

## **3.- Reconocimiento de estados emocionales**

### **3.1.- Biosensores**

Como se mencionó previamente, las emociones producen diferentes cambios en la actividad fisiológica del cuerpo, por ejemplo, la furia y el miedo pueden incrementar la frecuencia cardíaca, el estrés puede variar la conductividad de la piel y la tristeza y la relajación pueden reducir los niveles del volumen de pulso sanguíneo. Gracias a estas manifestaciones es posible incorporar sensores al cuerpo para registrar diversas señales que puedan indicar estados emocionales.

El uso de biosensores como medio de reconocimiento de emociones presenta ciertas ventajas con respecto a los métodos de detección de expresiones faciales, voz y postura del cuerpo. Por ejemplo, dado que los biosensores cada día se hacen más pequeños, pueden pasar desapercibidos para los usuarios haciendo que se puedan expresar emociones de forma natural, se pueden adquirir datos continuamente, no hay problemas con ocultar emociones ya que los biosensores detectan la actividad fisiológica que es involuntaria, no requieren cumplir características de iluminación, y son robustos frente a los sonidos o ruidos. Esto hace que, aunque los biosensores requieran contacto físico con el usuario, sea más fácil identificar estados emocionales en condiciones normales.

Sin embargo, el reconocimiento de emociones usando señales adquiridas con biosensores es difícil por varias razones. En primer lugar, las señales fisiológicas no sólo indican estados emocionales sino que también modulan estados cognitivos, la salud del cuerpo, reacciones al ambiente, etc. Por otro lado, las respuestas fisiológicas del cuerpo varían de persona a persona por lo que es muy difícil desarrollar sistemas multiusuario. Además, ya que las emociones están asociadas a muchas señales y patrones fisiológicos existe dependencia multivariable. Por tanto, para alcanzar una buena correlación entre las señales fisiológicas y las emociones, se requieren algoritmos sofisticados y robustos de procesamiento de señales, de reconocimiento de patrones y de clasificación. A continuación se describen los biosensores usados para el reconocimiento de estados emocionales.

#### **3.1.1.- El electrocardiograma (ECG)**

Con el ECG se mide la actividad eléctrica del corazón registrada con electrodos ubicados en la superficie del cuerpo. El ECG se puede medir directamente de la superficie del pecho o del pulmón. Registrar señales ECG del pulmón presenta menos inconvenientes técnicos pero es más vulnerable a señales espurias. Con la señal del ECG se puede calcular varias señales fisiológicas, la frecuencia cardíaca (HR), los intervalos entre latidos del corazón (inter-beat intervals IBI), la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV) y la arritmia respiratoria. Un decremento en la frecuencia cardíaca puede indicar un estado de relajación. Aumentos en los intervalos entre latidos del corazón pueden indicar estrés o frustración.

### **3.1.2.- Volumen de pulso sanguíneo (BVP)**

Este biosensor mide de forma no invasiva los cambios relativos de volumen sanguíneo en la venas del dedo índice. Esta medición indica la cantidad de sangre que circula actualmente a través de las venas, lo cual permite calcular la vasoconstricción, la dilatación vascular, la frecuencia cardíaca y la hipovolemia. Si los niveles de volumen de pulso sanguíneo o de vasoconstricción son altos se puede estar en estados de furia o estrés, si los valores se reducen, se puede estar en estado de relajación o tristeza.

### **3.1.3.- Respiración (RSP)**

El biosensor mide los cambios de respiración por medio de una banda sujeta al pecho del usuario. Con la señal de este biosensor se puede calcular parámetros fisiológicos respiratorios como la frecuencia respiratoria y la amplitud relativa o profundidad de la respiración. Una respiración rápida y profunda puede indicar excitación debida a furia o diversión. Una respiración rápida y superficial puede indicar tensión producida por pánico, miedo o concentración. Respiración lenta y profunda puede ser indicador de estado de relajación mientras que una respiración lenta y superficial puede indicar estado de depresión.

### **3.1.4.- Conductividad de la piel (SC)**

Este biosensor, que también se conoce como biosensor de la actividad eléctrica de la dermis, sirve para medir la capacidad de la piel para la transmisión de corrientes eléctricas, la cual varía si hay sudoración y cambios en el organismo. Por esto puede ser un buen indicador de estrés, furia o miedo. A la conductividad de la piel también se le conoce como respuesta galvánica. También puede servir para diferenciar entre situaciones conflictivas y no conflictivas y se relaciona con la dimensión de excitación. Esta señal se ve altamente influenciada por condiciones ambientales como la temperatura y humedad.

