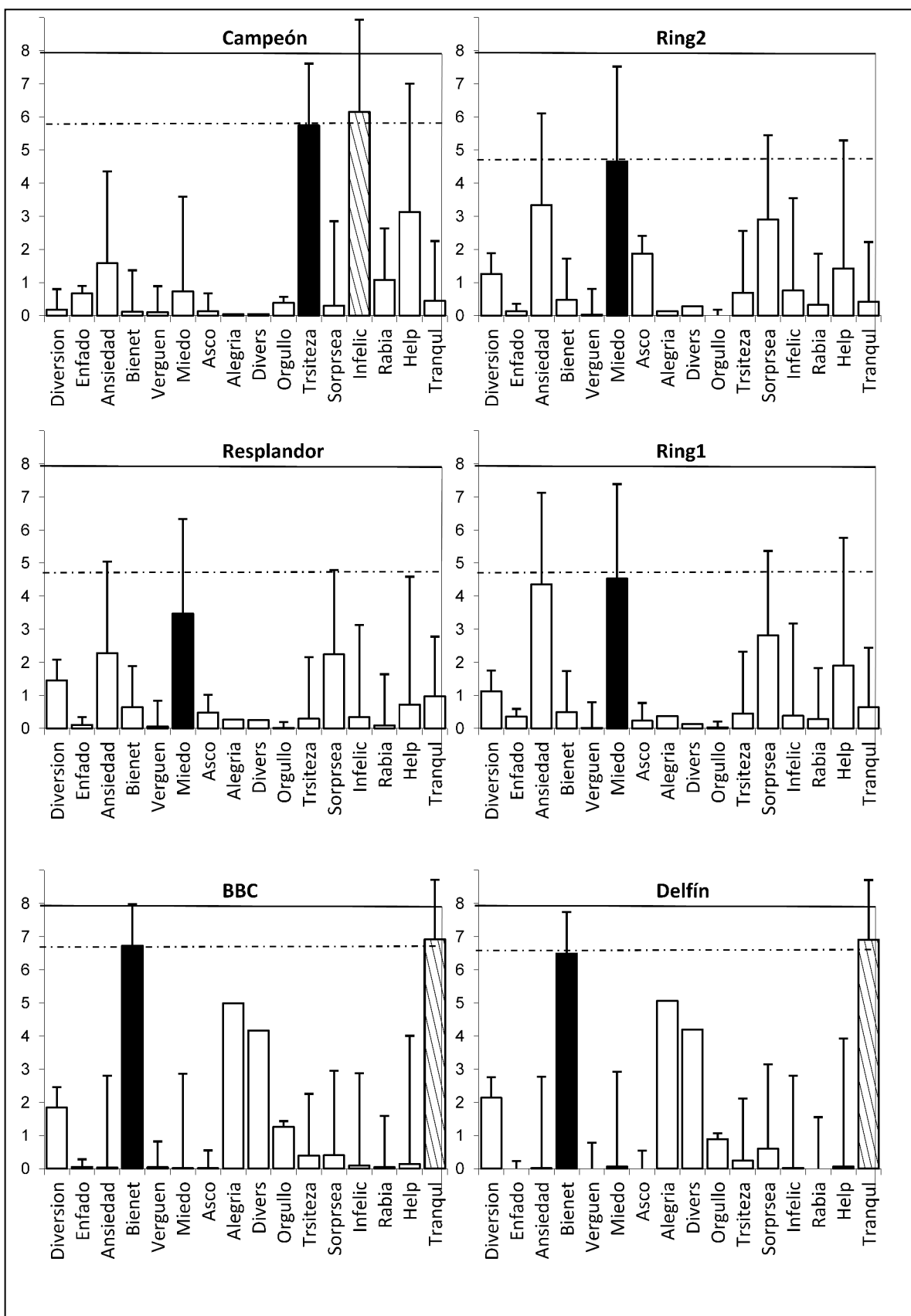
### Evaluación del CED

De las respuestas emocionales obtenidas con el CED se analizaron varios aspectos. El primero de ellos fue analizar la intensidad emocional con el objetivo de discriminar las mejores películas de cada emoción. Para ello se realizó un análisis de varianza ANOVA de medidas repetitivas de películas (20) x Emoción objetivo (7). El segundo fue la evaluación de la efectividad con la que cada corte era capaz de elicitar emociones de forma discreta. Se llevó a cabo un t-test en el que se compararon en cada película, su emoción objetivo con cada una de los otros 17 términos emocionales, siguiendo las pautas de Sato y col., (2007). Tras un estudio de estos dos primeros aspectos, se realizó la Figura 4.11 donde por cada película se puede observar tanto la intensidad de la emoción objetivo (dibujada en negro) como cuando de discreta es. Otro aspecto que muestra dicha gráfica, son las emociones no objetivo que han sido evaluadas de forma más intensa que la propia emoción objetivo (en rectángulo rayado).

Posteriormente, se amplió el estudio analizando la influencia de factores como: a) género b) previsualización de la película, y c) hecho real vs película, cuyos resultados se explicarán más adelante.









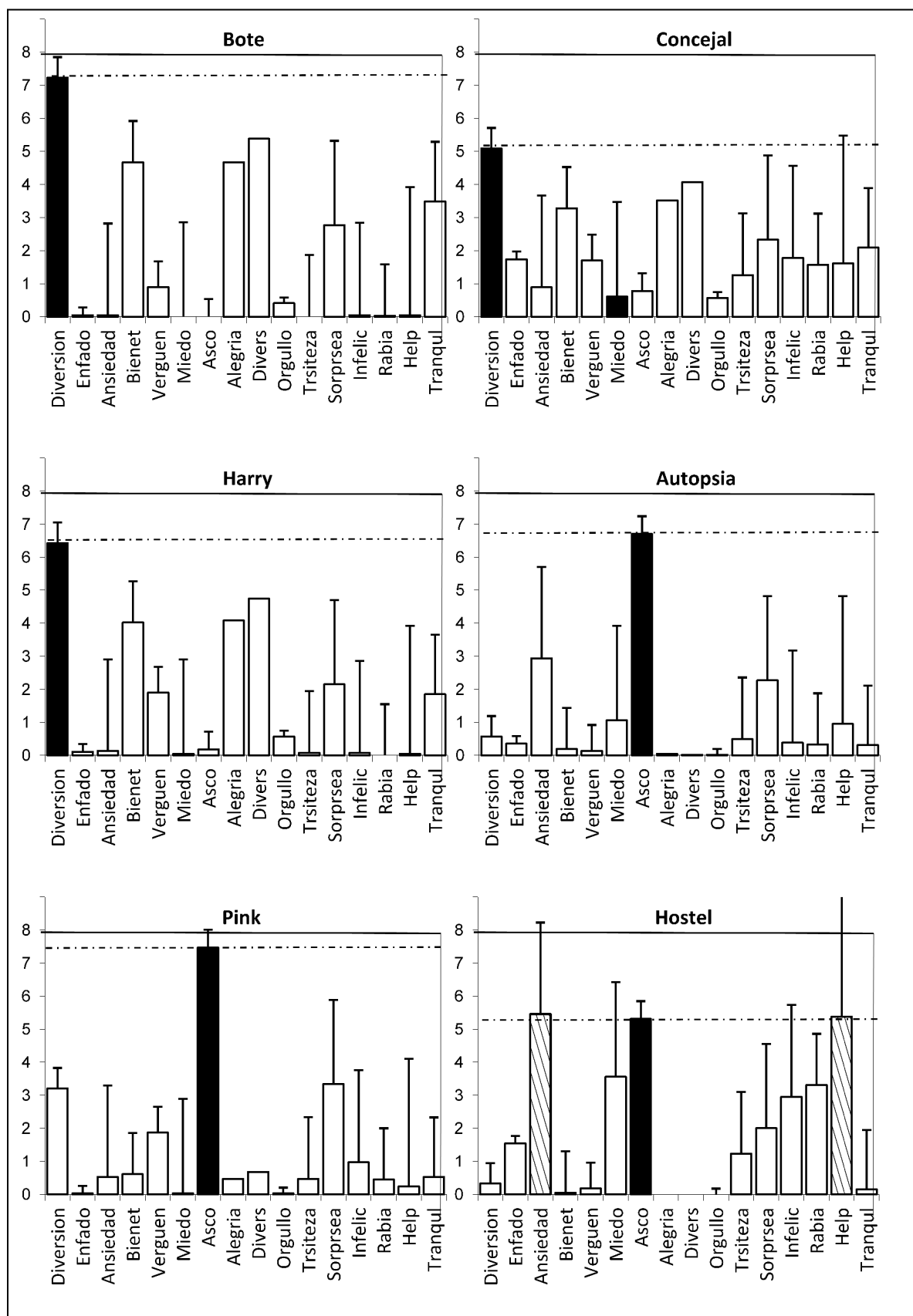


Figura 4.11. Intensidad emocional de la emoción objetivo y comparativa discreta de emociones obtenida a partir del CED

### **Análisis Emocional: Intensidad**

Los primeros resultados que se muestran a continuación, tienen como objetivo evaluar la intensidad de cada corte audiovisual en elicitación de su emoción objetivo tal y como se estudió en el ExpIII-A.

#### **Estímulo Asco.**

Las películas catalogadas como asco presentaban diferencias estadísticamente significativas entre sí ( $F(2,160)=9.63 < 0.01$ ). El análisis post-hoc revela dos categorías, las películas que provocan asco con mayor intensidad como "Pink" ( $M= 7.41, SD=1.13$ ) y "Autopsia" ( $M= 6.7, SD=2.17$ ) y la que lo provoca con un menor grado, en la que se encuentra "Hostel" ( $M= 5.31, SD=2.97$ ).

#### **Estímulo Diversión.**

Los resultados para la emoción diversión mostraron diferencias estadísticamente significativas entre películas ( $F(2,168)=1.65 < 0.01$ ). El corte "Concejal" evoca diversión con menos intensidad ( $M= 5.09, SD=2.03$ ) que "Harry" ( $M= 6.43, SD=2.22$ ) y "Bote" ( $M= 7.23, SD=1.27$ ).

#### **Estímulo Bienestar.**

La lectura de los resultados generados para el análisis de la emoción bienestar, no refleja diferencias estadísticamente significativas entre películas ( $F(1,161)=0.72 > 0.05$ ), "BBC" ( $M=6.63, SD=1.69$ ) y "Delfín" ( $M=6.49, SD=1.80$ ).

#### **Estímulo Sorpresa.**

El estudio de los resultados mostrados para la emoción sorpresa apuntan a una diferencia significativa entre películas ( $F(2,160)=9.68 < 0.01$ ). Siendo "Monja" ( $M=4.66, SD=3.04$ ) la película que menor sorpresa provoca con respecto a "Capricornio" ( $M=6.70, SD=1.82$ ) y "Orfanato" ( $M=5.37, SD=3.04$ ).

#### **Estímulo Miedo.**

Los resultados para la emoción miedo, no mostraron diferencia estadísticamente significativas entre películas ( $F(3,202)=3.43 > 0.05$ ). Además, ninguno de los cortes audiovisuales alcanzó valores medios significativos para su emoción objetivo, "Ring1" ( $M=4.53, SD=2.84$ ), "Ring2" ( $M=4.66, SD=2.26$ ) y "Resplandor" ( $M=3.47, SD=2.55$ ).

#### **Estímulo Tristeza.**

Respecto a la emoción tristeza los resultados muestran diferencias estadísticamente significativas entre Campeón y las otras dos películas propuestas para elicitación de dicha

emoción ( $F(2,242)=35.77 < 0.01$ ), debido a que “Campeón” ( $M=5.57$ ,  $SD=2.81$ ) elicitaba tristeza en un menor grado que “Nasija” ( $M=6.48$ ,  $SD=2.28$ ) y menos todavía que “Omaira” ( $M=6.97$ ,  $SD=1.90$ ).

#### **Estímulo Enfado.**

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las películas elegidas para elicitación de enfado ( $F(2,168)=0.989 > 0.01$ ). “Ojos” ( $M=5.85$ ,  $SD=2$ ), “Bola” ( $M=5.92$ ,  $SD=2.32$ ) y “Grita” ( $M=5.98$ ,  $SD=2.57$ ).

#### **Análisis Emocional: Discreto**

El siguiente aspecto que se estudió fue la capacidad de cada vídeo en elicitación de emociones de forma discreta.

#### **Estímulo Asco.**

Para las películas “Autopsia” y “Pink”, la emoción asco es una emoción discreta, debido a que presenta diferencias significativas con el resto de emociones ( $p < 0.001$ ). El corte “Hostel” no presenta diferencias significativas con respecto a impotencia ( $t(76)=-0.118$ ,  $p > 0.05$ ) y ansiedad ( $t(72)=-0.419$ ,  $p > 0.05$ ).

#### **Estímulo Diversión.**

Tras la lectura de los resultados generados para el análisis de la emoción diversión, todas las películas muestran diferencias significativas respecto del resto de emociones excepto el corte “Concejal” para alegría ( $t(90)=1.7159$ ,  $p > 0.05$ ).

#### **Estímulo Bienestar.**

Las películas catalogadas como bienestar, presentan diferencias significativas con respecto a todas las emociones del CED menos con tranquilidad, tal y como muestra el post-hoc (“BBC”:  $t(152)=-0.661$ ,  $p > 0.05$  y “Delfín”  $t(168)=1.464$ ,  $p > 0.05$ ).

#### **Estímulo Sorpresa.**

Los resultados para la emoción sorpresa muestran, en las películas “Orfanato” y “Capricornio”, diferencias significativas con el resto de emociones. Sin embargo, debido al carácter de miedo que induce “Monja”, en este corte no se aprecian diferencias significativas con respecto a miedo ( $t(74)=1.275$ ,  $p > 0.05$ ) y ansiedad ( $t(71)=7.729$ ,  $p > 0.05$ ).

#### **Estímulo Miedo.**

En las películas catalogadas como miedo únicamente no se aprecian diferencias significativas entre dicha emoción y ansiedad. “Ring1” ( $t(76)=0.328$   $p>0.05$ ), “Ring2” ( $t(74)=0.301$   $p>0.05$ ) y “Resplandor” ( $t(168)=1.635$   $p>0.05$ ).

#### **Estímulo Tristeza.**

Las películas “Omaira” y “Campeón”, la emoción tristeza se diferencia significativamente al resto de emociones excepto para pena ( $t(152)=-0.784$   $p>0.05$  y  $t(166)=-1.269$   $p>0.05$ ). “Nasija” además, no encuentra diferencias significativas con enfado ( $t(165)=-1.686$   $p>0.05$ ), rabia ( $t(165)=-3.652$   $p<0.05$ ), e impotencia ( $t(165)=-2.835$   $p<0.05$ ). Esto es debido al tema de injusticia social que trata dicho corte.

#### **Estímulo Enfado.**

Para las películas categorizadas como enfado, no se han encontrado diferencias significativas con respecto a tristeza, pena, rabia e impotencia. Los valores por película para cada emoción son: “Grita” ( $t(90)=-0.661$   $p>0.05$ ,  $t(90)=-1.411$   $p>0.05$ ,  $t(90)=-2.233$   $p<0.05$  y  $t(168)=-2.284$   $p<0.05$ ); “Bola” ( $t(74)=1.457$   $p>0.05$ ,  $t(74)=1.121$   $p>0.05$ ,  $t(74)=-0.318$   $p>0.05$  y  $t(74)=0.150$   $p>0.05$ ) y “Grita” ( $t(168)=1.371$   $p>0.05$ ,  $t(168)=-0.835$   $p>0.05$ ,  $t(168)=-1.737$   $p>0.05$  y  $t(74)=0.150$   $p>0.05$ ).

#### **Análisis de género, vista y hechos reales.**

Efectos de haber visto previamente la secuencia, género y Hechos reales vs Películas.

Para realizar un análisis más exhaustivo de las películas, se ha llevado a cabo un estudio teniendo en cuenta la variable género, si las películas habían sido vistas antes o no y una comparativa entre películas comerciales y hechos reales.

En el análisis de las películas vistas a priori o no, solo se han encontrado diferencias significativas para la emoción sorpresa ( $F(1,160)=13.194$   $< 0.01$ ). Se ha podido observar que las personas que no habían visto la película ( $M=6.13$ ,  $SD=2.50$ ) valoraron dicha emoción con una media superior a las personas que sí la habían visto ( $M=3.90$ ,  $SD=3.02$ ). Tras observar dichos resultados, se realizó un nuevo análisis de intensidad emocional a las películas catalogadas como sorpresa, teniendo en cuenta únicamente a aquellos sujetos que no las habían visto a priori. Los resultados revelaron que con dicho análisis la película más intensamente evaluada era “Orfanato” ( $M=6.90$ ,  $SD=1.44$ ), diferente que si se tomaba la muestra completa de sujetos.

Tras un análisis emocional teniendo en cuenta el género, se ha podido observar que no existen diferencias significativas entre hombres y mujeres para ninguna emoción. Siendo los valores

correspondientes para cada emoción los siguientes, asco  $F(1,160)=0.34 > 0.05$ , tristeza  $F(1,206)=3.22 > 0.05$ , miedo  $F(1,161)=3.31 > 0.05$ , sorpresa  $F(1,160)=1.00 > 0.05$ , bienestar  $F(1,161)=0.90 > 0.05$ , enfado  $F(1,206)=0.04 > 0.05$  y diversión  $F(1,168)=1.39 > 0.05$ .

El último análisis del CED está enfocado a realizar una comparativa entre películas comerciales y hechos reales. No en todas las emociones hay cortes híbridos, es decir, compuestos por películas comerciales y hechos reales, solo en asco, diversión y tristeza. Con el fin de encontrar diferencias significativas entre ambos estímulos, se realizó un t-test. Se han encontrado diferencias significativas entre hechos reales y películas para todas las emociones: asco ( $t(159)=3.98$   $p<0.05$ ), tristeza ( $t(243)=6.252$ ,  $p<0.05$ ) y diversión ( $t(121)=-2.273$ ,  $p<0.05$ ).

### **Evaluación Dimensional**

A través del cuestionario SAM se evaluó la capacidad en la que cada corte elicitaba emociones en las dos dimensiones principales; valencia y activación. Para ello se realizó un análisis univariado de varianza ANOVA con el fin de encontrar diferencias entre las variables emocionales.

