



## BIOFEEDBACK: RETROALIMENTACIÓN ELECTROENCEFALOGRÁFICA

Estudio de la efectividad de la adopción de patrones neuronales por  
entrenamiento para paliar el dolor.

Memoria del proyecto de final de carrera correspondiente a los estudios de Ingeniería Superior en Informática presentado por David Blanco Schultz y dirigido por Jordi Carrabina.

Bellaterra, Septiembre de 2011

El firmante, Jordi Carrabina, profesor del Departamento de  
Microelectronica de la Universidad Autónoma de Barcelona

CERTIFICA:

Que la presente memoria ha sido realizada bajo su dirección  
por David Blanco

Bellaterra, Septiembre de 2011

---

Firmat: Jordi Carrabina

*Le dedico el proyecto a mi padre, por tanto que me ha dejado y enseñado y a mi compañera por inspirarme.*



# Agradecimientos

A todos los compañeros que me han inspirado y apoyado.



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Motivaciones</b>	<b>3</b>
<b>3. Antecedentes y estado actual del tema</b>	<b>5</b>
<b>4. Meditación y relajación profunda</b>	<b>7</b>
4.1. Bandas frecuenciales que definen estados de conciencia . . . . .	8
4.1.1. Ondas Beta: ( 13 - 30 ciclos/segundo) . . . . .	8
4.1.2. Ondas Alpha: ( 8 - 12 ciclos/segundo) . . . . .	9
4.1.3. Ondas Theta (4 - 7 ciclos/segundo) . . . . .	9
4.1.4. Ondas Delta ( 0.5 - 4 ciclos/segundo) . . . . .	9
4.2. Efectos y beneficios de la meditación . . . . .	9
<b>5. Hipótesis</b>	<b>11</b>
<b>6. Objetivos</b>	<b>13</b>
6.1. Subobjetivos y fases: . . . . .	13

<b>7. Plan de trabajo</b>	<b>15</b>
7.1. Preparación: . . . . .	15
7.2. Entrenamiento: . . . . .	16
7.2.1. Estudio Pre-entrenamiento: . . . . .	16
7.2.2. Fase de entrenamiento (duración: 4 meses): . . . . .	16
7.2.3. Estudio Post-entrenamiento: . . . . .	16
7.2.4. Seguimiento 6 meses Post-entrenamiento: . . . . .	16
7.3. Diseminación . . . . .	17
<b>8. Protocolos</b>	<b>19</b>
8.1. Protocolo de entrenamiento: . . . . .	19
8.2. Protocolos de evaluación psico-física: . . . . .	20
<b>9. Fase Practica: Objetivos Alcanzados</b>	<b>21</b>
9.1. Decisiones de Diseño . . . . .	22
9.1.1. Emotiv Headset . . . . .	22
9.1.2. Neurosky Mindwave . . . . .	23
9.1.3. Starlab Enobio . . . . .	23
9.1.4. Lenguaje de desarrollo: C Sharp . . . . .	24
9.1.5. Librerías de generación de gráficas . . . . .	25
9.1.6. Emotiv SDK: Medidas de la suite Affectiv . . . . .	27
9.2. Validación de datos . . . . .	27
9.2.1. Método de pruebas . . . . .	27
9.2.2. Resultados . . . . .	28



9.3. BrainTrainer . . . . .	33
9.3.1. Funcionalidad . . . . .	35
9.3.2. Entrenamiento por retroalimentación . . . . .	36
9.3.3. Resultados Retroalimentación . . . . .	37
9.3.4. Registro de patrones EEG y estadísticas . . . . .	38
<b>10. Impacto socioeconómico</b>	<b>39</b>
<b>11. Conclusiones</b>	<b>41</b>
11.1. Trabajo Futuro . . . . .	41
<b>Bibliografía</b>	<b>43</b>