### **3.1.5.- Otros biosensores**

El electromiograma (EMG) sirve para registrar la actividad muscular o la frecuencia de tensión y relajación de algún músculo ya que los cambios de amplitud son proporcionales a la actividad muscular. Los valores que se obtienen con el EMG dependen de la actividad de un solo músculo. El EMG de músculos en la cara es adecuado para identificar emociones positivas o negativas. Por otro lado, la señal eléctrica en músculos del brazo puede ayudar a identificar estrés.

El biosensor temperatura de la piel (ST) sirve para medir la temperatura de la superficie de la piel. La temperatura en la piel suele crecer cuando los músculos se tensan debido a un esfuerzo, lo cual hace que los vasos se contraigan. Por esta razón se puede usar como indicador de furia o disgusto o dimensión negativa. Usualmente se conecta en uno de los dedos de cualquier mano. La medición de la temperatura se ve altamente afectada por la temperatura exterior y las condiciones ambientales, lo que lo convierte en el biosensor más débil para la detección de estados o cambios emocionales.

### **3.2.- Actividad electroencefalográfica (EEG)**

Así como los estudios y las teorías de la naturaleza de las emociones coinciden en que cambios afectivos involucran cambios y respuestas fisiológicas que están coordinadas por el sistema nervioso autónomo, también coinciden en que ciertas partes del cerebro están estrechamente relacionadas con la producción y administración de emociones. Por ejemplo, el sistema límbico y la corteza cerebral se consideran el centro de producción de emociones, esto ha sido demostrado en estudios en neurociencias. Además, existen más estructuras cerebrales relacionadas con la producción de emociones, aunque no se conoce exactamente cómo funcionan.

### **3.3.- Trabajos realizados en el reconocimiento de emociones**

#### **3.3.1.- Mediante biosensores**

El grupo de Rosalind Picard en el MIT Media Lab enfoca la construcción de un sistema para reconocer expresiones emocionales a partir de cuatro señales fisiológicas, el EMG maxilar, el volumen de flujo de sangre, la conductividad de la piel y la frecuencia de la respiración. Inicialmente se adquirieron datos de una estudiante con experiencia en actuación mientras intencionalmente experimentaba ocho estados emocionales, neutro, furia, odio, aflicción, amor platónico, amor romántico, diversión y reverencia. Después de varias semanas de experimentos para la adquisición de señales asociadas a emociones, se realizó un procesamiento de las señales para extraer seis características, media, desviación estándar, etc. Se usaron tres métodos de clasificación, el método de búsqueda directa secuencial (SFFS), la proyección Fisher (FP) y un método híbrido entre estos dos SFFS-FP. Inicialmente se realizó la clasificación offline, pero se alcanzó un desempeño bajo, por lo que se realizaron algunas mejoras, por ejemplo, se elevó la robustez del sistema para reducir las variaciones de los datos de diferentes días, se usaron en el análisis ventanas de tiempo más largas, y se añadió la frecuencia cardíaca como característica. Todo esto permitió alcanzar porcentajes de clasificación de alrededor del 81 % con el método híbrido SFFS-FP. Finalmente el sistema se adaptó para funcionar online y se alcanzó un rendimiento cercano al 73%. Este trabajo demostró que el desarrollo de sistemas de reconocimiento de emociones

usando la actividad fisiológica puede ser comparable con el reconocimiento usando expresiones faciales.

Cristine Lisseti del Instituto Eurocom está trabajando en la detección de las emociones usando un sistema portátil no-invasivo de adquisición de señales fisiológicas. Inicialmente se ha usado el método de inducción de emociones basado en la presentación de escenas de películas para inducir tristeza, furia, sorpresa, miedo y diversión, y el método de solución de problemas matemáticos mentales para inducir frustración. Para cada emoción, se presentó el método de inducción mientras se adquirían las señales de conductividad de la piel, frecuencia cardíaca y temperatura de la piel, después se preguntó al usuario qué emoción experimentó y que evaluara esta emoción en una escala de seis puntos. Una vez obtenidos y almacenados los datos, se procesaron las señales y se calcularon los valores mínimos, máximos, media y varianza. Después de esto se usaron tres algoritmos de aprendizaje supervisado para asociar las señales fisiológicas adquiridas con las emociones inducidas. Los resultados mostraron que los algoritmos usados, vecino más cercano (KNN), análisis de funciones discriminantes (DFA) y retropropagación Marquardt (MBP) pueden clasificar las emociones con un 72%, 75% y 84% de precisión cada uno respectivamente. Asimismo, se pudo observar que la conductividad de la piel aumenta con la frustración, la frecuencia cardíaca aumenta con el miedo y el enojo, pero es mayor el incremento con el miedo.