#### **Valencia**

Tras un análisis de la subescala de valencia, los resultados mostraron diferencias significativas entre películas  $F(21,1352)=151.45 < 0.01$ . En el análisis post-hoc clasificó los cortes audiovisuales en tres grupos de valencia afectiva: valencia positiva, negativa e intermedia. El grupo de valencia positiva se corresponde con las películas que elicitaban diversión y bienestar. Éstas obtuvieron una media de valencia que varía en torno a 1.54 y 2.84 ("Bote"=1.54, "Harry"= 1.69, "Delfín"= 2.48, "Concejal"=2.83 y "BBC"= 2.84). Por el contrario, el grupo de valencia negativa, englobado por aquellas que provocan tristeza y enfado, cuenta con una media de entre 7.20 y 8.50 ("Campeón"= 7.20, "Bola"= 7.55, "Grita"=7.80 "Ojos"=7.89, "Omaira"=8.47 y "Nasija"=8.50). El resto de películas quedarían dentro de un grupo intermedio compuesto por las emociones de asco, sorpresa y miedo, junto con un corte de tristeza ("Pink"=4.53, "Capricornio"=4.79, "Resplandor"=5.00, "Monja"=5.05, "Ring1"=5.21 y "Ring2"=5.33, "Orfanato"=6.26, "Autopsia"=6.75 y "Hostel"= 6.77)

#### **Activación**

Analizando los datos obtenidos de la subescala de activación, se pudieron observar diferencias estadísticamente significativas entre películas,  $F(21,1352)=42.10 < 0.01$ . En este caso también se encontraron tres grupos de películas con diferente activación emocional: activación elevada, intermedia o baja. Tras la lectura del post-hoc, las películas que provocan diversión y bienestar mostraron poca capacidad para inducir activación, siendo sus valores medios entre 0.93 y 1.79

("Delfín"= 0.93, "BBC"= 1.09, "Harry"= 1.51 y "Bote"=1.79, "Concejal"=2.26). Por el contrario, diferentes cortes, sin estar relacionados con emociones objetivos en concreto, mostraron gran capacidad para inducir elevados niveles de activación, cuyos valores medios están entre 6.14 y 5.16 ("Hostel"=6.14, "Nasija"=6.11, "Autopsia"=6.00, "Grita"=5.71, "Omaira"=5.23, "Orfanato"=5.2, "Ring1"=5.18, "Bola"=5.16). En un grupo de activación intermedio se encuentran las películas, "Monja"=4.72, "Ring2"=4.71, "Capricornio"=4.21, "Pink"=3.61, "Ojos"=3.33, "Resplandor"=3.33, "Campeón"=3.25).

La representación gráfica de la distribución de los estímulos en el espacio bidimensional definido por valencia y activación, es una herramienta utilizada por otros investigadores (Lang, y col., 1999; Redondo y col., 2007). Adaptando dicha herramienta en nuestro trabajo, se ha obtenido la gráfica 2. Cada punto corresponde con los valores de las medias, tanto de valencia como de activación, por película evaluada asociada a una emoción objetivo. En dicho gráfico, el eje vertical representa la valencia afectiva mientras que el horizontal refleja de activación.

En la Figura 4.12 se muestra la distribución de cada película en un espacio dimensional afectivo, representado por las medias de valencia y activación obtenida a partir de la evaluación de la emoción objetivo.

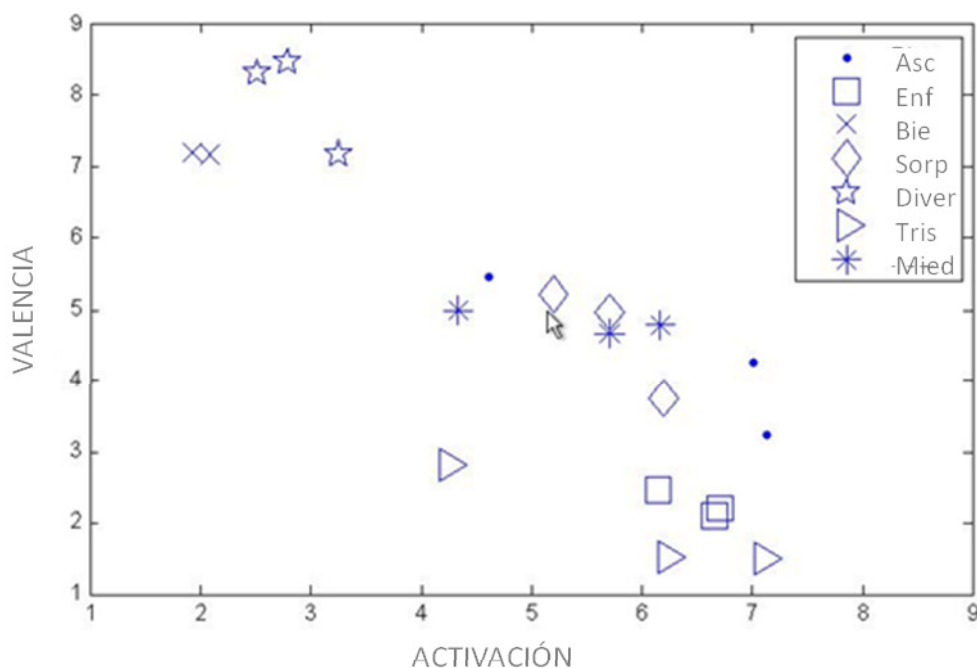


Figura 4.12 Distribución de cada película en el espacio dimensional

## Resultados y Discusión

Según los resultados obtenidos se confirma la idoneidad de las películas como estímulo elicitor de emociones en laboratorio. En análisis de los datos obtenidos a través del CED, revela que todas las películas, excepto las catalogadas como miedo, elicitan de manera significativa su emoción objetivo. Este hecho ya lo apuntan anteriores investigaciones (Gross y Levenson, 1995; Hewing y col., 2005; Sato y col., 2007). Por el contrario los análisis referentes a género y si la película era vista o no, difieren de los resultados obtenidos por Gross y Levenson. En nuestro caso no hemos encontrado diferencias en la elicitación de emociones entre mujeres y hombres. Con respecto al análisis de las películas vistas a priori, se ha encontrado que para elicitación de sorpresa es de mayor intensidad, cuando el corte no he ha visto anteriormente.

Los resultados obtenidos a partir del cuestionario dimensional, tal y como ya apuntaban los trabajos de Sato y col. (2007) y Megías y col. (2011), confirman la potencialidad de las películas para elicitar emociones con valencia positiva y negativa. En nuestro caso, además hemos podido identificar cortes de valencia emocional intermedia. Analizando de igual modo la variable activación, ésta también divide las escenas en tres grupos de activación, baja, media y alta.

La Figura 4.12, la cual representa la distribución emocional en un espacio dimensional, no adopta por falta de un vértice la forma de boomerang mostrada en otros trabajos (Lang, y col., 1999; Redondo y col., 2007). Esto es debido a que dicho vértice se corresponde con estímulos asociados a valencia y activación positiva, que son originados por emociones relacionadas con sexo y aventura (Coan y Allen, 2007), no evaluadas en nuestra base de datos.

### 4.4.3 EXP III-C

#### Participantes

En este último experimento participaron 14 sujetos (12 mujeres y 2 hombres) cuyas edades estaban comprendidas entre 19 y 41 años ( $M=25$ ,  $SD=3.2$ ). Los participantes eran personas relacionadas con la universidad de Valencia, de etnia caucásica y cuya lengua materna era el castellano.

## Instrumentos y materiales del estudio

### Materiales

En este experimento no se evaluaron las 20 películas llevadas a estudio. Se trabajó con una sesión formada por de 10 de ellas: Harry, Bola, Ojos, BBC, Pink, Autopsia, Ring2, Campeón, Omaira y Capricornio.

### Instrumentos

Para medir la respuesta emocional de los participantes ante la visualización de los cortes de película en este último experimento, se utilizaron los cuestionarios diseñados y empleados en el ExpIII-B, el CED adaptado y el SAM.

### Procedimiento

El procedimiento seguido en este experimento fue el mismo que el ExpIII-B. La diferencia estriba en que en este experimento se realizó una única proyección, por lo que sólo la mitad películas que componen la base de datos.

## Resultados y Discusión

El objetivo de este experimento era el de validar, en zonas de España geográficamente alejadas, algunas de las películas evaluadas en el ExpIII-B. Para ello se ha realizado una comparativa entre ambos experimentos, a través de un t-test para muestras independientes, utilizando el índice de intensidad emocional proporcionado por la media de la emoción objetivo (Tabla 4.3 Comparativa de medias entre el ExpIII-B y ExpIII-C).

Los resultados muestran que no hay diferencias significativas del parámetro Intensidad entre los ExpIII-B y ExpIII-C. “Omaira” ( $t(89)=-1.693$   $p>0.05$ ), “Harry”( $t(96)=1.693$   $p>0.05$ ), “Bola” ( $t(50)=1.591$   $p>0.05$ ), “BBC” ( $t(90)=1.506$   $p>0.05$ ), “Pink” ( $t(50)=0.527$   $p>0.05$ ), “Autopsia” ( $t(96)=1.935$   $p>0.05$ ), “Ring2” ( $t(50)=0.691$   $p>0.05$ ), “Campeón”( $t(96)=-0.281$   $p>0.05$ ) y “Capricornio” ( $t(89)=0.282$   $p>0.05$ ).

Se puede decir que la base de datos audiovisuales híbrida elicitó de igual manera las emociones objetivo en puntos geográficos alejados en España, independientemente de las posibles diferencias socio-culturales que pudieran existir.



Tabla 4.3 Comparativa de medias entre el ExpIII-B y ExpIII-C

Emoción	ExpIII-B		ExpIII-C		sign.
	Intensidad <i>Acrónimo</i> (0-8)	Nº	Intensidad (0-8)	Nº	
<b>Diversión</b>					
<i>Harry</i>	6,43	84	5,43	14	0.094
<b>Enfado</b>					
<i>Bola</i>	5,92	38	4,64	14	0.118
<i>Ojos</i>	5,85	84	5,5	14	0.58
<b>Bienestar</b>					
<i>BBC</i>	6,73	77	6,36	14	0.136
<b>Asco</b>					
<i>Pink</i>	7,47	38	7,64	14	0.60
<i>Autopsia</i>	6,7	84	5,43	14	0.056
<b>Miedo</b>					
<i>Ring 2</i>	4,53	38	4,14	14	0.49
<b>Tristeza</b>					
<i>Campeón</i>	5,74	84	5,93	14	0.78
<i>Omaira</i>	6,97	77	7,79	14	0.094
<b>Sorpresa</b>					
<i>Capricornio</i>	6,7	77	6,57	14	0.78

## 4.5 EXPERIMENTO IV

Una vez validada la base de datos de películas elicitoras de emociones, se dio paso al último experimento en el cual los participantes visualizaron las mismas proyecciones diseñadas anteriormente, a la vez que se recogen su ritmo cardíaco y su nivel de sudoración.

En esta prueba participaron 32 personas, (7 hombres y 25 mujeres) de edades comprendidas entre 21 y 35 años (M=26, SD=3.1).

El experimento IV se realizó en la misma sala de audiovisuales que el experimento III, en la que se prepararon la hoja de consentimiento, los datos socio-económicos, dos puestos con los materiales necesarios para la recogida de señales fisiológicas y un cuestionario CED y SAM por cada película proyectada.

La metodología seguida en esta prueba sigue las pautas marcadas por el experimento III. La única diferencia estriba en el número de películas por proyección, que baja de 11 a 5 para no cansar al participante que realiza el experimento cableado con los electrodos colados (Figura 4.13).

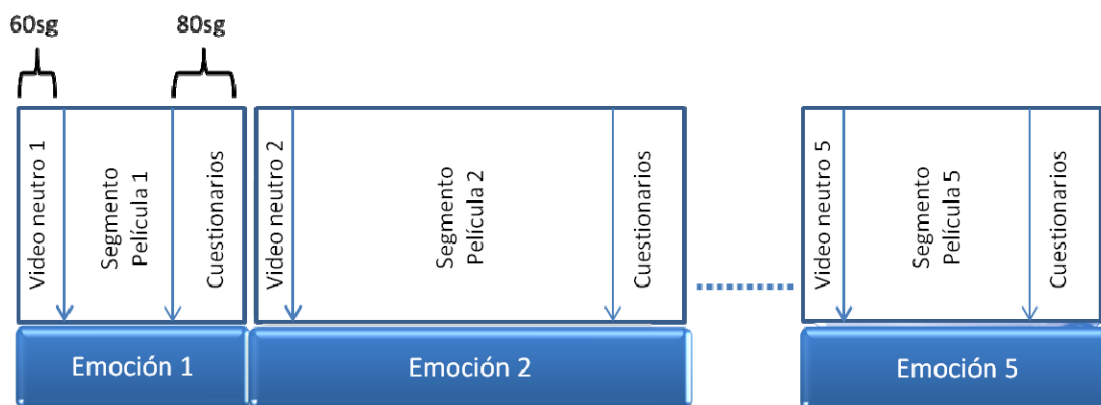


Figura 4.13 Cronograma de tiempo del Experimento III



## 5 ANÁLISIS Y PROPUESTA DEL ALGORITMO

---

*“La mente es como un paracaídas, solo funciona cuando se abre”*

Albert Einstein



En este capítulo se realizan varios análisis en las señales fisiológicas, con el objetivo de encontrar patrones psicofisiológicos claramente identificables y poder diseñar un algoritmo capaz de detectar cambios emocionales. Únicamente se han llevado a estudio las señales recogidas durante el experimento I, los demás registros se han dejado para corroborar la efectividad del algoritmo.

El capítulo comienza con un análisis cualitativo de los datos, con el objeto de buscar cambios fisiológicos asociados a la activación e inhibición del sistema nervioso simpático. Los estados de activación se corresponden con la vivencia de situaciones de estrés negativo, cambio de actividad mental, sustos, rabia, frustración, etc. Mientras que los estados de inhibición simpática, pueden ser debidos a estados de relajación sin pensamientos, emociones de bienestar o tristeza sin lloro.

Posteriormente se realizarán un análisis cuantitativo de los cambios de las señales, para poder definir un sistema de detección y clasificación emocional basado en máquina de estados finitos

## **5.1 ANÁLISIS CUALITATIVO**

### **5.1.1 ACTIVACIÓN DEL SNA**

Tal y como se ha establecido en el capítulo 2, la activación del organismo sucede como reacción a un evento estresante y queda reflejada en las señales fisiológicas con un aumento del nivel de sudoración y una disminución de la HRV. Por lo tanto, se hace necesario llevar a cabo una primera fase de estudio donde se realice un análisis pormenorizado de los datos, en base a la evolución de las señales en el tiempo.

Tras una larga y continua exposición al estrés, la suma de todas las reacciones del cuerpo evoluciona según Síndrome General de Adaptación (Selye 1946). El SGA está caracterizado en su desarrollo por tres fases consecutivas denominadas: reacción de alarma, estadio de resistencia y agotamiento, fases que se pueden extrapolar a la activación simpático colinérgica de la señal GSR.

La lectura temporal de la GSR y HRV, junto con las marcas y comentarios anotados durante la fase de experimentación, unido a las respuestas dadas por los participantes tras la entrevista, muestran distintos niveles de estrés inter e intra-sujetos, debido a la percepción individualizada que muestra cada persona ante un determinado estresor (Schachter y Singer, 1965; Erazo y Nisenbaum, 2005 ). En la Figura 5.1 se observa la evolución de las señales HRV y GSR de dos sujetos diferentes, A y B, junto con las marcas numeradas de los eventos estresantes vividos por

ellos. El sujeto A se corresponde con la Figura 5.1 (a) y el sujeto B con la Figura 5.1 (b). En el eje temporal hay tres momentos importantes que han quedado señalizados, estos son: el inicio del experimento (0 sg), la finalización del primer vídeo basal coincidente con el inicio de la resolución del puzle (123 sg) y el fin del tiempo preestablecido para la realización del mismo (720 sg).

En un primer análisis de las respuestas fisiológicas y siguiendo las ideas explicadas en los capítulos 2 y 3, se pueden identificar dos características de relevancia. La primera es que el efecto del estresor en la respuesta fisiológica depende de la evaluación que se haga de la situación y por consiguiente su interpretación cognitiva. Este hecho se puede observar en las gráficas de la Figura 5.1. En el instante en el cual termina el video basal y empieza la fase de resolución del puzle (M1), los participantes sienten que se enfrentan a un desafío o “amenaza” importante a resolver, y sus cuerpos responden con un nivel elevado de activación para afrontarlo. Diferente es la respuesta originada cuando se les cae una pieza del puzle (M2 en el sujeto A y M3 en el B) donde la activación es menor. Se puede observar como en la marca M1 las señales cambian de forma más significativa que en las otras marcas.

El segundo aspecto relevante a considerar es la percepción que cada sujeto tiene de la durabilidad de la amenaza, puede ser una alerta momentánea o una tensión continuada. Cuando la percepción de peligro termina, el SNAS va disminuyendo la cantidad de secreción de acetilcolina, noradrenalina y adrenalina, recuperando las señales fisiológicas el ritmo anterior al estrés, hecho que se puede observar en todos los sujetos llevados a estudio. En base a la entrevista personal tras el experimento, se puede afirmar que ambos participantes tuvieron una respuesta diferente a la hora de empezar a afrontar la resolución de puzle (M1). En el sujeto A se produce un estrés continuo, y por lo tanto en ese momento la HRV baja y se mantiene alrededor de ese valor durante unos segundos, y la GSR aumenta sin descender después rápidamente. Por el contrario el sujeto B lo vive como una alerta momentánea y por lo tanto sus señales cambian para afrontar ese evento, pero sin mantener el cambio.

Tras un análisis exhaustivo de todos los sujetos, se identificaron tres grados de activación: baja, media y alta, que se establecen en función de la variación de la magnitud de las señales. Además de dos formas de presentarse en el tiempo: de forma momentánea generando una situación de alerta, o de forma continuada generando una situación de estrés. Este hecho nos permitió enfocar el presente trabajo en el desarrollo de un sistema que clasifique la activación en 6 estados: “Alerta Baja (A.B.)”, “Alerta Media (A.M.)”, “Alerta Alta (A.A.)”, “Estrés Bajo (E.B.)”, “Estrés Medio (E.M.)” y “Estrés Alto (E.A.)”.