# Índice de figuras

9.1. Emotiv Headset . . . . .	22
9.2. Neurosky Mindwave . . . . .	23
9.3. Starlab Enobio . . . . .	24
9.4. ZedGraph . . . . .	25
9.5. Microsoft Chart Controls . . . . .	26
9.6. Sesión de control . . . . .	30
9.7. Sesión de Meditación con ojos cerrados . . . . .	30
9.8. Sesión de Meditación con ojos abiertos . . . . .	31
9.9. Sesión de Ejercicios de Relajación: ChiKung . . . . .	32
9.10. Sesión de Colorear dibujos . . . . .	33
9.11. BrainTrainer . . . . .	34
9.12. Sesión de Retroalimentación . . . . .	37

# Capítulo 1

## Introducción

El dolor psico-físico en pacientes terminales y crónicos resulta en una considerable carga social y económica. Recientemente se ha demostrado que la práctica de estados de relajación profunda reduce el dolor e incrementa el bienestar y la calidad de vida de estos pacientes. Los estados de relajación profunda están a su vez asociados a patrones electroencefalográficos (EEG) característicos. En el presente proyecto proponemos un nuevo procedimiento paliativo del dolor basado en el entrenamiento autodidáctico para alcanzar dichos estados de relajación. Para ello se propone retroalimentar a los pacientes una señal auditiva que refleje su actividad EEG que ayude al sujeto a modificar voluntariamente su actividad EEG, lo que le permite aproximarla progresivamente al patrón correspondiente al de relajación profunda deseado.

Se ha diseñado un protocolo de entrenamiento de estados mentales de relajación y meditación (entre otros) e implementado un programa que procesa la señal EEG y genera una señal auditiva que refleje la actividad cerebral del individuo. También registra las lecturas EEG del progreso del individuo, genera las gráficas correspondientes y genera datos estadísticos para futuro análisis.



# Capítulo 2

## Motivaciones

Este proyecto nace como un proyecto transversal, donde diferentes disciplinas se combinan en un mismo proyecto tomando en consideración muchas variables de forma holística. En este proyecto hay una fusión tecnológica, psicológica y médica, por lo tanto destaca por su hibridaje disciplinar, aplicado aquí principalmente como tratamiento médico.

Destaca por la novedad en las tecnologías a utilizar aplicadas al bienestar, las amplias posibilidades de entornos donde tendrían posible aplicación (geriatria, desordenes mentales y amplio abanico de síntomas físicos), la metodología de investigación centrada en el usuario y basándose en la condición psico- y fisiológica, así como el potencial impacto tanto a nivel social, económico como de investigación.

Es una apuesta por un nuevo paradigma de bienestar alcanzado por el paciente, como complemento al tratamiento convencional, donde el paciente no tiene control sobre su estado y progreso y depende de un juicio y un tratamiento externo. No significa que se proponga reemplazar el tratamiento médico clásico pero sí es una apuesta por su considerable potencial como tratamiento adicional.



## Capítulo 3

# Antecedentes y estado actual del tema

Los últimos datos sobre la demografía en Europa demuestran que un 18 % de la población europea sobrepasa los 60 años en 1990, mientras que se espera que el incremento sea del 30 % en 2030. [0]

Debido al incremento en la edad de la población, se ha producido también un aumento correspondiente en el número de casos de enfermedades terminales debido a la correlación enfermedad-deterioro fisiológico. Una de las principales enfermedades es el cáncer que requiere la aplicación de procedimientos paliativos para controlar el dolor físico y psíquico de los pacientes. En consecuencia, se ha producido también un incremento en el estudio de terapias paliativas basadas en técnicas de autoconocimiento. Una de las más destacadas es el “mindfulness-based stress reduction” (MBSR), reducción de estrés basado en la conciencia, programa de Jon Kabat-Zinn. Este enfoque integrador devuelve al paciente el control de la actitud que toma ante su enfermedad, contribuyendo a su bienestar y calidad de vida. Se ha demostrado que los estados de relajación profunda en que se basa el MBSR minimizan el dolor físico y psíquico de pacientes que sufren enfermedades crónicas y terminales [1,3]. Es más incluso se han detectado cambios fisiológicos relacionados y del sistema inmune asociados a la inducción repetida



de estos estados de relajación.