Por otro lado, Wagner, Kim y André, del Instituto de Ciencias Computacionales de la Universidad de Augsburg en Alemania, desarrollaron un sistema de reconocimiento de emociones a partir de múltiples señales fisiológicas. Se usaron biosensores para adquirir el electromiograma, el electrocardiograma, la conductividad de la piel y los cambios en la respiración y se usó el método de inducción basado en música. Se usó el modelo dimensional de las emociones con dimensiones de excitación y valencia, con cuatro emociones, furia, alegría, tristeza y placer. Mientras los individuos experimentaban los diferentes estados afectivos se registraron las señales fisiológicas. Una vez obtenida la información de todos los biosensores, se usaron técnicas de análisis y procesamiento de señales como ANOVA, PCA, KNN y MLP, para la extracción, selección y reducción de características y para la clasificación en niveles de excitación y valencia. En este trabajo se encontró que todos los algoritmos trabajaban de manera similar alcanzando niveles de clasificación de alrededor del 80%. Al aplicar técnicas de reducción de características se alcanzaron porcentajes de clasificación cercanos al 92 %. Clasificar alegría y furia resultó ser más preciso que clasificar placer y tristeza. Adicionalmente, se encontró que es mucho más fácil separar emociones en el eje de excitación que en el eje de valencia.

En otro estudio realizado por Haag en los laboratorios de Sony en Alemania, se desarrolló un método para detectar estados emocionales basándose en la adquisición de señales fisiológicas por medio de biosensores. Este trabajo es soportado por el proyecto europeo HUMAINE. Se usó el método de inducción de estímulos visuales usando la base de datos IAPS y el modelo dimensional de las emociones. A cada participante se le presentaron varios conjuntos de imágenes al tiempo que se adquirieron el EMG maxilar, el ECG, la temperatura de la piel y el volumen de pulso sanguíneo. Una vez adquiridas las señales se procesaron para obtener características como media, desviación estándar, pendiente, etc. Después se pasó a la clasificación usando dos redes neuronales artificiales de aprendizaje supervisado, una para excitación y otra para valencia, donde

los conjuntos de entrenamiento se obtuvieron de los valores de excitación y valencia de cada imagen y las señales registradas. Una vez entrenadas, las redes se evaluaron pasando señales adquiridas al mostrar imágenes pero que no se usaron en el entrenamiento, aquí se compararon los valores de excitación y valencia de cada imagen con los dados por las redes. Se alcanzaron porcentajes de estimación del 89% para excitación y del 63 % para valencia, esto reveló que usando estas cuatro señales de los biosensores es más fácil estimar los valores de excitación que de valencia.

Existen muchos más estudios que se dedican al reconocimiento de emociones usando la respuesta fisiológica, para profundizar se pueden ver los trabajos de: Kim, Bang y Kim en el Laboratorio de HCI de Samsung y el Departamento de Ingeniería Biomédica de la Universidad de Corea del Sur; Martyn de la Universidad de Sunshine en Australia y Troen de la Universidad de Heriot-Watt en Inglaterra; Kazuhiko en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Doshisha en Japón; Herbelin, Benzaki, Riquier, Renault y Thalmann en el Instituto Federal de Tecnología de Suiza; Li y Chen del Instituto de Ingeniería Biomédica en la Universidad Jiang-Su en China; Yoo, Lee y Park en la Escuela de Ingeniería Biomédica de la Universidad Yonsei en Corea; Nakasone, Prendinger y Ishizuka en el Departamento de Informática de la Universidad de Tokio; Conati, Chabbal y Melares en el Departamento de Ciencias Computacionales de la Universidad de British Columbia; Christie y Friedman del Departamento de Psicología del Instituto Técnico del Estado de Virginia.