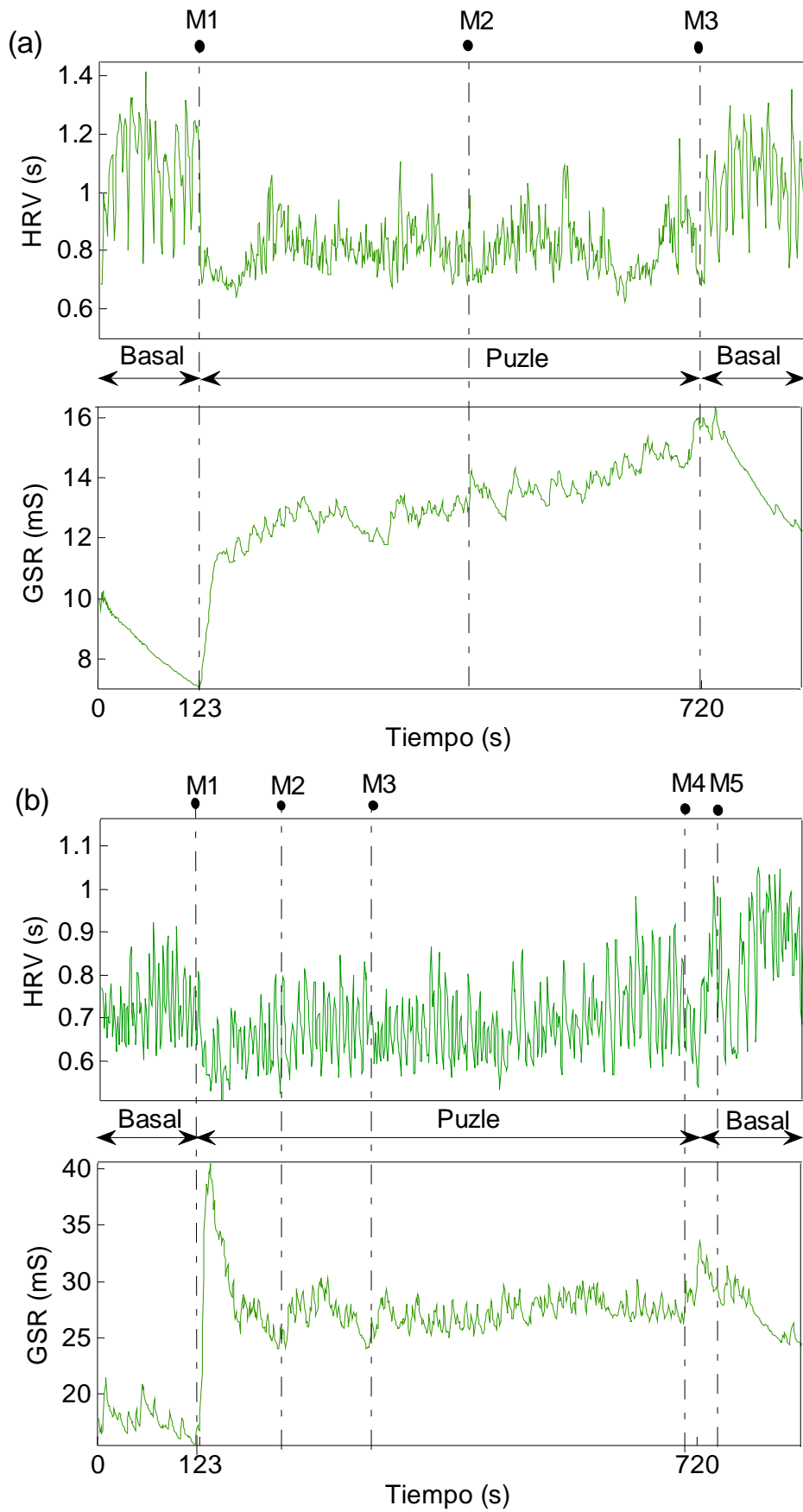


Figura 5.1 Señales fisiológicas recogidas del HRV y GSR (a) corresponde con las señales del sujeto A y (b) con las del B.



Después de la clasificación de estados, las marcas de los sujetos mostrados en la Figura 5.1 (a) se han catalogado como M1= E.A., M2=A.B. y M3=A.M. y en la Figura 5.1 (b) como M1=A.A., M2=A.A., M3=A.B., M4=A.B., M5=A.B. En el capítulo 6 se podrán encontrar diversos ejemplos de los 6 estados identificados con la propuesta planteada en este trabajo.

El análisis que se ha realizado, se corresponde con el estrés negativo o distrés. Un caso particular de activación del sistema nervioso es el estrés positivo o eustrés, en el cual la rama del sistema nervioso simpático se activa para afrontar un evento, lo que se traduce en un incremento del GSR, pero debido a que tiene un efecto positivo en la persona, el corazón se ralentiza. Este hecho pone de manifiesto la necesidad de analizar de forma conjunta las dos señales, debido a que un incremento de la sudoración no implica una situación de estrés negativo.

### **5.1.2 INHIBICIÓN DEL SNAS**

Con el objetivo de ampliar el rango de cambios emocionales detectados por el sistema, se ha abierto el estudio a la inhibición del sistema nervioso simpático, correspondiente con estados emocionales de relajación, bienestar o de tristeza sin lloro. Debido a que en el experimento I, se inducen estados de relajación a través del video basal, se buscarán patrones fisiológicos asociados a la relajación.

Cuando no se activa la transmisión nerviosa de la rama simpática, la glándula sudorípara deja de secretar sudor y la señal GSR disminuye de forma lineal, a su vez la rama parasimpática va tomando fuerza ralentizando o manteniendo el ritmo cardíaco con el objetivo de conservar la energía. Para realizar el estudio de la inhibición simpática, solo se ha utilizado la señal GSR ya que está inervada únicamente por fibras simpáticas.

La señal GSR se caracteriza por una secuencia de superposiciones de respuestas fásicas (Skin Conductance Response SCR) generadas con cada activación del simpático, que se añaden a una componente tónica. En la Figura 5. 2 se puede observar cómo se genera cada SCR con cada activación simpática. Por lo tanto, cuanto más inhibición del SNAS hay, más parecido es la señal GSR a una recta de pendiente negativa.

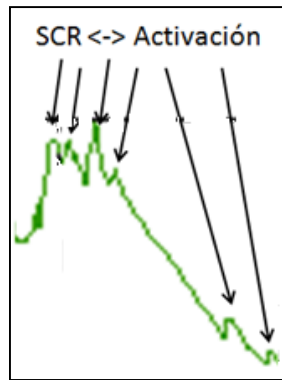
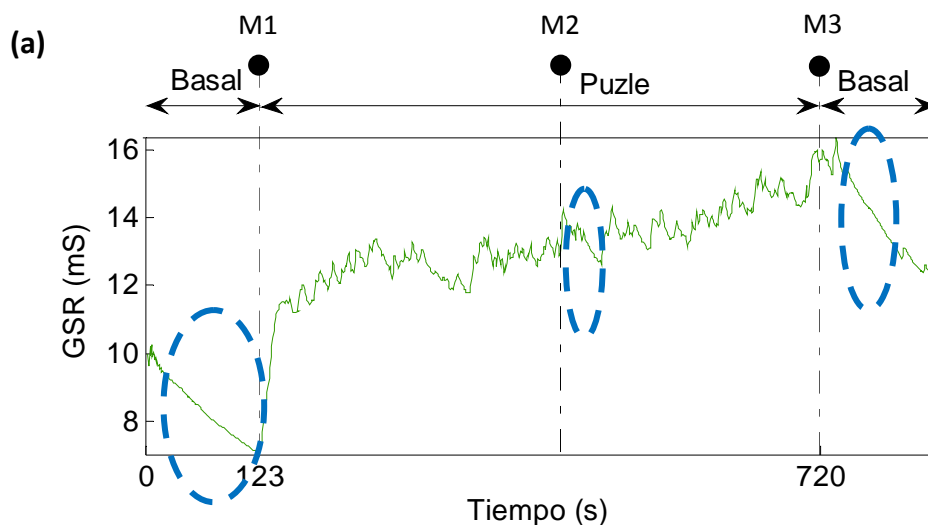
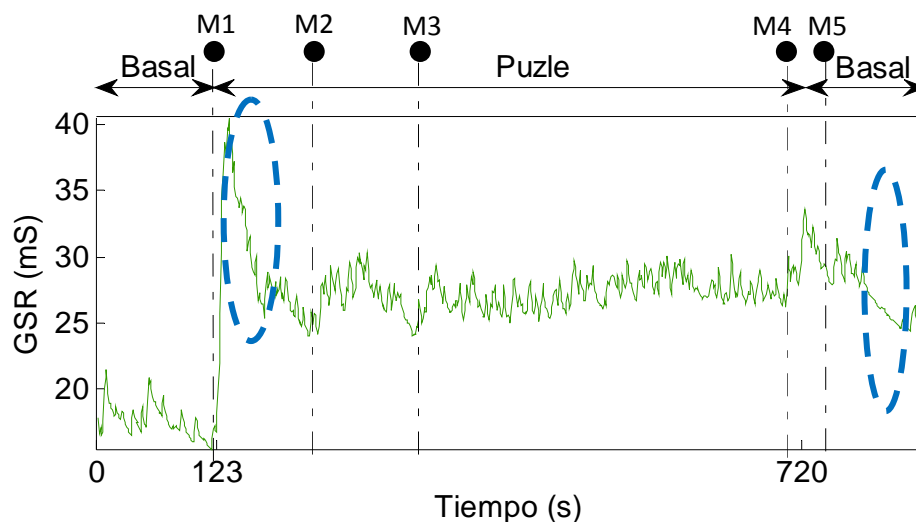


Figura 5. 2 SCR de señal GSR

Se pueden observar en la Figura 5.3 (a), que el sujeto A es capaz de llegar de relajarse mucho durante la visualización de los vídeos basales, hecho que se corrobora en la entrevista realizada tras la finalización del experimento. Durante ese registro, también se pueden apreciar estados de inhibición del SNAS menos intensos que en los vídeos basales, por ejemplo tras la marca M2, en el cual el sujeto dejó todas las piezas del puzle en la mesa, tomó una respiración y volvió a empezar.

El sujeto B afirmó que durante el primer vídeo basal estaba pensando en cómo sería la prueba y no pudo relajarse, sin embargo en el segundo vídeo sí; hechos que pueden confirmarse en las variables fisiológicas de la Figura 5.3 (b). Cuando esta persona empezó a realizar el puzle (M1), su SNAS sufrió una gran activación, más por el hecho de comenzar la prueba que por el experimento en sí, por lo tanto la activación enseguida desaparece, tal y como se detalló en el apartado anterior. Una vez ya comenzado a solucionar el puzle, el sujeto B se va relajando y deja de activar el SNAS, pero debido a que viene de un estado de alerta elevado, no lo hace de forma continua y constante, es decir, la inhabilitación simpática se hace poco a poco.





**Figura 5.3 Señal GSR y sus respectivas marcas (a) corresponde con las señales del sujeto A y (b) con las del B**

Después de estudiar todos los registros, se han encontrado tres grados de inhibición del SNAS: baja, media y alta, que se establecen en función del grado de similitud de la señal GSR con una línea recta de pendiente negativa. En este caso, se plantea el desarrollo de un sistema que identifique tres estados de inhibición del simpático: “Inhibición Baja (I.B.)”, “Inhibición Media (I.M.)”, “Inhibición Alta (I.A.)”,

Después de la clasificación de los estados de no-activación simpática, las marcas de los sujetos mostrados en la Figura 5.3 (a) se han catalogado como M1= E.A., M2=A.B. y M3=A.M. y en la Figura 5.3 (b) como M1=A.A., M2=A.A., M3=A.B., M4=A.B., M5=A.B.

Para estudios futuros, y con el objetivo de discriminar entre estados de relajación y tristeza sin lloro, se pretende estudiar la correlación de la señal HRV con señales senoidales puras. Debido a que cuando una persona vive situaciones de relajación entra en coherencia cardíaca y la variabilidad del ritmo cardíaco adquiere forma senoidal.

## 5.2 ANÁLISIS CUANTITATIVO

### 5.2.1 ACTIVACIÓN DEL SNAS

Una vez finalizada la primera fase de análisis, donde de forma cualitativa se clasificaron 6 tipos diferentes de respuesta ante un estresor, se dio paso al desarrollo de un algoritmo capaz de detectar, graduar y clasificar en tiempo real la activación de una persona. A la hora de realizar el

análisis cuantitativo, se han utilizado los datos de 56 de los 166 participantes, los 110 restantes han quedado para la estimación del rendimiento del sistema.

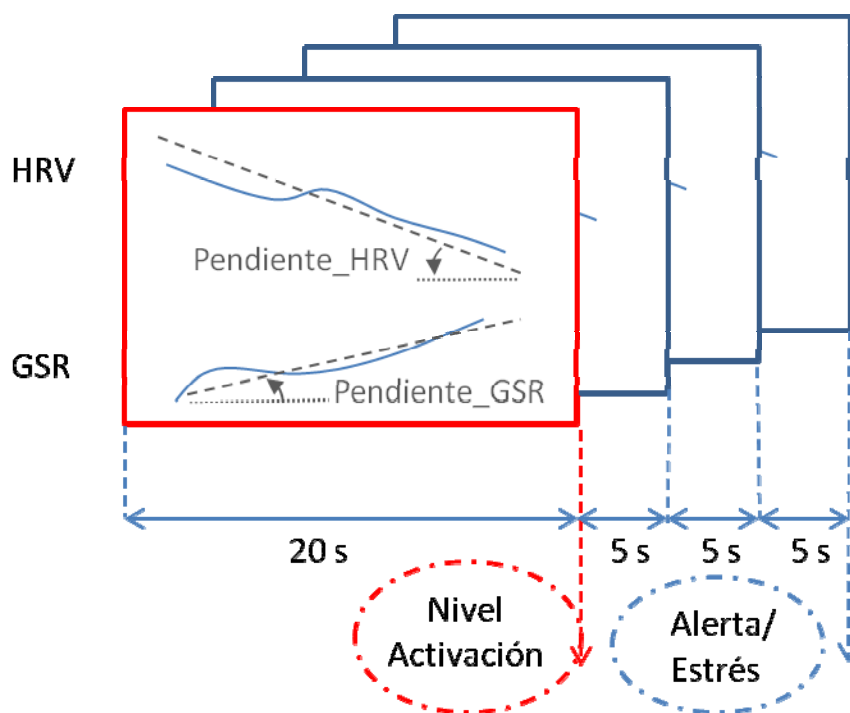
Dentro del marco temporal de la señal, una técnica para su análisis en tiempo real consiste en el enventanado de la misma, tal y como utilizaron Santos y col. (2011,) y Healey y Picard (2005). En el procesamiento de señales, se denomina enventanado a la multiplicación de una señal completa por una función limitada en el tiempo llamada ventana. La ventana que se ha aplicado en nuestro trabajo es una función rectangular de amplitud 1. El enventanado por lo tanto, produce una nueva señal, que dentro del intervalo de tiempo definido por la ventana tiene el mismo valor que la señal original y fuera de dicho intervalo es nulo.

Es necesario por lo tanto seleccionar y definir las características de las señales que se analizarán en cada ventana. En investigaciones relacionadas con conductas emocionales, otros autores se decantan por la extracción de varias características estadísticas, frecuenciales y no lineales (Healey y Picard (2005). Santos y col., 2011; Sharma y Gedeon, 2014; de Vries y col., 2015). Por el contrario, este trabajo se centra en la extracción de un único y novedoso parámetro, el valor de la pendiente de las señales. Se ha tomado esta decisión, debido a que la pendiente da información sobre la velocidad a la que la señal evoluciona y si esta crece o decrece, premisas que fueron establecidas y utilizadas en el análisis cualitativo previo. Además del valor de las pendientes de HRV (pHRV) y GSR (pGSR), se utilizará también como parámetro de análisis la multiplicación de ambas (PA), debido a que proporciona información sobre el grado de activación conjunto de ambas señales.

El método usado para calcular el valor de la pendiente, pasa por la ejecución de varias fases. Primero se selecciona la ventana a analizar, posteriormente se ajustan los datos de la ventana a una función polinomial de grado 1 y finalmente se obtiene el valor de la pendiente de dicho polinomio. Al utilizar únicamente como parámetro la pendiente, no es necesario normalizar los datos, debido a que no se tiene en cuenta el valor numérico de la señal.

Una vez determinado el parámetro a extraer de cada ventana, se debe definir la duración de la misma en función de las necesidades temporales del parámetro elegido. De Santos y Col. (2011) utilizan una ventana de 10 segundos, mientras que Healey y Picard (2005) una de 150 segundos. Estos últimos necesitan una ventana mucho mayor debido a que realizan un análisis en frecuencia de la señal. En este trabajo se ha elegido una duración de ventana de 20 segundos. Dicho tiempo es menor que el propuesto por Healy y Picard, debido a que no se realiza análisis frecuencial, y es mayor que el elegido por de Santos y col. (2011) porque se desea desarrollar un algoritmo que además de detectar, gradúe el nivel de estrés. Puesto que se pretende que el

algoritmo también sea capaz de clasificar la activación entre una alerta momentánea o un estrés continuado, se necesita estudiar la evolución de las señales durante un tiempo mayor. Para ello se realizan 3 desplazamientos consecutivos de ventana en intervalos de 5 segundos y un análisis de las pendientes en cada uno de ellos, tal y como muestra la Figura 5.4. Siendo, por tanto, necesario un tiempo mínimo de 35 segundos para identificar un evento de estrés.

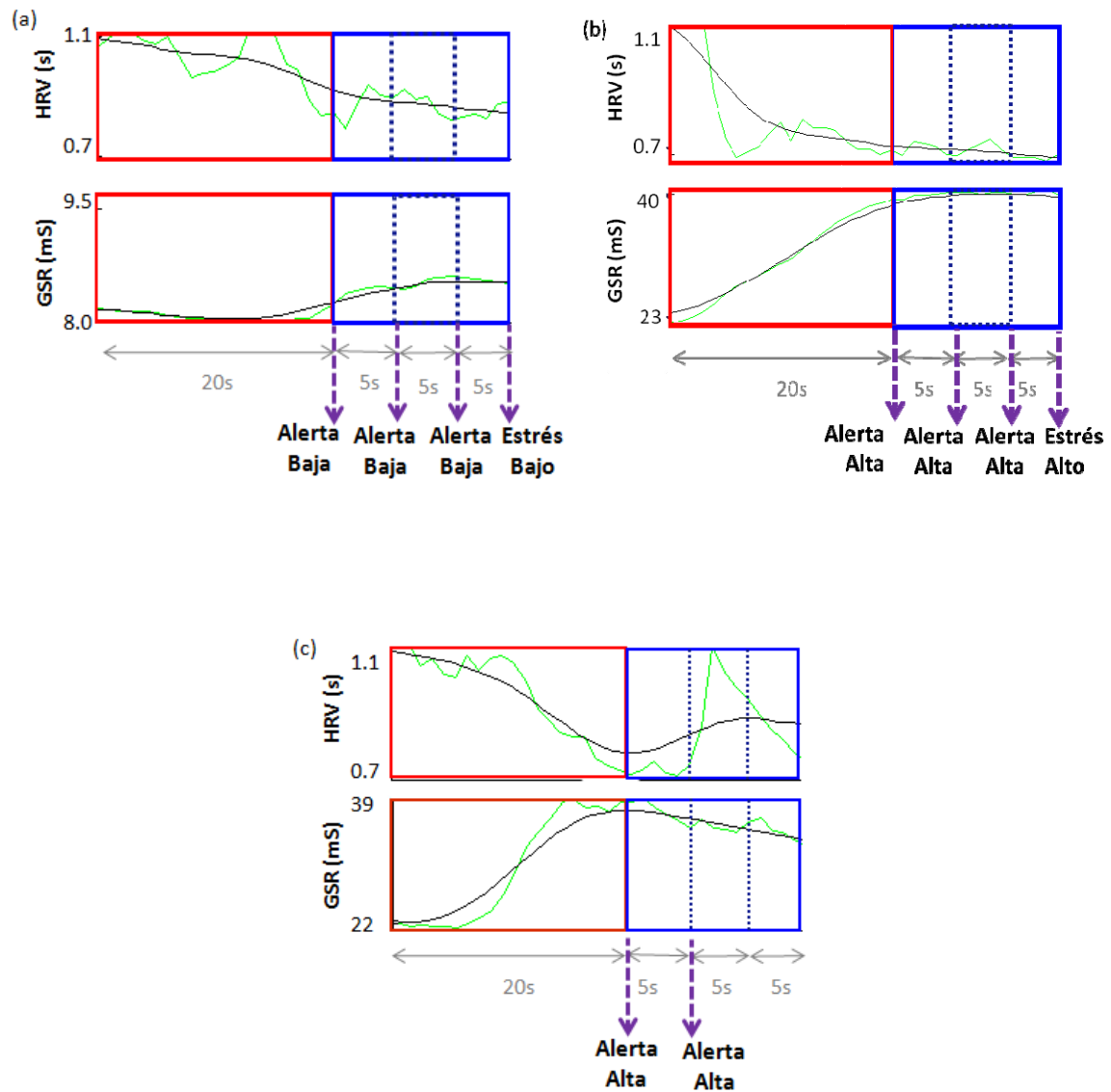


**Figura 5.4 Análisis cualitativo de las señales fisiológicas con el objetivo de estudiar diferentes niveles y clases de estrés en tiempo real**

Los seis estados de activación definidos en la fase cualitativa tienen su reflejo en esta fase de análisis cuantitativo de las señales HRV y GSR, al analizar en cada intervalo los valores de sus pendientes. Cuando se detecta en una ventana una activación del sistema nervioso, esta se identificará como alerta con el nivel de activación correspondiente. Sólo si dicha activación perdura 15 segundos más, se podrá confirmar una situación de estrés continuado.

La Figura 5.5 muestra tres de los seis posibles estados de activación. Se puede observar que la Figura 5.5 (a) muestra una activación poco significativa identificada con un estado de alerta baja, mientras que la Figura 5.5 (b) y Figura 5.5 (c) sufren cambios mayores clasificados como alerta media. En los tres siguientes desplazamientos de ventana, las Figura 5.5 (a) y Figura 5.5 (b) mantienen la activación y el estado de alerta, por lo tanto en la última ventana se puede definir un estado de estrés. Por el contrario, en la Figura 5.5 (c) se observa como la activación decae en

el segundo desplazamiento sin llegar a producirse estrés, etiquetándose en este caso como alerta alta.



**Figura 5.5 Estudio y clasificación de 3 de los 6 estados de activación (a) se corresponde con estrés bajo, (b) estrés alto y (c) alerta alta.**

Para poder identificar de forma automática cuándo sucede una activación significativa del SNAS y poder graduarla, es necesario determinar para cada nivel cuáles son los valores tanto de las pendientes del HRV (pHRV), del GSR (pGSR) como la multiplicación de ambas (PA). Si se desea además clasificar la activación en función del tiempo que perdura, es necesario acotar los valores entre los cuales se tienen que mantener las pendientes para poder determinar el estado de estrés. La Figura 5.6 muestra las señales llevadas a estudio junto con los valores de sus pendientes y la multiplicación de ambas pendientes.

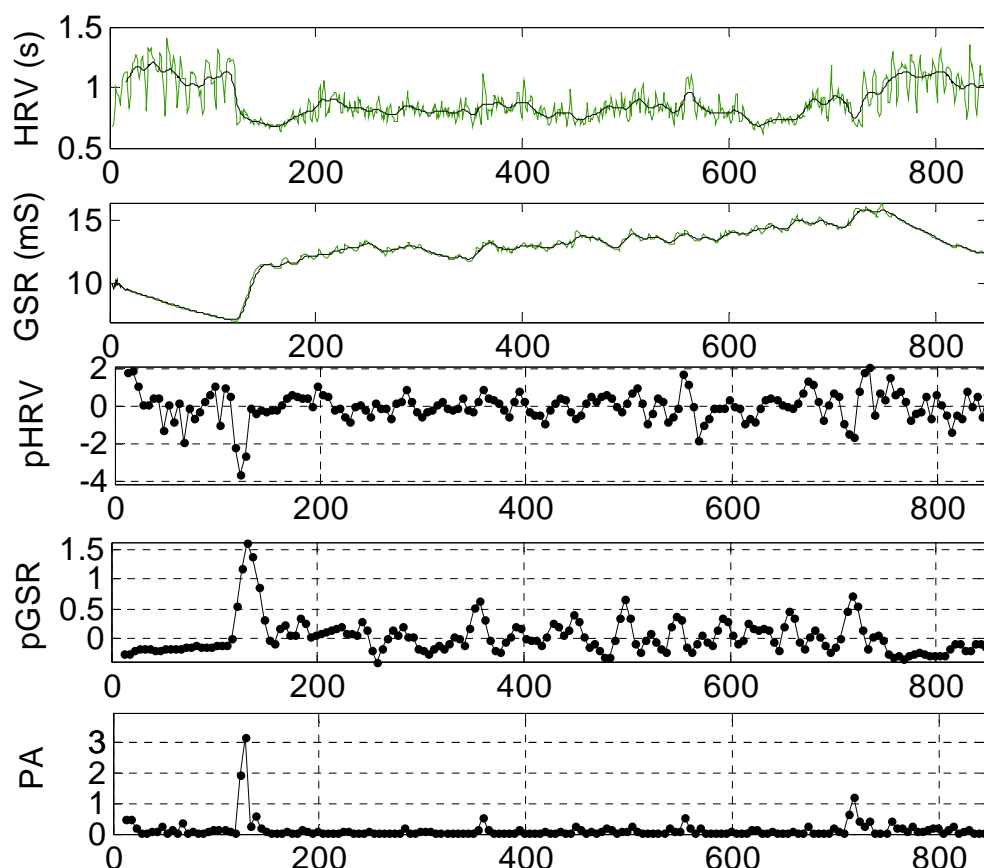


Figura 5.6 Representación de arriba hacia debajo de: la señal HRV, GSR, pendiente de HRV, pendiente de GSR y multiplicación de ambas pendientes

Tras un estudio de los estados de activación catalogados anteriormente, junto con el análisis de los valores cuantitativos de las pendientes, la Tabla 5.1. muestra los valores correspondientes a cada uno de los tres grados de activación y los de mantenimiento que dictaminan el estado de estrés

Tabla 5.1 Condiciones de los parámetros evaluados para determinar estados de activación

Nivel de Activación	Condiciones
Baja	$(pHRV < 0) \text{ and } (pGSR > 0) \text{ and } (PA > 0.199)$
Media	$(pHRV < -0.5) \text{ and } (pGSR > 0.5) \text{ and } (2.5 > PA > 1)$
Alta	$(pHRV < -0.5) \text{ and } (pGSR > 0.5) \text{ and } (PA > 2.5)$
Mantenimiento	$((pHRV < 0) \text{ and } (pGSR > -0.7)) \text{ or } ((pHRV < 0.1) \text{ and } (pGSR > 0))$

## 5.2.2 INHIBICIÓN DEL SNAS

Una vez realizado el análisis cuantitativo de los estados de activación, se desea ampliar la capacidad de detección emocional del algoritmo con la detección de estados de inhibición del SNAS. Más concretamente, la identificación y graduación de estados de relajación a partir de una única señal (GSR), tal y como se ha detallado en su estudio cualitativo previo. Para este análisis, también se han utilizado 56 de los 166 participantes, dejando el resto de datos para la estimación del rendimiento del sistema.

Siguiendo con la idea de la identificación de patrones fisiológicos en tiempo real y dado las buenas perspectivas del algoritmo para la detección de estados de estrés, se volverá a utilizar el inventariado como técnica de análisis de la señal. En la fase cualitativa se han detectado únicamente 3 estados de inhibición (alto, medio y bajo) dependientes de la linealidad de cambio de la señal, y no de su duración en el tiempo. Es por ello que para la clasificación de los estados se utiliza solo una ventana de 20 segundos.

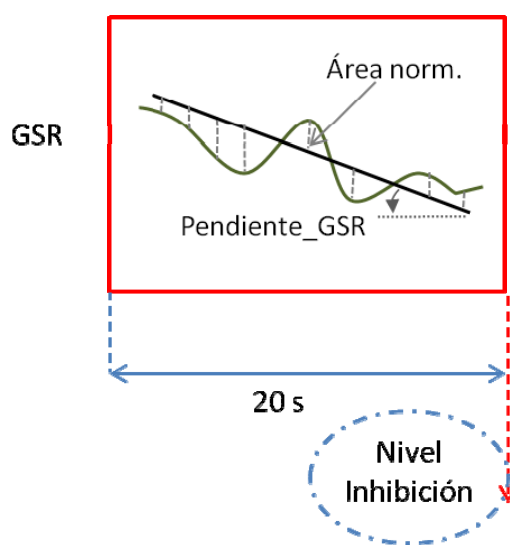
El siguiente paso, consiste en determinar las características a analizar en la ventana temporal. La mayoría de las características utilizadas en estudios emocionales, son extraídas a partir de métodos estadísticos de la propia señal y el número de SCRs por segundo (Healey y Picard 2005; de Santos y col., 2011; Sharma y Gedeon, 2014; de Vries y col., 2015). En un estudio genérico de la sudoración, Benedek y Kaerbach (2010), descomponen la señal en su parte tónica y fásica a través de la convolución no negativa.

En este trabajo, y siguiendo con la idea del estudio de la componente fásica de la señal, se ha diseñado una metodología para cuantificar dicha componente y relacionarla con el nivel de inhibición simpático colinérgica. Para ello nos hemos basado en la comparación de la GSR con una línea recta, de tal forma que menor será la aportación fásica cuanto mayor se aproxime la señal a la recta.

El primer paso es seleccionar la ventana a analizar, correspondiente con una ventana de 20 s. Después se ajustan los datos de la señal a una recta, más concretamente un polinomio de grado 1. Posteriormente se calcula la pendiente de dicho polinomio (pGSR) y el área correspondiente con la diferencia entre la señal GSR y la recta (ver Figura 5.7). Debido a que para calcular el área se utilizan los valores nominales de la señal, se ha normalizado el área con el valor medio de la señal en esa ventana.

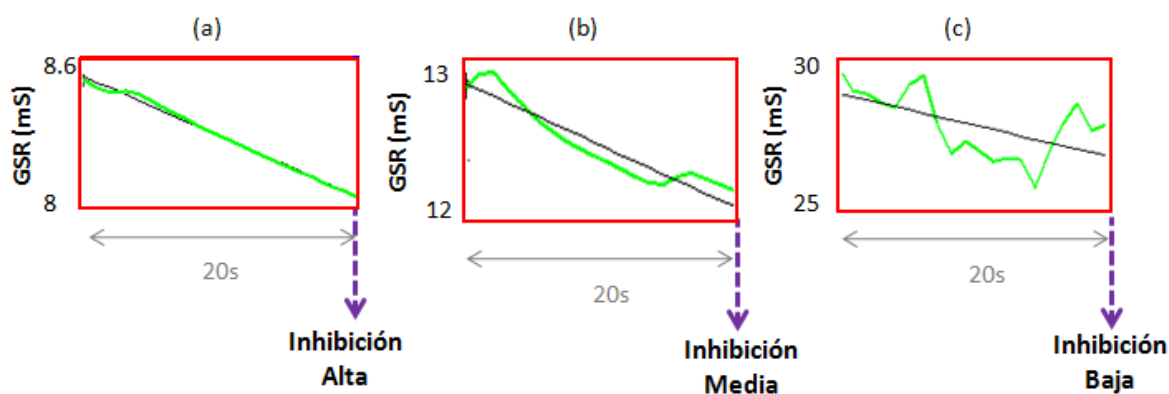
$$Area_{normalizada} = \frac{Area}{GSR_{mean}} \quad (5.1)$$





**Figura 5.7** Análisis cualitativo de las señales fisiológicas con el objetivo de estudiar diferentes niveles y clases de inhibición del SNAS en tiempo real.

La Figura 5.8 muestra los tres niveles de inhibición del SNAS descritos anteriormente. La Figura 5.8 (a) se corresponde con un estado de inhibición Alta (I.A.), la Figura 5.8 (b) con una inhibición Media (I.M.) y la Figura 5.8 (c) con una inhibición Baja (I.B.). Como se puede observar, cuanto menor es el área, mayor es el nivel de inhibición.



**Figura 5.8** Estudio y clasificación de los 3 de inhibición simpática (a) se corresponde con un nivel alto, (b) medio y (c) bajo .

Para poder acotar los valores cuantitativos de los parámetros correspondientes a cada estado, es necesario hacer un estudio de dichos valores en estados de inhibición reconocidos cualitativamente. La Figura 5.9 muestra en la gráfica superior un ejemplo del GSR del participante A, en la gráfica del medio el valor de la pendiente y en la inferior el área normalizada.

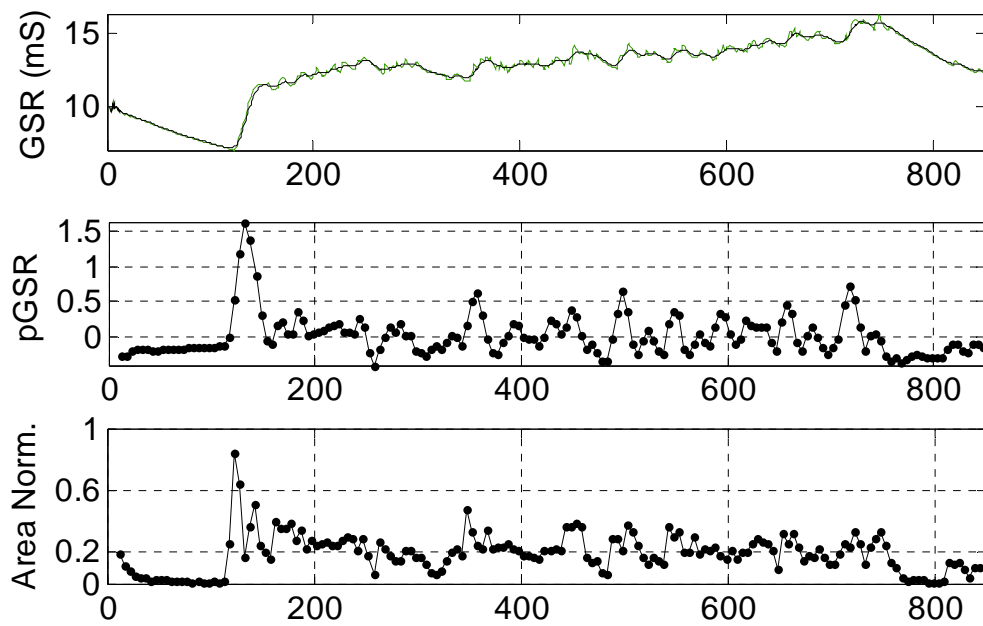


Figura 5.9 Señal GSR (arriba), pendiente de la señal (medio) y el área normalizada (abajo).

Tras el estudio de la pendiente y área de todos los participantes llevados a estudio, se han identificado los valores de dichas características asociadas a cada nivel de inhabilitación simpática. La Tabla 5.2 muestra las condiciones de clasificación de cada uno de los estados.

Tabla 5.2 Valores de las características pGSR y área normalizada correspondientes a los tres estados de inhibición del SNAS

Nivel de Inhibición	Condiciones
Baja	$(pGSR < - 0.3)$ and $(Area\_norm > 0.2)$
Media	$(pGSR < - 0.05)$ and $(0.07 < Area\_norm < 0.2)$
Alta	$(pGSR < - 0.05)$ and $(Area\_norm < 0.07)$ or $(- 0.05 < pGSR < 0)$ and $(Area\_norm < 0.04)$

Para poder realizar una evolución temporal del estado en el cual se encuentra el sujeto, ya sea derivado de una activación o inhibición del SNAS, se vio la necesidad de buscar un sistema de detección automática. Se decidió utilizar una máquina de estados finitos, debido a que es una estructura de programa que nos sirve para determinar el comportamiento de un sistema, en base a un conjunto de estados posibles en los que se puede encontrar el sistema, y una serie de

transiciones entre estados asociadas a los diferentes eventos (entradas) que se pueden dar en el sistema.

### 5.3 MÁQUINA DE ESTADOS FINITOS

Una vez definidos tanto los estados emocionales que se desean detectar como los parámetros para poder identificarlos, el siguiente paso consiste en la elección de la herramienta más adecuada que permita poder determinar los patrones emocionales de forma automática.

Desde un enfoque más tecnológico, el proceso de análisis de las señales fisiológicas se puede considerar como un sistema secuencial y dado que los pasos que llevan de un estado a otro han quedado completamente definidos, se ha elegido la máquina de estados finitos (FSM) como herramienta para representar el modelo.