Como conclusión podemos comentar que, aunque se han realizado muchos estudios que buscan correlacionar la actividad fisiológica con estados emocionales, no se puede formular un modelo que relacione emociones y señales fisiológicas. Analizando los resultados de los diferentes estudios se observa que no se puede formular esa relación, ya que se pueden encontrar diferencias en la actividad fisiológica con la misma emoción o un mismo cambio fisiológico en diferentes emociones. Estas diferencias se presentan porque en la mayoría de los estudios se han usado señales de una o unas pocas personas, porque se han usado máximo cuatro señales fisiológicas, porque algunos métodos para provocar emociones en los usuarios no son confiables, porque la respuesta fisiológica no se puede generalizar para todos los usuarios ya que difiere de persona a persona y porque la actividad emocional está relacionada con las experiencias, la memoria y la situación actual de las personas. Todo esto indica que, aunque la actividad fisiológica es un excelente indicador de los estados afectivos, es muy difícil conseguir un sistema confiable de detección de emociones usando sólo este modo de manifestación.

### **3.3.2.- Mediante actividad electroencefalográfica (EEG)**

Aunque es claro el hecho de que se produce actividad eléctrica en la corteza cerebral relacionada en la experimentación de emociones, pocos estudios han tratado de reconocer estados afectivos usando como modo de manifestación la actividad encefalográfica. La mayoría de estos estudios, más que detectar, buscan evaluar e identificar cómo se dan los procesos emocionales en el cerebro. A continuación se describen los estudios más importantes que buscan la detección o la evaluación de las emociones usando sólo la actividad electroencefalográfica.

En los Departamentos de Psicología de la Universidad de Turín y de Milán se utiliza la actividad EEG para estudiar la sincronización que existe entre señales EEG en diferentes regiones de la corteza cerebral ante el procesamiento de estímulos emocionales. En el trabajo se adquirieron 19 canales EEG de 30 usuarios mientras se usaba la estimulación audiovisual por medio de películas para inducir tres estados emocionales, alegría, tristeza y neutralidad. Adicionalmente se registró el electrooculograma (EOG). Después de cada estímulo se le pidió a cada usuario evaluar la emoción experimentada en una escala de 1 a 9. Una vez adquiridas las señales, se eliminaron ruidos, se usó la técnica análisis de componentes independientes (ICA) para eliminar artefactos y se usaron filtros para separar las señales en los ritmos  $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ . Se definió el parámetro índice de sincronización para medir la relación entre diferentes señales en diferentes regiones. Finalmente se usó ANOVA para evaluar toda la información en diferentes factores como emoción provocada, región cerebral e índice de sincronización. Los resultados mostraron que en la banda  $\alpha$ , tristeza ofrece señales EEG más sincronizadas que felicidad, especialmente en la región frontal izquierda. De igual forma, en la banda  $\theta$  hay mayor sincronización en tristeza que en felicidad, pero en la zona frontal y occipital. En la banda  $\gamma$  tanto felicidad como tristeza están más sincronizadas que neutralidad. Estos resultados soportan la idea de que la sincronización es adecuada para entender la variación en la actividad cerebral en la producción de emociones.

Otro estudio importante, que aunque no tiene como objetivo detectar emociones, está relacionado con los estados afectivos y la respuesta cerebral, se muestra a continuación. El objetivo de este trabajo fue evaluar cómo es la respuesta cerebral, en especial las señales ERP, ante la repetición de estímulos visuales con contenido emocional. Para esto se presentó a 24 participantes varias veces una selección de imágenes de la base de datos IAPS mientras se registraba el EEG de 60 canales. Después se eliminaron ruidos y artefactos del EOG. Posteriormente se usó ANOVA para analizar las señales adquiridas en términos de factores como región cerebral, hemisferio y estado emocional. Los resultados relacionados con las emociones indican que la dimensión de excitación afecta a la manifestación de ERP's. Asimismo, la componente temprana de ERP (Early ERP) varía con el nivel de excitación emocional haciéndose menos negativa en la región frontal y menos positiva en la región occipital. Finalmente, la componente positiva tardía del ERP (Late Positive ERP) varía con la excitación en la región centro parietal. Aunque este trabajo no busca la detección de emociones, se basa en la inducción y análisis de estados afectivos y el estudio de esos estados en las señales ERP, lo cual demuestra que es posible reconocer emociones usando la actividad electroencefalográfica.