A día de hoy no se han encontrado desarrollos específicos donde las máquinas de estado hayan sido utilizadas en estudios relacionados con la identificación y clasificación de cambios emocionales, aunque sí en el campo de la medicina, como es el caso del trabajo de Sathar y col. (2013) donde presentan un modelo del comportamiento gástrico basado en máquinas de estado. Uno de los objetivos de este trabajo es explorar la utilización de estos sistemas de modelado en el problema de la clasificación de situaciones de emociones a partir de las señales fisiológicas obtenidas en tiempo real, lo que supone una novedad en este campo de aplicación.

En este trabajo se propone identificar diferentes estados de activación e inhibición del SNAS relacionados con varias emociones. Es por ello que se van a diseñar dos máquinas de estado una para la detección de estados de activación (FSM\_A) y otra para los de inhibición (FSM\_I).

Basándose en los procesos de identificación de estados de activación simpática descritos anteriormente, se han encontrado 6 estados posibles de activación y se han determinado las condiciones necesarias para pasar de unos estados a otros. Con ello se ha construido una máquina de estados finitos parametrizada por el conjunto de posibles estados:  $Q_1 = \{1-6\}$  donde 1=Alerta Baja, 2=Estrés Bajo, 3= Alerta Media, 4=Estrés Medio, 5=Alerta Alta y 6=Estrés Alto, junto al estado inicial  $q_{0_1}=\{0\}$ , sin disponer de un estado final debido a su carácter cíclico.

La FSM\_A está diseñada para que analice las pendientes de HRV y GSR en una ventana de 20 segundos con un desplazamiento de 5 segundos. Las condiciones de las transiciones dependen del valor de las pendientes y de un contador de estados de alerta  $E_1 = \{AR1, AR2, AR3, not(AR1,AR2,AR3), S\_AR, not(S\_AR), N=3 \text{ y } Next\}$ . La transición AR1 se produce cuando las pendientes indican una activación baja, AR2 una activación media y AR3 una alta. Una vez

alcanzado cualquier estado de alarma, si las pendientes se mantienen dentro de un pequeño rango, se cumple la condición  $S\_AR$ .  $N=3$  indica que el sistema ha estado tres veces en el mismo estado de alarma y  $Next$  que se pasa al siguiente estado sin cumplirse ninguna condición. La Figura 5.10 representa gráficamente la FSM\_A.

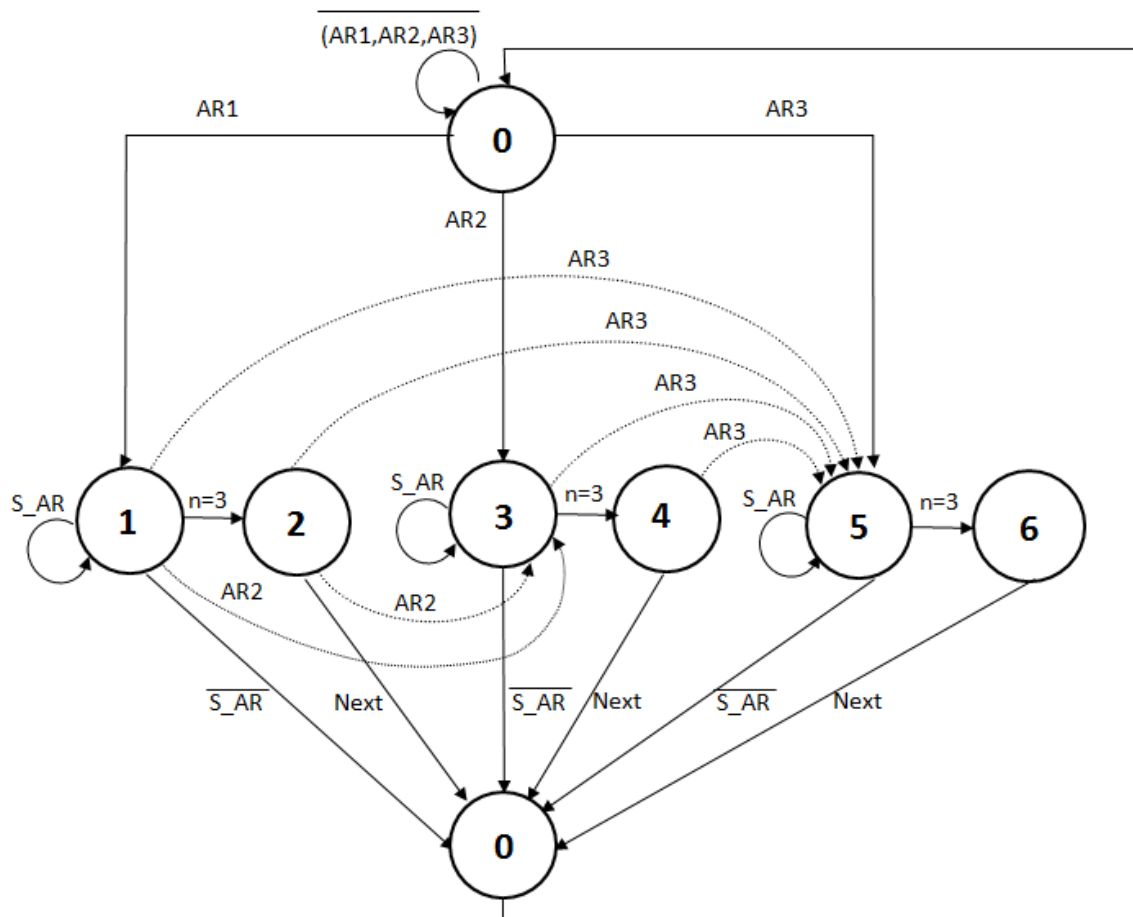


Figura 5.10 Diagrama de transiciones para los diferentes estados de alarma y estrés

Tabla 5.3 muestra la matriz de transición de estados de la FSM\_A. En ella, las columnas representan “desde” qué estado se parte, las filas “hacia” qué estado se dirige y “-” indica que no hay transición de un estado a otro.

**Tabla 5.3 Matriz de transición de estados para la FSM\_A**

s	0	1	2	3	4	5	6
0	Not(AR1,AR2,AR3)	AR1	-	AR2	-	AR3	-
1	not(S_AR)	AR1	n=3	AR2	-	AR3	-
2	Next	-	-	AR2	-	AR3	-
3	not(S_AR)	-	-	S_AR	n=3	AR3	-
4	Next	-	-	-	-	AR3	-
5	not(S_AR)	-	-	-	-	S_AR	n=3
6	Next	-	-	-	-	-	-

Una vez diseñada la FSM\_A destinada a la detección y clasificación de estados de activación y estrés, se pasa a describir los parámetros representativos para la construcción de una máquina de estados para la detección de la inhibición simpática (FSM\_I).

En la fase de análisis, se han identificado 3 estados de inhibición simpática y se han encontrado las condiciones para llegar hasta ellos. El conjunto de posibles estados queda compuesto por  $Q_2 = \{-1,-2,-3\}$  donde -1 = Inhibición Baja, -2 = Inhibición Media, -3 = Inhibición Alta, junto al estado inicial  $q_{0,2}=\{0\}$ , sin disponer de un estado final debido a su carácter cíclico.

La FSM\_I está diseñada para que analice las pendientes de GSR y el área normalizada de la diferencia entre la señal GSR y mejor aproximación lineal de la misma, todo ello en una ventana de 20 segundos con un desplazamiento de 5 segundos. Las condiciones de las transiciones dependen del valor de la pendiente y el área normalizada  $E_2 = \{IN1, IN2, IN3, not(IN1,IN2,IN3)\}$ . La transición IN1 se produce cuando la pendiente y el área indican una inhibición baja, IN2 una media y IN3 una alta. La representación gráfica de la FSM\_I se muestra en la Figura 5.11.

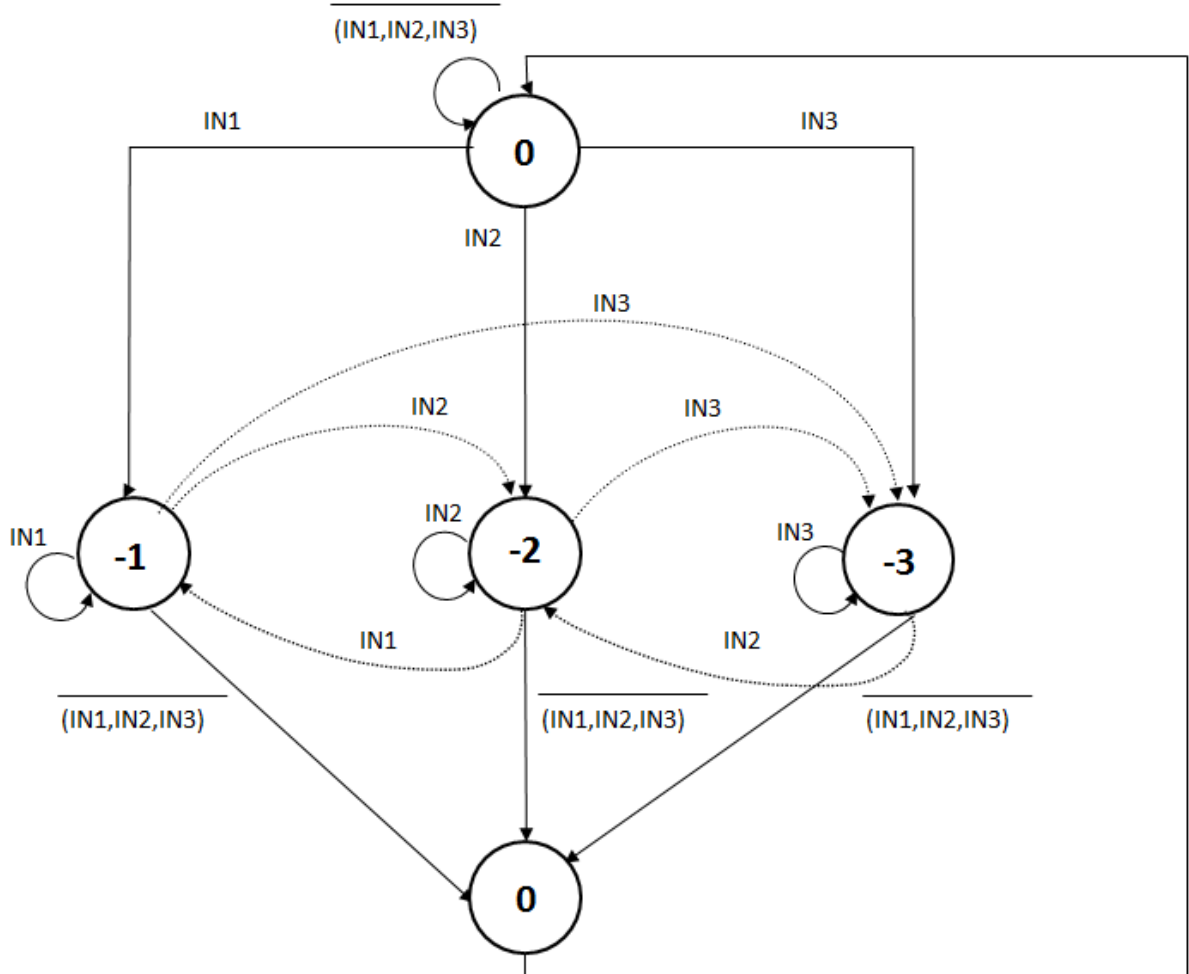


Figura 5.11 Diagrama de transiciones para los diferentes estados de alarma y estrés.

Con el objeto de aclarar las posibles transiciones entre estados de la FSM\_I, se muestra a continuación la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Matriz de transición de estados para la FSM\_I

s	0	-1	-2	-3
0	Not(IN1,IN2,IN3)	IN1	IN2	IN3
-1	Not(IN1,IN2,IN3)	IN1	IN2	IN3
-2	Not(IN1,IN2,IN3)	IN1	IN2	IN3
-3	Not(IN1,IN2,IN3)	IN1	IN2	IN3



## 6 RESULTADOS

---

*“No podemos resolver problemas usando el mismo tipo de pensamiento que usamos cuando los creamos”*

Albert Einstein

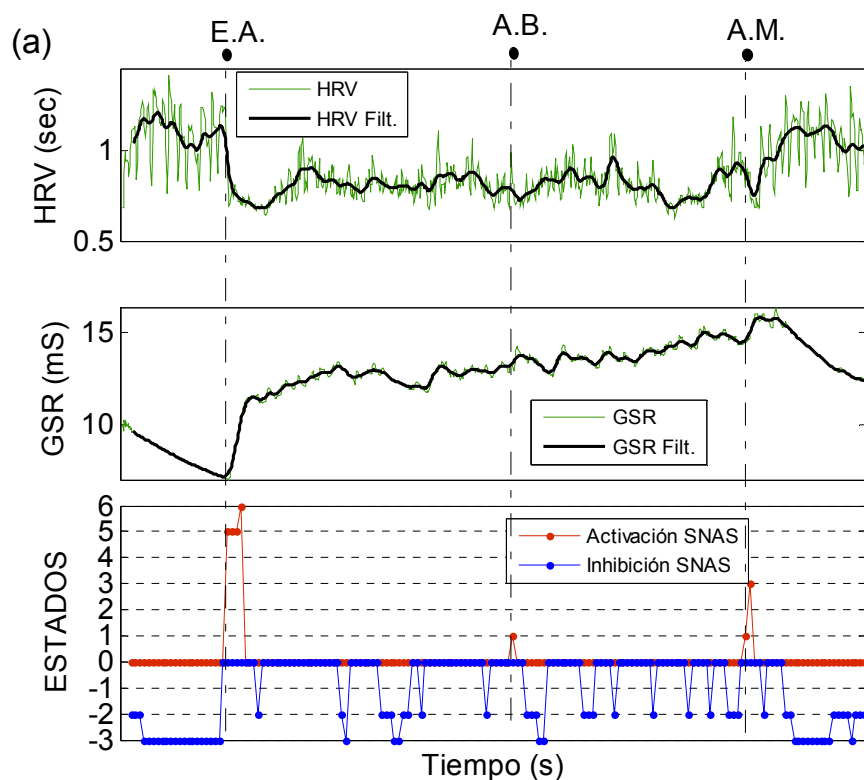




Este capítulo tiene como finalidad validar el algoritmo basado en máquinas de estado diseñado anteriormente. En la primera parte del capítulo, se obtienen los resultados derivados de aplicar el algoritmo a todos los registros obtenidos en el experimento I, calculando la precisión del sistema para detectar estados de estrés y relajación. Posteriormente se pasará el algoritmo en los registros del experimento II, para comprobar la eficacia de la herramienta en una base de datos diferente. La última prueba del algoritmo se realiza en la base de datos generada en el experimento IV, con objeto de calcular la precisión del sistema en la detección de emociones de bienestar y sorpresa.

## 6.1 RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS I Y II

En este apartado, se van a mostrar los resultados obtenidos tras la aplicación de las dos máquinas de estados a todos los sujetos que realizaron los experimentos I y II. Ambos experimentos tienen como objetivo inducir entre sus participantes estados de estrés y relajación. Para comprobar la eficacia de este tipo de clasificador, los resultados se comparan con las marcas de los distintos estados de activación etiquetados manualmente tal y como se observa en Figura 6.1. En los diferentes ejemplos de dicha figura se observa en la parte superior la gráfica de la HRV, en la del medio la GSR y por último hay una tercera gráfica que representa la identificación de los diferentes estados de activación simpática (estrés) en rojo, y los de inhibición (relajación) en azul.



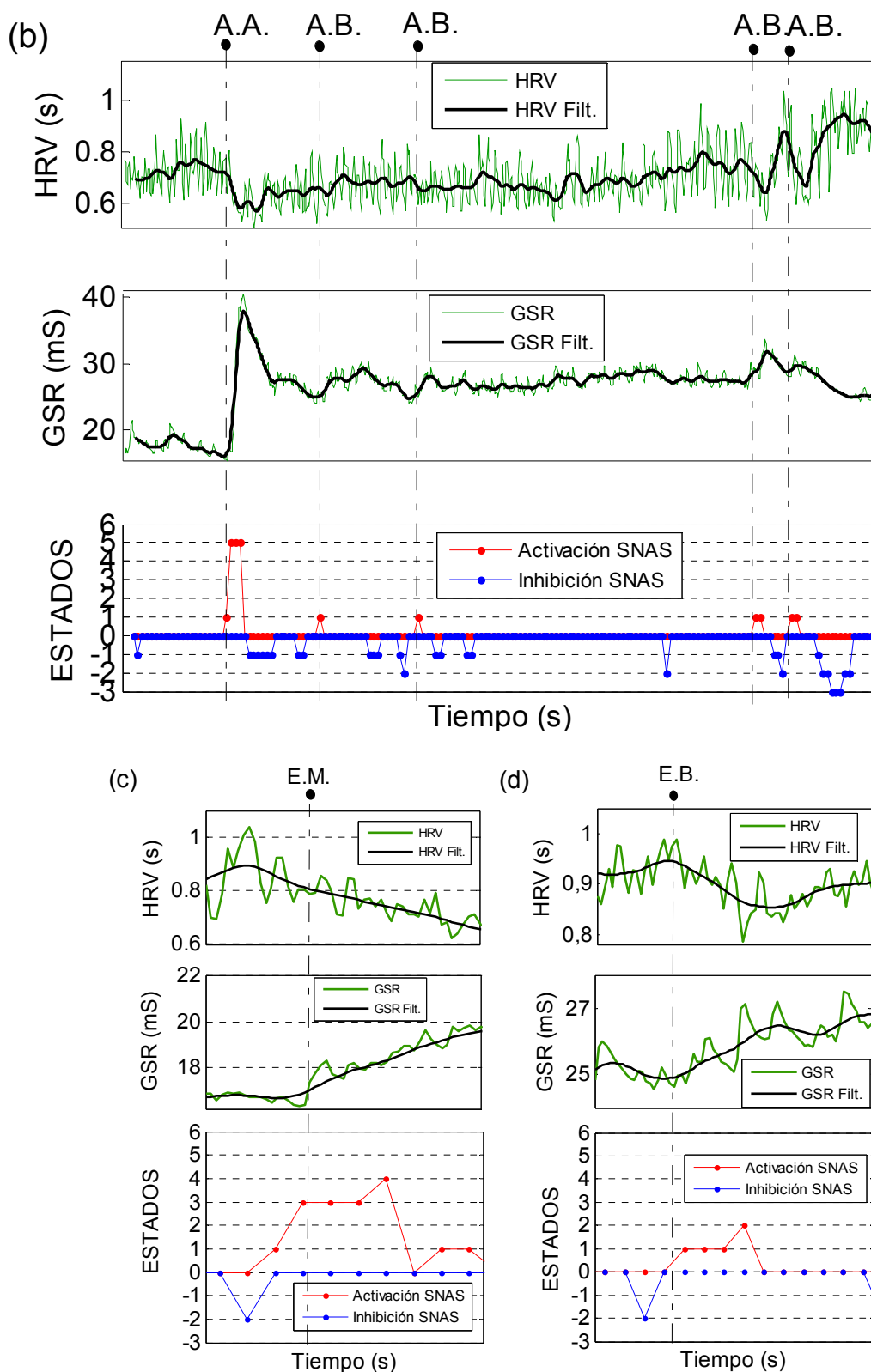


Figura 6.1 Las señales de diferentes participantes: señal HRV (arriba), señal GSR (medio) y el resultado de las máquinas de estados (abajo). En la parte superior de cada figura aparecen las etiquetas manuales de los distintos eventos visualizados.