Por otro lado, investigadores en el área de neurociencias de la Universidad de Lille, trabajan en la detección de estados emocionales mediante el estudio y análisis de los ERP's. En este estudio se usó el método de inducción de emociones mediante estimulación visual con imágenes de la base de datos IAPS para provocar emociones a 17 participantes. Se registró el EEG de 28 canales y se eliminaron ruidos y artefactos del EOG. Se usó PCA para extraer características y ANOVA para analizar la información en factores como región del cerebro y dimensión emocional. Los resultados mostraron en primer lugar que la experiencia emocional influye en los potenciales P3a y P3b. Se observó que la amplitud de P3a no muestra diferencias significativas con respecto a la valencia en las regiones frontal-central del cerebro, pero en la región

posterior del cerebro la amplitud del P3a es mayor para estímulos de valencia negativa que positiva o neutral. En la región parietal-occipital, la amplitud del P3b es más grande para valencia negativa que positiva o neutral. Finalmente, todos estos resultados indican que la valencia emocional se ve reflejada en los sitios frontales y centrales del cerebro y la excitación se ve reflejada en los sitios parietales y occipitales.

Estos resultados confirman que la actividad electroencefalográfica está relacionada con la producción y manifestación de emociones, no obstante, aún no se ha diseñado un sistema que reconozca las emociones usando este modo de manifestación. Para esto hay que superar varios problemas, el número de señales EEG es elevado por lo que se requieren buenos algoritmos de procesamiento, la resolución espacial de EEG es baja, hay pocos estudios de investigación, la actividad EEG varía de persona a persona, las señales EEG son muy susceptibles a artefactos como el EOG o EMG, las características de las señales EEG modulan al mismo tiempo estados emocionales, estados cognitivos, procesos neurológicos internos, etc.

### **3.3.3.- Mediante actividad electroencefalográfica y biosensores**

Existen pocos estudios que buscan la detección de emociones usando la actividad del cerebro en conjunto con la actividad fisiológica. Hasta nuestro conocimiento, éstos son los trabajos que han abordado este tópico.

En el Centro Suizo de Ciencias Afectivas y el Grupo de Visión computacional en la Universidad de Ginebra en Suiza, se trabaja en el desarrollo de un sistema de reconocimiento de emociones en el cual se busca medir la dimensión excitación por medio de señales EEG y fisiológicas. Este trabajo es soportado por el proyecto europeo SIMILAR. Se provocaron emociones usando estimulación visual basándose en la presentación de imágenes afectivas de la base de datos IAPS. Se usaron imágenes con muy alto y muy bajo nivel de excitación y de distribución uniforme de valencia. Al tiempo que se les presentaban imágenes a 4 usuarios, se midió la conductividad de la piel, la temperatura de la piel, el volumen de pulso sanguíneo y la respiración, y se adquirieron las señales EEG. Después de presentar cada imagen, se le pidió a cada usuario que evaluara el nivel de excitación y valencia. Una vez realizada la experimentación se procesaron las señales para eliminar ruidos, artefactos, etc. Posteriormente se calcularon 18 características para las señales fisiológicas y 6 para las señales EEG. Finalmente, para separar las características en diferentes clases de excitación se utilizaron dos técnicas de clasificación Naïve Bayes y análisis discriminante Fisher (FDA). Usando los datos de excitación de cada imagen dados por la IAPS se clasificaron las características en dos clases, alta excitación y baja excitación, con lo que se alcanzaron niveles de clasificación alrededor del 50 % y 55 % para las dos técnicas respectivamente. Usando la evaluación dada por los usuarios después de ver las imágenes se alcanzaron niveles de clasificación del 70% para ambos clasificadores. Estos resultados muestran la posibilidad de usar en conjunto señales EEG y fisiológicas para evaluar el nivel de excitación emocional.

Otro grupo de trabajo soportado por la red europea SIMILAR, está desarrollando un sistema de reconocimiento multimodal de emociones, basado en señales del cerebro

obtenidas con fNIRS, vídeos de las expresiones faciales, señales del EEG y tres señales fisiológicas, conductividad de la piel, respiración y volumen de pulso sanguíneo. Se tomaron las señales de diferentes combinaciones de modos de manifestación emocional de 5 usuarios mientras se inducían emociones de alto, medio y bajo nivel de excitación usando imágenes de la base de datos IAPS. Aunque las imágenes están clasificadas en valencia, excitación y control, después de presentar cada imagen se le pidió a cada usuario evaluar en términos del nivel de excitación y valencia. Después de la experimentación se obtuvieron dos bases de datos, una con señales de vídeo y datos fNIRS y otra con señales de EEG, señales de biosensores y datos fNIRS. Inicialmente se procesaron las señales para eliminar ruidos y extraer características y se implementaron algoritmos para detectar emociones en las expresiones faciales. Aún se continúa trabajando en el diseño de algoritmos de extracción de características y de clasificación para asociar las señales capturadas con las emociones inducidas. En trabajos futuros se espera evaluar el reconocimiento de emociones usando uno o varios modos de manifestación.