Primero se calculará la precisión de la FSM\_A para la detección y clasificación de estados de activación y posteriormente la de FSM\_I para estados de inhibición del SNAS.

La salida de la FSM\_A fue sometida a dos niveles de análisis. Por un lado, determinar el ratio de acierto logrado por el sistema para la clasificación de las activaciones altas y medias. Por otro lado, se analiza el rendimiento alcanzado en estados de estrés y alerta bajos. La razón de analizar los resultados por separado se debe a que los estados de activación altos y medios son desencadenados por eventos significativos, y su incapacidad para detectarlos podría poner en problemas a los usuarios finales. Sin embargo, en el caso de estados de activación bajos, no hay riesgo para el sujeto.

La Tabla 6.1 muestra los resultados de la identificación de los estados más significativos, correspondientes con activaciones de nivel medio y alto. Las filas corresponden a los 4 eventos posibles de activación media y alta etiquetados manualmente. Las columnas reflejan los resultados obtenidos por el sistema desglosado de la siguiente manera: True Positive (TP) es el número de estados correctamente detectados por la FSM\_A; False Negative (FN), el número de casos que el sistema debería haber detectado, pero no ha podido; False Positive (FP), los estados clasificados como positivos por el sistema pero sin ser etiquetados de forma manual; y la precisión del FSM\_A se calcula a través del marcador  $F_1$ .  $F_1$  considera tanto la Precisión ( $P$ , véase la ecuación 6.1) como el Recall ( $R$ , véase la ecuación 6.2) del sistema, siendo  $P$  el número de resultados correctos positivos dividido por el número de todas las detecciones positivas hechas por el sistema, y  $R$  el número de resultados correctos positivos dividido por el número de resultados positivos que deberían haber sido devueltos (en este caso, los eventos etiquetados manualmente). La puntuación de  $F_1$  puede ser interpretado como un promedio ponderado de la precisión y del recall y alcanza su mejor valor en 1 y el peor en 0 (véase la ecuación 6.3).

$$P = \frac{TP}{TP+FP} \quad (6.1)$$

$$R = \frac{TP}{TP+FN} \quad (6.2)$$

$$F_1 = \frac{2*P*R}{P+R} \quad (6.3)$$

Los resultados para la clasificación de estados con activación media han conseguido una precisión de 0.970 conjunta, 0.978 para alertas medias y 0.941 para estrés medio. La precisión

alcanzada para estados de precisión altos es algo mayor 0.984, 0.987 para alertas altas y 0.981 para estrés alto.

**Tabla 6.1 Resultados del FSM\_A para estados de activaciones medias y altas.**

Estado	Clasif. Manual	FSM_A			
		TP	FN	FP	F1
<i>Alto</i>					
Alerta Alta	37	37	0	1	0.987
Estrés Alto	27	26	1	0	0.981
Total Alto	64	63	1	1	0.984
<i>Medio</i>					
Alerta Media	93	90	3	1	0.978
Estrés Medio	25	24	1	2	0.941
Total Medio	118	114	4	3	0.970

Se ha llevado a cabo un análisis más profundo de los casos FN. El nivel de activación de 4 de los 5 errores fue identificado correctamente. El problema se ha encontrado en la determinación del estado final. Dos estados de alerta media fueron identificados como estados de estrés medio, uno de estrés medio fue confundido por uno de alerta media y otro de estrés alto por alerta alta. El quinto error de FN se corresponde con un estado de alerta media, en el cual la señal GSR sube en el momento en el aparece el estresor, pero la señal HRV cambia después de la ventana de análisis. Como consecuencia, el sistema es incapaz de identificar correctamente dicho evento. Se podría considerar que los errores FN del sistema se obtienen en estados que están al límite entre el estrés y la alerta.

Por último, la Tabla 6.2 muestra los resultados obtenidos para los estados de alerta y estrés bajos. Como se puede ver, el sistema alcanza una precisión de 1 para estados de estrés bajo y de 0.942 para alerta baja.

**Tabla 6.2 de la FSM\_A para estados de estrés y alerta bajos**

Estado	Clasif.	FSM			
	Manual	TP	FN	FP	F1
Alerta Baja	382	382	0	47	0.942
Estrés Bajo	13	13	0	0	1,000
<b>TOTAL</b>	<b>395</b>	<b>395</b>	<b>0</b>	<b>47</b>	<b>0.943</b>

Resumiendo, el sistema propuesto para la detección estados de activación del SNAS basado en FSM, es capaz de clasificar automáticamente estados de activación en las seis categorías establecidas. Los estados más críticos, es decir, los estados de alta y media de nivel, se detectan con éxito, así como el estado de tensión baja. La tasa de precisión más baja se consigue para los estados menos críticos. En concreto, el sistema ha encontrado más estados de alerta baja que los etiquetados manualmente, ya sea porque se habían considerado irrelevantes, o porque no hubo cambios emocionales visibles.

A continuación, se pasarán a mostrar los resultados obtenidos por la FSM\_I, en la detección de situaciones de inhibición simpática correspondientes con estados de relajación.

El análisis se divide en varias partes. La primera calcula el grado de acierto del sistema para detectar estados de relajación inducidos por el vídeo basal. En este caso, el grado de relajación durante los vídeos se ha catalogado en 4 niveles, según la respuesta de los participantes tras la entrevista personal; nivel alto, medio, bajo o nada de relajación. Se determina que una persona ha alcanzado un alto grado de relajación, si durante la visualización del vídeo basal la salida del sistema es mayoritariamente inhibición alta (-3), nivel medio si es inhibición media (-2), nivel bajo si es inhibición baja (-1) y relajación nula si es el estado cero (0). En la Tabla 6.3 aparecen los resultados de la FSM\_I para la detección de estados de relajación.

Los datos de la Tabla 6.3 reflejan un acierto de 1.000 de la FSM\_I para detectar estados de no relajación. La precisión para identificar estados de alta relajación es de 0.995, media de 0.981 y para baja de 0.959. Tras la lectura de los resultados, se puede concluir la bondad del sistema para identificar y clasificar estados de relajación, y sobre todo para detectar la no relajación de los sujetos.

**Tabla 6.3 Resultados del FSM\_I para estados de inhibición del SNA**

Estado	Clasif.	FSM_I			
	Manual	TP	FN	FP	F <sub>1</sub>
Relajación Alta	87	86	1	0	0.995
Relajación Media	52	50	2	0	0.981
Relajación Baja	12	11	1	0	0.959
Relajación Nula	15	15	0	0	1.000

Con objeto de robustecer la validación del algoritmo planteado, se han aplicado las máquinas de estados a la base de datos obtenida en el experimento II. Dicho experimento, igual que el anterior, comienza y termina con la proyección del video basal. El inicio de la prueba comienza guiando al participante hacia un estado de relajación, y posteriormente tal y como indica la segunda marca (A.M.), a recordarle un estado estrés o conflicto de su pasado. Por último la prueba termina ayudando al participante a resolver el problema y reconducirle a un estado de tranquilidad.

Como se puede observar en el ejemplo de la Figura 6.2, el sujeto llevado a estudio no llega a una óptima relajación durante los vídeos basales, hecho que se contrasta con los datos obtenidos tras la entrevista. El algoritmo detecta correctamente los hitos más significativos de la prueba, que son el comienzo de la misma (primera marca E.M.), el hecho de volver a revivir una situación conflictiva (segunda marca, A.M.), el hecho de tener que resolverlo (tercera marca A.B.) y la finalización de la prueba (cuarta marca A.B.)

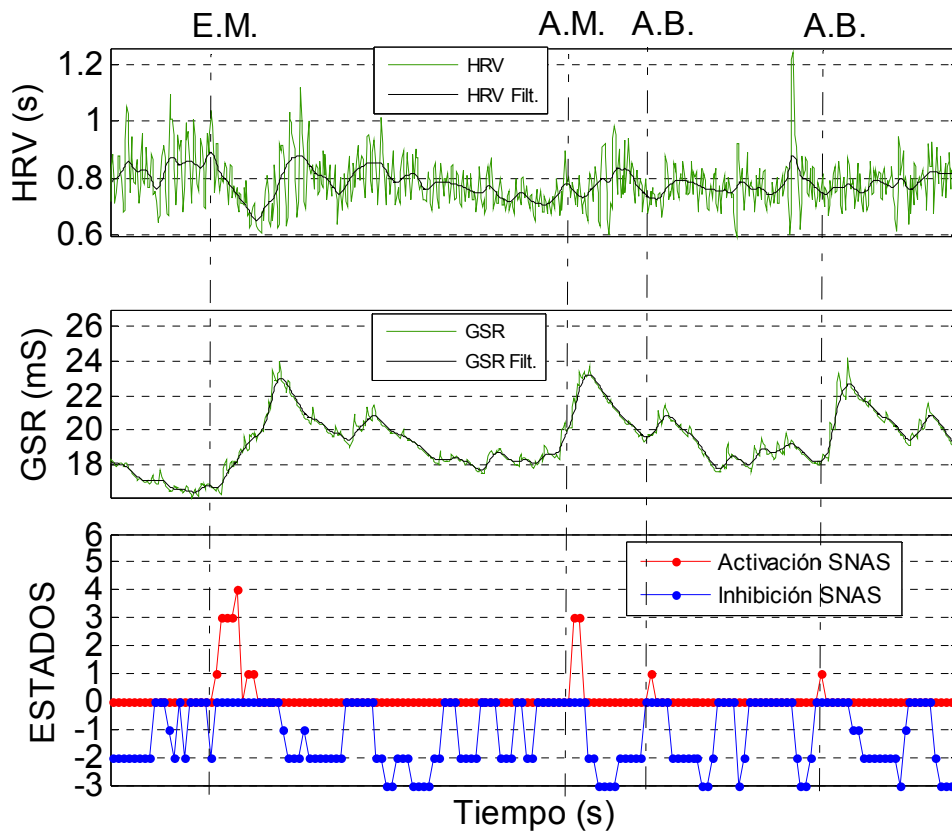


Figura 6.2 Señales fisiológicas de uno de los participantes del experimento II (visualización). La primera gráfica muestra la señal del HRV, la segunda el GSR y la tercer la salida de la máquina de estados FSM\_A en rojo, y FSM\_I en azul.

## 6.2 RESULTADOS DEL EXPERIMENTO IV

Para concluir este capítulo, se van a presentar los resultados obtenidos tras aplicar el algoritmo a todos los registros del experimento IV. Dicho experimento se diseñó para elicitación de estados emocionales de enfado, tristeza, bienestar, alegría, sorpresa, diversión y asco. Debido a la complejidad para identificar emociones concretas a partir de patrones fisiológicos, solo se han estudiado aquellas que tienen un patrón fisiológico más específico, que son: bienestar relacionado con estados de inhibición simpática, y sorpresa con los de activación.

La Figura 6.3 muestra la evolución de las señales fisiológicas de los sujetos durante la visualización de dos proyecciones compuestas por 5 películas cada una. En la parte de arriba de la figura queda representada la señal HRV, en el medio la GSR y en la última las salidas de la FSM\_A en rojo y de la FSM\_I en azul. En cada una de las gráficas están marcados en color fuxia, el inicio y la finalización de los vídeos neutros y el corte de película correspondiente.



En la Figura 6.3 (a) se ha marcado con un rectángulo negro la película “Delfín” elegida para elicitare bienestar, y en la Figura 6.3 (b) el corte “Capricornio” que provoca un susto.

Aunque no van a estudiarse el resto de emociones, se puede observar que en películas catalogadas por asco como “Autopsia” (primer corte de la Figura 6.3 (a)) y “Pink” (último corte de la Figura 6.3 (b)), y miedo como “Ring1” (tercer corte de la Figura 6.3 (a)) se detectan activaciones importantes del SNAS. El resto de emociones son más difíciles de desgranar, debido a la particularidad emocional de cada caso.

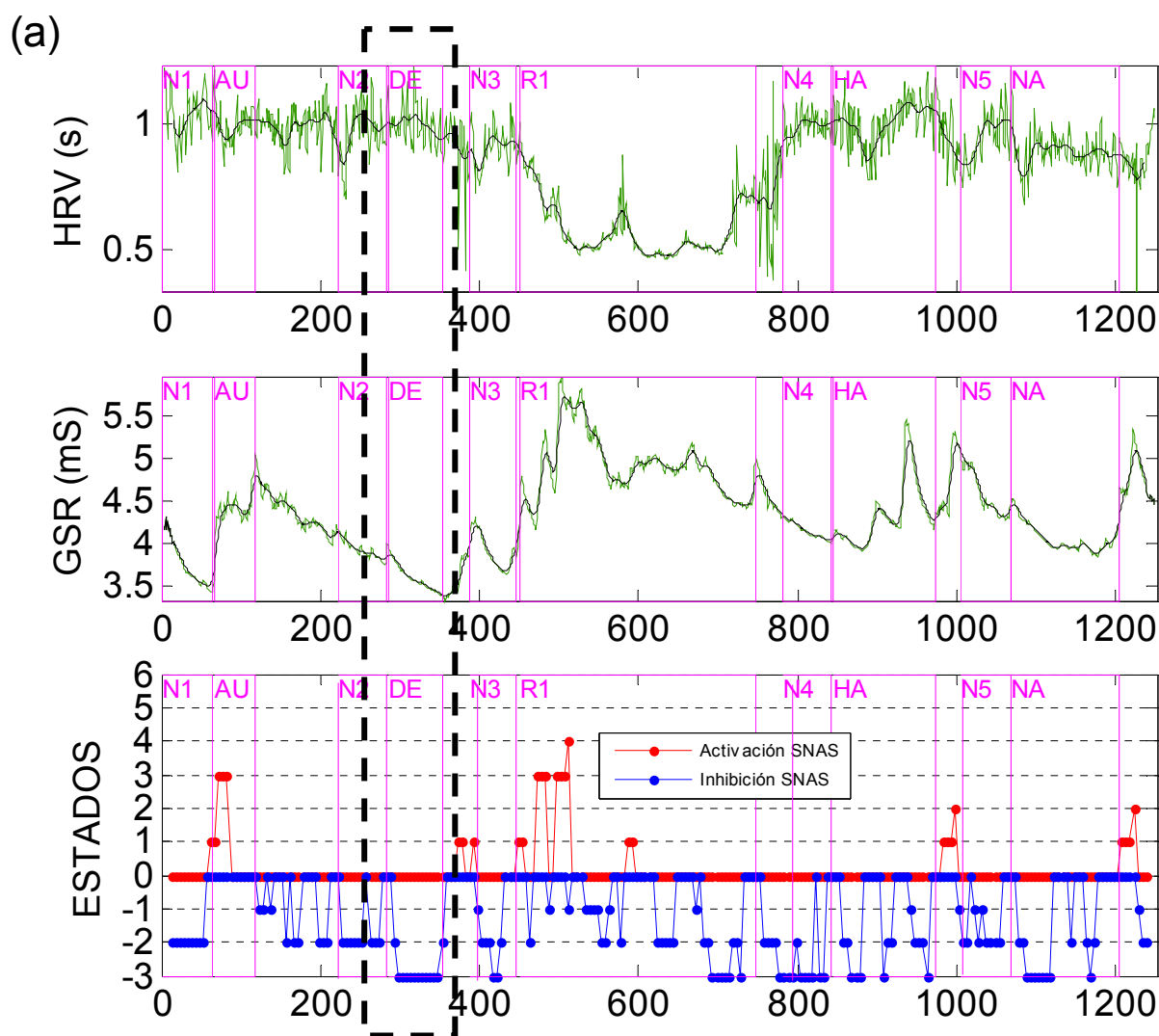


Figura 6.3 (a) Señales de dos de los participantes del experimento emocional, HRV arriba y GSR en medio. La salida de las FSM\_A (rojo) y FSM\_I (azul) se muestran al final de cada figura.

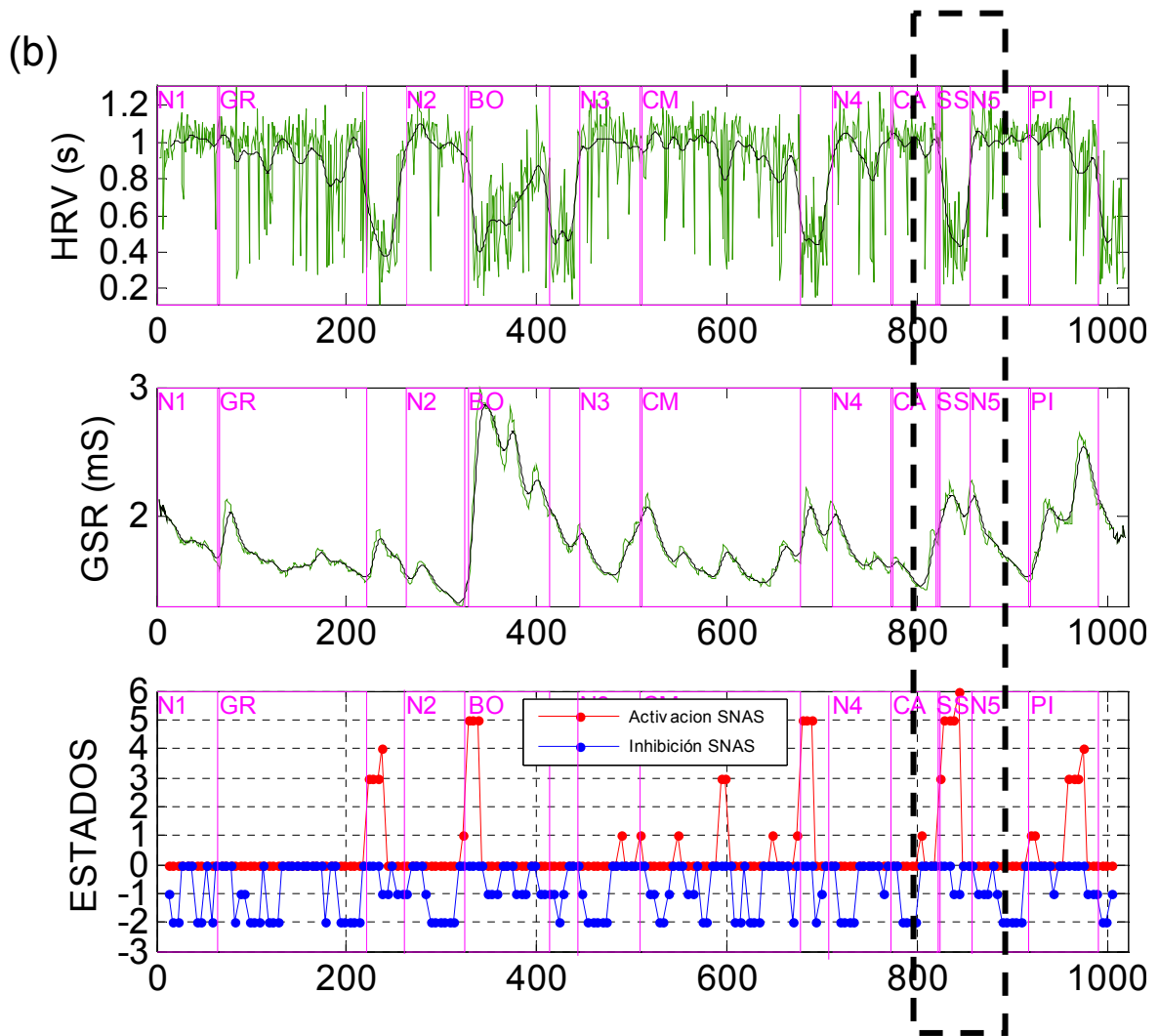


Figura 6.3 (b) Señales de dos de los participantes del experimento emocional, HRV arriba y GSR en medio. La salida de las FSM\_A (rojo) y FSM\_I (azul) se muestran al final de cada figura.

En la Tabla 6.4 aparecen los estados de bienestar y sorpresa clasificados de forma manual, y los resultados obtenidos tras aplicar el algoritmo a todos los registros. La precisión del sistema para detectar estados de bienestar ha sido de 0.987, mientras que para la emoción sorpresa ha sido de 1.

Tabla 6.4 Resultados del las maquinas de estados para la identificación emociones

Emoción	Clasif. Manual	FSM_A y FSM_I			
		TP	FN	FP	F <sub>1</sub>
Bienestar	19	17	2	0	0.987
Sorpresa	9	9	0	0	1.000

Como conclusión, se puede afirmar que el algoritmo, basado en máquinas de estado, diseñado para la detección y clasificación de diferentes estados emocionales, tiene un ratio de acierto mínimo de 0.942 y por lo tanto se puede afirmar la efectividad de dicho algoritmo.

## 7 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

---

*“Todo lo que nos irrita de los demás, nos puede ayudar a entendernos mejor a nosotros mismos.”*

Carl G. Jung



## 7.1 CONCLUSIONES

En este trabajo se ha propuesto el diseño de un sistema para la detección en tiempo real de la activación e inhibición del SNAS, relacionados con estados de estrés y cambios emocionales de relajación o tristeza sin lloro respectivamente. Dicho sistema además, es capaz de distinguir en un tiempo de 20/35 segundos 2 clases de activación diferentes graduadas en tres niveles cada una y 3 niveles de inhibición. Las entradas del sistema son las señales HRV y GSR, debido a que son señales que proporcionan la información necesaria del funcionamiento del sistema nervioso y además se pueden recoger de forma no intrusiva. La arquitectura del sistema recoge una solución innovadora basada en dos máquinas de estado, una para la identificación de estados de activación, otra para la de inhibición.

Con el objetivo de elicitar diferentes estados emocionales en laboratorio y obtener una base de datos de estudio lo más completa posible, se han diseñado varios experimentos. El primero se ha utilizado para diseñar el algoritmo y los demás para comprobar la bondad del sistema y robustecerlo.

Dado que es en el primer experimento, sobre el cual se realizaron los análisis, se hizo especial hincapié en diseñarlo de forma que se acercara lo mejor posible a una situación real de estrés. Para ello, se propuso que los participantes resolvieran un puzle en 3D en un tiempo determinado y con diversos objetivos marcados. Las 166 respuestas de los participantes se analizaron a través de tres tipos de evaluación emocional: notas y marcas, el cuestionario SAM y una entrevista. Las marcas fueron introducidas durante la adquisición de los datos en episodios específicos como el inicio y fin del vídeo de relajación y la prueba, la caída de una pieza del puzle, etc., permitiendo así poder identificar en el instante concreto cada uno de los eventos y asociar patrones psicofisiológicos .

En un primer análisis, donde se estudió el comportamiento temporal de la GSR y HRV, junto con las marcas y comentarios introducidos durante el registro sumado a las respuestas de los sujetos en el cuestionario y entrevista, se observaron diferentes niveles de activación e inhibición inter e intra-sujeto. Este resultado confirma la hipótesis de Erazo y Nisenbaum (2005) sobre la individualidad de las emociones.

Esto dio lugar a un análisis más profundo de la evolución temporal de las señales con el propósito de identificar distintos estados de activación e inhibición simpática. Tras el análisis de la activación del SNAS, se ha podido definir seis estados: "Alerta Baja (A.B.)", "Alerta Media

(A.M.), “Alerta Alta (A.A.)”, “Estrés Bajo (E.B.)”, “Estrés Medio (E.M.)” y “Estrés Alto (E.A.)”. El impacto emocional causado por el estresor queda cuantificado por el nivel de activación (bajo, medio o alto) y su duración en el tiempo por la etiqueta de estrés o la alarma. A partir del análisis de la inhibición del SNAS, se ha llegado a identificar tres niveles de no-activación simpática definiendo tres estados distintos: “Inhibición Baja (I.B.)”, “Inhibición Media (I.M.)” e “Inhibición Alta (I.A).”

Para diseñar un sistema capaz de detectar en tiempo real y de forma automática los estados definidos anteriormente, se ha construido un sistema basado en FSM. La entrada para el sistema es una ventana de 20-s con desplazamiento de 5-s.

Cabe destacar que las características extraídas del GSR y HRV son totalmente novedosas y de cálculo sencillo; siendo estas: la pendiente de las señales y el área de la diferencia entre la GSR y su aproximación polinomial a una recta. Estos aspectos hacen que el sistema sea adecuado para la detección de estados emocionales en tiempo real y su integración en un dispositivo final.

El rendimiento del sistema propuesto ha sido evaluado por medio de la media  $F_1$ -score, consiguiendo valores de 0,984, 0,970 y 0,942 para estados de activación alta, media y baja respectivamente. Cabe destacar que el mejor rendimiento del sistema se consigue en estados de activación alta y media, que son los más críticos para la seguridad del sujeto. Para estados de relajación, el sistema ha conseguido una precisión de 0.995 para niveles altos, 0.981 para medios, 0.959 para bajos y 1.000 para relajación nula. Por último se ha evaluado la eficacia del sistema como herramienta para la detección de emociones, consiguiendo una precisión de 1.000 para la sorpresa y 0.981 para el bienestar.

En conclusión, y a modo de síntesis, una vez observados los resultados de este estudio se puede afirmar que las FSM diseñadas son capaces de detectar, clasificar y graduar diferentes estados emocionales relacionados con la excitación o no del sistema nervioso simpático a través del análisis de las señales GSR y HRV. El hecho de que las señales utilizadas puedan ser medidas de modo no intrusivo, permite pensar en la realización de un prototipo portable y no. Además, debido a que el algoritmo diseñado es capaz de clasificar los estados emocionales únicamente con dos características temporales de las señales de poco gasto computacional, facilita el desarrollo de la implantación del sistema en tiempo real.

## 7.2 LÍNEAS FUTURAS

El trabajo realizado ha permitido detectar una serie de líneas de interés para futuros trabajos de investigación. De estas líneas cabe destacar las siguientes:

- La búsqueda de patrones emocionales utilizando técnicas de clasificación.
- Estudiar la correlación de la señal HRV con señales senoidales para poder diferenciar la emoción de bienestar respecto de la tristeza sin lloro.
- El análisis de estados de estrés positivo, mediante patrones de cambio ascendente tanto en la señal GSR como en la HRV.

## 7.3 CONTRIBUCIONES

### 7.3.1 ARTÍCULOS EN PUBLICACIONES INDEXADAS

En revisión:

**1. *A Real-Time Stress Classification System based on Arousal Analysis of the Nervous System by an F-State Machine***

Autores

Martínez, R., Irigoyen, E., Arruti, A., Martín, J. I., y Muguerza, J.

Publicación

Nombre de la revista: Annals of Biomedical Engineering

ISSN: 0090-6964

JCR: 3.195

**2. *An Enhanced Fuzzy Algorithm based on Advanced Signal Processing for Identification of Stress***

Autores

Salazar-Ramirez, A., Irigoyen, E., Martínez, R., and Zalabarria, U.

Publicación

Nombre de la revista: Neurocomputing

ISSN: 0925-2312

JCR: 2.083

**3. *A new proposal of a Spanish audiovisual database for eliciting and classifying human emotions***

Autores

Martínez, R., Irigoyen, E., Asla, N., Fajardo, I.



Publicación

Nombre de la revista: Behavioral Research Methods

ISSN: 1554-3528

JCR: 2.928

### 7.3.2 ARTÍCULOS EN PUBLICACIONES NO INDEXADAS

#### 1. *Enhancements for a robust fuzzy detection of stress*

Autores

Salazar-Ramírez, A.; Irigoyen, E.; Martínez, R.

Publicación

**D.O.I.: 10.1007/978-3-319-07995-0\_23**

**ISSN: 2194-5357**

Nombre de la revista: Advances in Soft Computing; Soft Computing Models in Industrial and Environmental Applications, 9th International Conference

Volumen: 299

Páginas: 229-238

Editorial: Springer International Publishing

Año publicación: 2014

Indicios de calidad

La publicación se encuentra en el cuartil Q4 (184/234), categoría Computer Science (miscellaneous), Base de Datos "SCImago JCR".

Índices en 2014: H.Index: 14; SJR indicator: 0.149; Cites per Doc (2years): 0.135.

Esta publicación indica en su prefacio que la aceptación de los artículos publicados sigue un estricto proceso de evaluación externa por pares. Además, la gestión del proceso de revisión recae en un comité científico internacional, con un alto factor de rechazo de artículos en base a las directrices de calidad exigidas. Todos los artículos son de carácter científico y de alta relevancia en el área.

#### 2. *Automatic Evaluation of Emotion Elicitation oriented to people with intellectual disabilities*

Autores

Raquel Martínez, Eloy Irigoyen, Karmele López de Ipiña, Nagore Asla

Congreso

Título del Congreso: 15th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation

Lugar: Bilbao, España

Fecha: 13-16/09/2010

Publicación

**DOI: 10.1109/ETFA.2010.5641345**

**ISSN: 1946-0740**

Páginas: 1-8

Indicios de calidad

IEEEExplore indica en su web que la aceptación de los artículos publicados sigue un estricto proceso de evaluación externa por pares. Además, la gestión del proceso de revisión recae en un comité científico internacional, con un alto factor de rechazo de artículos en base a las directrices de calidad exigidas. Todos los artículos son de carácter científico y de alta relevancia en el área.

**“Conference publications:**

IEEE produces cutting-edge conference publications in various technology areas that are recognized by academia and industry worldwide. Articles submitted for publication follow a paper selection process and are **peer-reviewed before they are published.**”

link: [http://www.ieee.org/conferences\\_events/index.html](http://www.ieee.org/conferences_events/index.html)

Publicación on-line IEEE xplore:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?reload=true&arnumber=5641345>

**3. *Hybrid Approach for Automatic Evaluation of Emotion Elicitation Oriented to People with Intellectual Disabilities***

Autores

Martínez R, de Ipina KL, Irigoyen E, Asla, N.

Congreso

Título del Congreso: [CORE C] 5th International Conference on Hybrid Artificial Intelligence Systems

Lugar: San Sebastián, España

Fecha: 23-25/06/2010

Publicación

**DOI: 10.1007/978-3-642-13769-3\_35**

**ISSN: 0302-9743**

Volumen: 6076

Páginas: 286-293

Indicios de calidad

La publicación se encuentra en el cuartil Q2 (79/234), categoría Computer Science (miscellaneous), Base de Datos "SCImago JCR".

Índices en 2010: H.Index: 128; SJR indicator: 0.329; Cites per Doc (2years): 0.51.

Esta publicación indica en su prefacio que la aceptación de los artículos publicados sigue un estricto proceso de evaluación externa por pares. Además, la gestión del proceso de revisión recae en un comité científico internacional, con un alto factor de rechazo de artículos en base a las directrices de calidad exigidas. Todos los artículos son de carácter científico y de alta relevancia en el área.

**4. *Emotion Elicitation Oriented to the Development of a Human Emotion Management System for People with Intellectual Disabilities***

AUTORES

Autores: R. Martínez, K. López de Ipiña, E. Irigoyen, N. Asla, N. Garay, A. Ezeiza, and I. Fajardo

CONGRESO

Congreso: [CORE C] 8th International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems

Lugar: Salamanca, España

Fecha: 26-28/04/2010

PUBLICACIÓN

**DOI: 10.1007/978-3-642-12433-4\_81**

**ISSN: 1867-5662**

Volumen: 71

Página desde: 689-696

### INDICIOS DE CALIDAD

En esta publicación la aceptación de los artículos publicados sigue un estricto proceso de evaluación externa por pares, como es habitual en la serie de congresos internacionales PAAMS. Además, la gestión del proceso de revisión recae en un comité científico internacional, con un alto factor de rechazo de artículos en base a las directrices de calidad exigidas. Todos los artículos son de carácter científico y de alta relevancia en el área. Prueba de ello es el ofrecimiento que hacen en cada edición revistas con índice de impacto indexado (JCR), para la publicación de los trabajos más relevantes.

### **7.3.3 CONGRESOS INTERNACIONALES**

Martínez, R., de Ipiña, K. L., Irigoyen, E., Asla, N., Garay, N., Ezeiza, A., & Fajardo, I. (2010). **Emotion elicitation oriented to the development of a human emotion management system for people with intellectual disabilities**. In Trends in Practical Applications of Agents and Multiagent Systems (pp. 689-696). (ISBN-10: 1904761860).

Martínez, R., de Ipiña, K. L., Irigoyen, E., & Asla, N. (2010). **Hybrid approach for Automatic Evaluation of Emotion Elicitation oriented to people with intellectual disabilities**. In *Hybrid Artificial Intelligence Systems* (pp. 286-293). (ISBN 978-3-642-13768-6).

Martínez R., Irigoyen E., López de Ipiña K., Asla N ., Garay N. (2009) **Diseño de un Gestor de Emociones para la Mejora de un Tutor Inteligente Dirigido a la Integración de Personas con Discapacidad Intelectual**. II Congreso Internacional de Inteligencia Emocional, España Santander. (ISBN: 978-84-96655-50-8).

Martínez, R., de Ipiña, K. L., Irigoyen, E., & Asla, N. (2010). **Automatic Evaluation of Emotion Elicitation oriented to people with intellectual disabilities**. In Emerging Technologies and Factory Automation (ETFAs), 2010 IEEE Conference on (pp. 1-8). IEEE. BILBAO. (ISBN 10: 9979548673)

Martínez, R., Irigoyen, E., Asla, N., Arruti A., (2012) **First results in modeling stress situation by analyzing physiological human signals**. IADIS Multi Conference on Computer Science and Information System e-Heath Lisboa.

Salazar-Ramirez, A., Irigoyen, E., & Martinez, R. (2014). **Enhancements for a Robust Fuzzy Detection of Stress**. In International Joint Conference SOCO'14-CISIS'14-ICEUTE'14 (pp. 229-238). ( ISBN 978-3-319-07995-0)

### **7.3.4 CONGRESOS NACIONALES**

Martínez, R., Irigoyen, E., Asla, N., Arruti A., Shaykevi A. (2012). **Identificación de patrones de estrés a través de la correlación y análisis del ECG y GSR**. Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica. San Sebastián

Martínez, R., Irigoyen, E., Asla, N., Arruti A., (2012) **Primeros resultados en la correlación de señales fisiológicas en personas sometidas a situaciones de estrés**. Etorbizi Bilbao.

## REFERENCIAS

---



---

## REFERENCIAS

- Bard, P. (1934). On emotional expression after decortication with some remarks on certain theoretical views: Part II. . *Psychological Review*, 41(5) , 424.
- Barr, M., & Isoard, J. (2000). *El sistema nervioso humano: un punto de vista anatómico*.
- Belli, F. (2001). Finite State Testing and Analysis of Graphical User Interfaces. in *Proc. of the 12th International Symposium of Software Reliability Engineering*, (págs. 34-43).
- Benedek, M., & Kaernbach, C. (2010). Decomposition of skin conductance data by means of. *Psychophysiology*, 47(4) , 647-658.
- Benedek, M., & Kaernbach, C. (2010). Decomposition of skin conductance data by means of nonnegative deconvolution. *Psychophysiology*, 47 , 647-658.
- Bishop, C. (1996). *Neural Networks for Pattern Recognition*. Oxford: Oxford Clarendon Press,.
- Bower, G. (1986). Affect and cognition. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 302B , 387-402.
- Bradley, M., & Lang, P. (1999). Affective norms for English words (ANEW): Instruction manual and affective ratings. *Technical Report C-1, The Center for Research in Psychophysiology, University of Florida* , 1-15.
- Bradley, M., & Lang, P. (1999a). *Affective norms for English words (ANEW): Instruction manual and affective ratings*. Gainesville, FL: Center for Research in Psychophysiology, University of Florida.
- Bradley, M., & Lang, P. (2007). *The International Affective Digitized Sounds (; IADS-2): Affective ratings of sounds and instruction manual*. University of Florida, Gainesville, FL, Tech. Rep. B-3.
- Burnstock, G. (1992). *Autonomic neuroeffector mechanisms*. Taylor & Francis.
- Butler, D. (2002). *Movilización del sistema nervioso*. Editorial Paidotribo.
- C.G., L. (1885). The mechanism of the emotions. The classical psychologist, 672-685. *The classical psychologist* , 672-685.