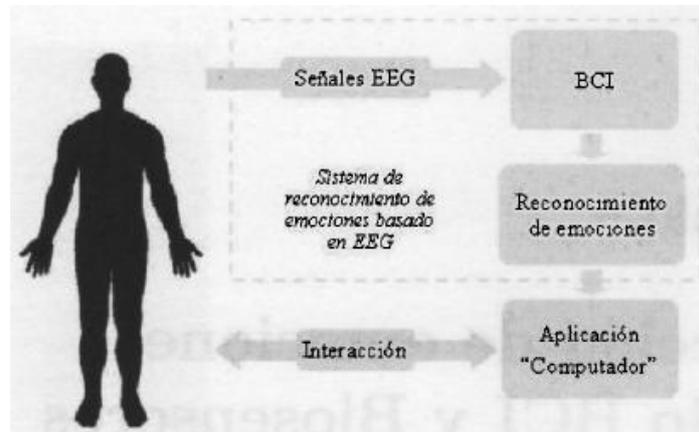
Un grupo de trabajo en el Instituto de Psicología de la Universidad de Zurich, estudia la relación entre la percepción y la experiencia emocional usando la respuesta encefalográfica y fisiológica. En uno de sus estudios se usó la estimulación auditiva con tres obras musicales y la estimulación visual con imágenes de la base de datos IAPS para inducir felicidad, tristeza y miedo. Al tiempo que se presentaban uno o los dos estímulos a 24 mujeres, se registraba el EEG de 30 electrodos, la frecuencia cardíaca, la conductividad de la piel, la respiración y la temperatura de la piel. Se usó el análisis de varianza usando factores como el tipo de emoción, el tipo de método de inducción, la región de los electrodos en la cabeza y el hemisferio para las señales EEG, y los factores como el tipo de emoción y el tipo de método de inducción para las señales fisiológicas. Los resultados mostraron que la emoción experimentada era más fuerte cuando se usaban los dos estímulos, media cuando se usaba sólo el estímulo visual y más baja cuando se usaba sólo el estímulo auditivo. Aunque el objetivo final de este estudio no es la detección de las emociones, sí se midió el nivel de excitación para determinar ante qué método de inducción es más fuerte la experiencia emocional.

### **3.4.- Construcción de un sistema para la detección de emociones**

El objetivo que se busca en la detección de las emociones, independientemente del modo de manifestación que se use, es mejorar la interacción entre los humanos y los computadores. Esto es útil para diversas aplicaciones, por ejemplo, telemedicina, robótica médica, automotriz, mercadeo, etc. Actualmente, existen estudios de investigación para la detección de las emociones usando uno o varios modos de manifestación, como las expresiones faciales, la modulación de la voz o la actividad fisiológica del organismo, sin embargo, existen pocos estudios que busquen la detección de emociones usando además la actividad eléctrica del cerebro.

La clasificación de la actividad eléctrica cerebral en diferentes estados emocionales es un problema que no se ha abordado, y se espera que sea útil para varias aplicaciones. En la figura siguiente se aprecia el modelo general de un sistema de

detección de emociones basado en la actividad electroencefalográfica adecuado para mejorar la interacción entre humanos y computadores.