- Cacioppo, J. T., Tassinary, L. G., & Berntson, G. (2007). *Handbook of psychophysiology*. Cambridge University Press.
- Cannon, W. (1935). Stresses and strains of homeostasis. *The American Journal of the Medical Sciences* , 13-14.
- Cannon, W. (1927). The James-Lange theory of emotions: A critical examination and an alternative theory. *The American Journal of Psychology* , 106-124.
- Cannon, W. (1911). The receptive relaxation of the stomach. *American Journal of Physiology--Legacy Content*, 29(2) , 267-273.
- Cantero, F. P. (2003). La emoción desde el modelo biológico. *REME*, 6(13) , 5.
- Carney, R., Freedland, K., & Veith, R. (2005). Depression, the autonomic nervous system, and coronary heart disease. *Psychosomatic medicine*, 67 , S29-S33.
- Casado, C., & Colomo, R. (2006). Un breve recorrido por la concepción de las emociones en la filosofía occidental. *A parte rei. Revista Filosofía*, 47 , 1-10.
- Chóliz, M. (2005). Psicología de la emoción: el proceso emocional. *Links* .
- Christie, I., & Friedman, B. (2004). Autonomic specificity of discrete emotion and dimensions of affective space: A multivariate approach. *International Journal of Psychophysiology*, 51 , 143-153.
- Chwalisz, K., Diener, E., & Gallagher, D. (1988). Autonomic arousal feedback and emotional experience: evidence from the spinal cord injured. *Journal of personality and social psychology*, 54(5) , 820.
- Coan, J., & Allen, J. (2007). *The handbook of emotion elicitation and assessment*. New York: Oxford University Press.
- Cosmides, L. T. (1992). Cognitive adaptations for social exchange. *The adapted mind* , 163-228.
- Cosmides, L., & Tooby, J. (1992). Cognitive adaptations for social exchange. *The adapted mind* , 163-228.

- 
- Costaa, T., Rognonib, E., & Galatia, D. (2006). EEG phase synchronization during emotional response to positive and negative film stimul. *Neuroscience Letters*. Volume 406, Issue 3 , 159-164.
- Damasio, A. (2010). *Y el cerebro creó al hombre*. Barcelona: Destino.
- Darwin, C. (1859). *On the origin of the species by natural selection*.
- Darwin, C. (1972). *The Expression of the Emotions in Man and Animals*. Chicago: University of Chicago Press.
- de Helsinki, D. (1964). *Asociación médica mundial. Principios éticos para la investigación médica con sujetos humanos. Adoptada por la XVII Asamblea Mundial de la Asociación Médica Mundial. Helsinki, Finlandia*.
- De Meijer, M. (1989). The contribution of general features of body movement to the attribution of emotions. *Journal of Nonverbal behavior*, 13(4) , 247-268.
- de Santos Sierra, A., Casanova, J., & Pozo, G. (2011). , A., Ávila, C. S., Casanova, J. G., & Pozo, G. B. D. (2011). A stress-detection system based on physiological signals and fuzzy logic. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 58(10) , 4857-4865.
- de Vries, G., Pauws, S., & Biehl, M. (2015). Insightful stress detection from physiology modalities using learning vector quantization. *Neurocomputing* 151 , 873–88.
- Dimberg, U., & Thunberg, ,. M. (2007). Speech anxiety and rapid emotional reactions. *Scandinavian Journal of Psychology* 48 , 321-328.
- Ekman, P. (1992). An argument for basic emotions. *Cognition & emotion*, 6(3-4) , 169-200.
- Ekman, P. (1993). Facial expression and emotion. *American psychologist*, 48(4) , 384.
- Ekman, P., & Friesen, W. (1978). *Facial Action Coding System: Investigatoris Guide*. Consulting Psychologists Press.
- Emerson, E., Moss, S., & Kiernan, C. (1999). The relationship between challenging behaviour and psychiatric disorders in people with severe developmental disabilities. *Psychiatric and behavioural disorders in developmental disabilities and mental ritardi* , 38-48.

Erazo, L., & Nisenbaum, I. (2005). *Psicología clínica de la salud: un enfoque conductual*. UNAM .

Ezeiza, A., Garay, N., López de Ipiña, K., & Soraluze, A. (2008). Ethical Issues on the Design of Assistive Technology for people with mental disabilities. *In International Conference on Ethics and Human Values in Engineering*, (págs. 75-84).

Frijda, N. (1986). *The emotions: Studies in emotion and social interaction*. Paris: Maison de Sciences de l'Homme.

Geddes, L. (1984). *Cardiovascular devices and their applications*. New York: John Wiley & Sons.

Gibson, J., Adams, C., Lockton, E., & Green, J. (2013). Social communication disorder outside autism? A diagnostic classification approach to delineating pragmatic language impairment, high functioning autism and specific language impairment. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* , 1186-1197.

Gilet, A. (2008). Mood induction procedures: A critical review. *L'encéphale*, 34 , 233-239.

Goleman. (1995). *Emotion intelligence NY*. New York: Bantam.

Goleman, D. (2010). *Inteligencia Emocional*. Barcelona: Kairós.

Gross, J., & Levenson, R. (1995). Emotion elicitation using films . *Cognition & emotion*,9(1) , 87-108.

Haggeman, D., Seifert, J., Gollwitzer, M., Naumann, M., & Bartussek, D. (2005). A revised films set for the induction of basic emotions. *Cognition and Emotion*, 19 (7) , 1095-1109.

Hamann, S. B., Ely, T. D., Grafton, S. T., & Kilts, C. D. (1999). Amygdala activity related to enhanced memory for pleasant and aversive stimuli. *Nature neuroscience*, 2(3) , 289-293.

Hastings, P., Nuselovici, J., Klimes-Douga, B., Kendziora, K., Usher, B., Ho, M., y otros. (2009). Dysregulated coherence of subjective and cardiac emotional activation in adolescents with internalizing and externalizing problems. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 50:11 , 1348–1356.

- 
- Healey, J., & Picard, R. (2005). Detecting stress during real-world driving tasks using physiological sensors. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 6(2) , 156-166.
- Hewig, J., Haggeman, D., Seifert, J., Gollwitzer, M., Naumann, E., & Bartussek, D. (2005). A revised films set for the induction of basic emotions. *Cognition and Emotion*, 19 (7) , 1095-1109.
- Holland, J. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press,.
- Hong, P., Turk, M., & Huang, T. (2000). Gesture Modeling and Recognition Using Finite State Machines. in *Proc. of the 4th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, (págs. 410-415).
- James, W. (1884). What is an emotion? *Mind*, (34) , 188-205.
- Jänig, W., & Häbler, H. (2000). Sympathetic nervous system: contribution to chronic pain. *Progress in brain research*, 129, , 451.
- Jänig, W., & McLachlan, E. (1992). Characteristics of function-specific pathways in the sympathetic nervous system. *trends in neurosciences*, 15(12) , 475-481.
- Kassam, K., Markey, A., Cherkassky, V., Loewenstein, G., & Just, M. (2013). Identifying emotions on the basis of neural activation.
- Kecman, V. *Learning and soft computing: support vector machines, neural networks, and fuzzy logic models*. MIT press.
- Kim, S., Manocha, D., & Lin, M. (2012). Interactive simulation of dynamic crowd behaviors using general adaptation syndrome theory. *ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games*, (págs. 55-62). ACM.
- Koelsch, S. (2014). Brain correlates of music-evoked emotions. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(3) , 170-180.
- Kreibig, S. (2010). Autonomic nervous system activity in emotion: A review. *Biological psychology*, 84(3) , 394-421.

- Kreibig, S. D. (2010). Autonomic nervous system activity in emotion: A review. *Biological psychology* , 84(3), 394-421.
- Lang, P. (1979). A bio-informational theory of emotional imagery. *Psychophysiology*, 16 , 495-512.
- Lang, P. (1968). *Fear reduction and fear behavior: Problems in treating a construct*. Washington,: In J. M. Shlien (Ed.), *Research in psychotherapy*.
- Lang, P. (1980). *Self-assessment manikin*. Gainesville, FL:: The Center for Research in Psychophysiology, University of Florida.
- Lang, P., Bradley, M., & Cuthbert, B. (1999). *The International Affective Picture System: Digitized photographs*. Gainesville:University of Florida, NIMH Center for the Study of Emotion and Attention.
- Lange, C. (1885). The mechanism of the emotions. *The classical psychology* , 672-685.
- Lazarus, R. (1991). Cognition and motivation in emotion. *American psychologist*, 46(4) , 352.
- Lazarus, R. (1984). *On the primacy of cognition*.
- LeDoux, J. E. (1986). The neurobiology of emotion. *Mind and brain: Dialogs in cognitive neuroscience* , 301-354.
- LeDoux, J. (2000). Emotion circuits in the brain. *Annual Review of Neuroscience*, 23 , 155-184.
- LeDoux, J. (1986). The neurobiology of emotion. Mind and brain. *Dialogs in cognitive neuroscience* , , 301-354.
- Leupoldt, A., Rohde, J., Beregova, A., Thordsen-Sörensen, I., Nieden, J., & Dahme, B. (2007). Films for eliciting emotional states in children. *Behavior Research Methods 2007*, 39 (3) , 606-609.
- Low, P. (2008). *Clinical autonomic disorders*. IMO Publishing.
- Luria, A. (1980). *Fundamentos de neurolingüística*.

- 
- MacLean, P. (1949). Psychosomatic disease and the "visceral brain": Recent developments bearing on the Papez theory of emotion. *Psychosomatic Medicine*, 11 , 338-353.
- Malik, M. (1998). Heart rate variability. *Current opinion in cardiology*, 13(1) , 36-44.
- Marci, C., Glick, D., Loh, R., & Dougherty, D. (2007). Marci, C., Glick, D., Loh, R., y Dougherty, D. Autonomic and prefrontal cortex responses to autobiographical recall of emotions. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 7 , 243-250.
- Mayer, J., Allen, J., & Beauregard, K. (1995). Mood inductions for four specific moods: A procedure employing guided imagery vignettes with music. *Journal of Mental Imagery*, 19 , 133-150.
- McCorry, L. K. (2007). Physiology of the autonomic nervous system. *American journal of pharmaceutical education*, 71(4) .
- McHugo, G., Smith, C., & Lanzetta, J. (1982). The structure of self-reports of emotional responses to film segments. *Motivation and Emotion*, 6 , 365-385.
- Megías, C., Mateos, J., Ribaudi, F., & Fernández-Abasca, E. (2011). Megías, C. F., Mateos, J. C. P., Ribaudi, J. S., & Fernández-Abascal, E. G. (2011). Validación española de una batería de películas para inducir emociones. *Psicothema*, 23(4) , 778-785.
- Mehrabian, A., & Russell, J. (1974). *An approach to environmental psycholog.* . the MIT Press.
- Molto, J., Montañés, S., Segarra, P., Pastor, M., & Tormo, M. (1999). Un nuevo método para el estudio experimental de las emociones: El international affective picture system (IAPS). Adaptación española. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 52 , 55-87.
- Morris, C., & Maisto, A. (2005). *Introducción a la Psicología.* . Pearson Educación.
- Nasoz, F., Alvarez, K., Lisetti, C., & Finkelstein, N. (2004). Emotion recognition from physiological signals using wireless sensors for presence technologies. *Cognition, Technology & Work*, 6(1) , 4-14.
- Navarro, X. (2002). Fisiología del sistema nervioso autónomo. *Revista Neurológica*, 35 , 553-562.

Osgood, C., Suci, G., & Tannenbaum, P. (1957). *The measurement of meaning*. Urbana IL: University of Illinois.

Papez, J. (1937). A proposed mechanism of emotion. *Archives of Neurology and Psychiatry*, 38 , 725-743.

Peng, J., Zhang, Y., & Wang, L. (2010). Artificial intelligence in biomedical engineering and informatics: An introduction and review. *Journal of Artificial Intelligence in Medicine* , 71-73.

Philippot, P. (1993). Inducing and assessing differentiated emotion-feeling states in the laboratory. *Cognition and Emotion*, 7 , 171-193.

Picard, R., & Picard, R. (1997). *Affective computing*. Cambridge: MIT press.

Plutchik, R. (1980). *Emotion: A psychoevolutionary synthesis*. Harpercollins College Division.

Ramos, M., Rovira, C., Umfuhrer, L., & Urbina, E. (2001). SISTEMA NERVIOSO AUTONOMO, Revisión. *Revista de Posgrado de la Cátedra Via Medicina* , 1-7.

Redondo, J., Fraga, I., & Padron, I. (2008). Affective ratings of sound stimuli. *Behavior Research Methods*, 40 (3) , 784-790.

Ren, P., Barreto, A., Huang, J., Gao, Y., Ortega, F., & Adjouadi, M. (2014). Off-line and on-line stress detection through processing of the pupil diameter signal. *Annals of biomedical engineering*, 42(1) , 162-176.

Rulicki, S., & Cherny, M. (2012). *Comunicación no verbal: cómo la inteligencia emocional se expresa a través de los gestos*. Ediciones Granica.

Salomaa, A. (1969). *Theory of Automata*. New York: Pergamon Press.

Sathar, S., Trew, M., Du, P., O'Grady, G., & Cheng, L. (2013). A Biophysically Based Finite-State Machine Model for Analyzing Gastric Experimental Entrainment and Pacing Recordings. *Annals for Biomedical Engineering*, vol. 42, no. 4 , 858-870.

Sato, W., Noguchi, M., & Yoshikawa, S. (2007). Sato, W., Noguchi, M., and Yoshikawa S. (2007), Emotion Elicitation Effect of Films in a Japanese Sample. *SOCIAL BEHAVIOR AND PERSONALITY*, 35 (7) , 863-874.

- 
- Schachter, S., & Singer, J. (1962). Cognitive, social, and physiological determinants of emotional state. *Psychological review*, 69(5) , 379.
- Selye, H. (1978). On the real benefits of eustress. *Psychology Today*, 11 , 60-70.
- Selye, H. (1946). The general adaptation syndrome and the diseases of adaptation. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 6(2) , 117-230.
- Selye, H. (1956). *The stress of life*.
- Sharma, N., & Gedeon, T. (2014). Modeling a stress signal. . *Applied Soft Computing*, 14 , 53-61.
- Snell, R. (2007). *Neuroanatomía clínica*. Médica Panamericana.
- Stemmler, G., Aue, T., & Wacker, J. (2007). Anger and fear: separable effects of emotion and motivational direction on somatovisceral responses. *International Journal* , 141-153.
- Stemmler, G., Wacker, T., & Wacker, J. (2007). Anger and fear: Separable effects of emotion and motivational direction on somatovisceral responses. *International Journal of Psychophysiology*, 66(2) , 141-153.
- Sutherland, G., Newman, B., & Raciman, S. (1982). Sutherland, G., Newman, B., & Raciman, S. (1982). Experimental investigations of the relationship between mood and intrusive unwanted cognitions. *British Journal of Medical Psychology*, 55 , 127-138.
- Thayer, J., Yamamoto, S., & Brosschot, J. (2010). The relationship of autonomic imbalance, heart rate variability and cardiovascular disease risk factors. *International journal of cardiology*, 141(2) , 122-131.
- Vapnik, V. (1998). *Statistical Learning Theory*. John Wiley & Sons, Inc .
- Velten, E. (1968). A laboratory task for the induction of mood states. *Behaviour Research and Therapy*, 6 , 473-482.
- Webster, J. (1992). *Medical instrumentation. Application and design*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- Wenge, M., Jones, F. M., & Jones, M. (1962). *Emotional behavior*. Emotion: Bodily change. Princeton, NJ: Van Nostrand .
- Wukmir, V. (1967). *Emoción y sufrimiento: endoantropología elemental. Labor*.



Wundt, W. (1896). *Compendio de psicología*. La España Moderna.

Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. . *Information and control*, 8(3) , 338-353.

Zhai, J., & Barreto, A. (2006). Stress detection in computer users based on digital signal processing of noninvasive physiological variables. *In Engineering in Medicine and Biology Society*, . *EMBS'06. 28th Annual International Conference of the IEEE* , (págs. 1355-1358).

Zhai, Y., Rasheed, Z., & Shah, M. (2005). Semantic Classification of Movie Scenes using Finite State Machines. *IEE Proceedings (Vision, Image and Signal Processing)*, vol. 156, no. 6 , 896-901.

## **SIGLAS Y ACRÓNIMOS**

---



## **SIGLAS Y ACRÓNIMOS**

**AU** - *Action Unit*

**AV** - *Aurículo-ventricular*

**BD** – *Base de datos*

**CDE** – *Cuestionario de Emociones Discretas*

**CNV** – *Comunicación No Verbal*

**ECG** – *Electrocardiograma*

**fMRI** - *Imágenes por Resonancia Magnética Funcional*

**GSR** – *Galvanic Skin Response*

**H2020** - *Horizonte 2020*

**HRV** – *Heart Rate Variability*

**FN** - *False Negative*

**FP** - *False Positive*

**FSM** – *Finite State Machine*

**M** - *Media*

**NA** - *Noradrenalina*

**P** – *Precisión*

**pHRV** – *Pendiente de la señal HRV*

**pGSR** – *Pendiente de la señal GSR*

**PA** – *Multiplicación de pHRV\*pGSR*

**R** – *Recall*

**SA** – *Sinusal*

**SAM** - *Self-Assessment Manikin*

**SCR** - *Skin Conductance Response*

*Acrónimos.*

---

**SD** – *Desviación Estándar*

**SGA** – *Síndrome General de Adaptación*

**SN** – *Sistema Nervioso*

**SNA** - *Sistema Nervioso Autónomo*

**SNAP** – *Sistema Nervioso Autónomo Parasimpático*

**SNAS** – *Sistema Nervioso Autónomo Simpático*

**SNC** – *Sistema Nervioso Central*

**SNP** – *Sistema Nervioso Periférico*

**TP** - *True Positive*