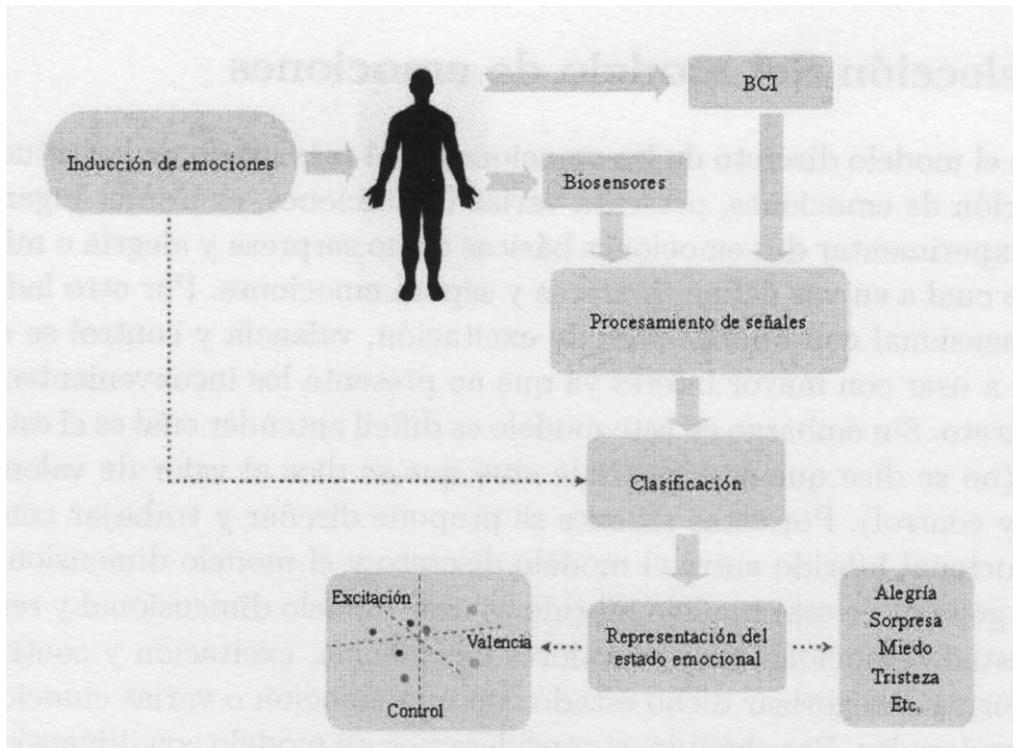


**Fig. 3.4.1: Diagrama de bloques de un sistema de reconocimiento de emociones basado en BCI.**

Este sistema está basado en la interfaz cerebro-computador que recibe y procesa las señales eléctricas del cerebro (señales EEG), posteriormente se reconocen las emociones que se están experimentando y se usa esta información para mejorar la interacción con los computadores o máquinas adaptando la aplicación al estado emocional del usuario. Esta adaptación se puede dar porque la aplicación recibe como entrada adicional la información emocional y usa esta información para mejorar su funcionamiento y rendimiento buscando la satisfacción del usuario.

Por otro lado, los estudios que buscan la detección de las emociones usando la actividad fisiológica, han demostrado lo que se reporta en otras áreas como psicología y fisiología, esto es, que los cambios emocionales o la experiencia emocional están relacionados con cambios fisiológicos aun cuando estos cambios no son iguales para todas las personas. Estos resultados han sido importantes, aunque no se ha podido diseñar un sistema que clasifique o asocie la actividad fisiológica a estados emocionales.

Con esa motivación, se propone el desarrollo de un sistema de detección de emociones basado en la actividad eléctrica cerebral obtenida con interfaces cerebro-computador y en la actividad fisiológica del organismo registrada con biosensores. Un esquema general del sistema propuesto se aprecia a continuación.



**Fig. 3.4.2: Diagrama de bloques de un sistema de reconocimiento de emociones basado en BCI y biosensores.**

La idea es acoplar al usuario el BCI y los biosensores para registrar la actividad eléctrica cerebral y la actividad fisiológica mientras se está experimentando una emoción. Esto implica que para poder realizar la adquisición de señales, los usuarios deben experimentar de forma controlada y sincronizada emociones conocidas, esto se logra empleando alguna técnica de inducción de emociones. Una vez que se tiene una base de datos de señales cerebrales y fisiológicas asociadas con emociones, se debe procesar esas señales para eliminar ruido y artefactos y finalmente para calcular o extraer las características de esas señales, con esto se tendrá un conjunto de características de las señales asociadas con emociones. Después de esto se entrenan algoritmos para aprender a clasificar características con emociones. Una vez entrenado el sistema, se puede usar para que a partir de señales de usuarios que están experimentando emociones desconocidas se reconozca cuál es la emoción o estado emocional que están experimentando.

En resumen, un sistema de detección de emociones usando BCI y Biosensores debe incluir las siguientes etapas:

- Modelo de emociones (discreto o dimensional)
- Método de inducción de emociones
- Interfaz cerebro-computador (BCI)
- Biosensores
- Sistema de adquisición de datos
- Procesamiento de señales (eliminación de ruido y artefactos)
- Extracción de características
- Clasificación