El alcance de estos estados meditativos requiere una disciplina de entrenamiento prolongada, que frecuentemente supone años de aprendizaje, ya que el sujeto desconoce exactamente el estado mental que debe alcanzar y en el mejor de los casos solo dispone de las indicaciones verbales de un buen maestro.

Este proyecto pretende replicar los resultados obtenidos con el sistema MBSR [1,3] a través de nuestro protocolo de entrenamiento neural y además demostrar que se pueden alcanzar estados equivalentes más rápidamente y de mayor profundidad y duración.

Se ha demostrado que estos estados de relajación profunda, contemplación y meditación están asociados a patrones característicos conocidos de actividad electroencefalográfica (EEG) abundante en las frecuencias alpha y theta de la región occipital, theta (4–8 Hz) y alpha (8–13 Hz).

En el presente proyecto se propone que este estado se pueda alcanzar y potenciar con más facilidad mediante un protocolo de entrenamiento basado en reforzar los patrones electroencefalográficos deseados. Este entrenamiento se basa en retroalimentar al sujeto una señal acústica o visual proporcional al grado de proximidad de su patrón electroencefalográfico actual al perfil diana deseado.

## Capítulo 4

# Meditación y relajación profunda

Es difícil definir lo que es el estado meditativo, se trata de una experiencia cognitiva que todos hemos experimentado espontáneamente en algún momento de nuestras vidas. Cabe destacar la diferencia entre prácticas de interiorización, atención y concentración y estados meditativos. La meditación no es un fenómeno extraño, mas bien surge cuando la concentración se prolonga un tiempo determinado. No se puede forzar el estado meditativo, sin embargo mediante prácticas de interiorización y concentración se prepara al individuo para que la meditación surja naturalmente.

Durante la práctica de la meditación se producen importantes modificaciones fisiológicas y en la actividad cerebral. Para comprender los efectos de la meditación hay que tener en cuenta la naturaleza del cerebro y las características de su funcionamiento. El cerebro esta constituido por millones de neuronas y todas las neuronas forman una compleja red de interconexiones, donde los impulsos nerviosos se transmiten de una a otra a lo largo de todo el circuito. Las ondas eléctricas que emite el cerebro son muy similares a las ondas de radio y pueden ser cuantificadas y medidas mediante electroencefalograma (EEG).

Las ondas cerebrales estan clasificadas en cuatro bandas, de mayor a menor frecuencia: beta, alpha, theta y delta. Se conoce que hay una relación existente

entre la frecuencia, el voltaje y la amplitud de las ondas cerebrales con los distintos estados de conciencia. Las ondas cerebrales son una manifestación de la actividad del cerebro que permite conocer la aparición de los distintos estados de conciencia ( ver clasificación de bandas frecuenciales ).

Los cuatro tipos de ondas cerebrales se manifiestan en el individuo de forma automática, según el estado mental en el que se encuentre. En el individuo común el paso de un tipo de onda cerebral a otro sucede mecánicamente, permaneciendo fuera de su control el inducir voluntariamente las ondas de frecuencia más bajas (alpha - theta). Cualquier persona con un entrenamiento suficiente puede inducir progresivamente dichas funciones cerebrales, lo que permite manejar la mente subconsciente e influir a las funciones fisiológicas involuntarias que rige este área de la mente.

Éste es precisamente el objetivo del proyecto, potenciar la actividad en la banda alpha y theta, característica del estado de meditación. Se proporciona una guía auditiva al individuo para promover dicho estado con mayor facilidad y rapidez.

## **4.1. Bandas frecuenciales que definen estados de conciencia**

A continuación se detalla las principales bandas de frecuencias y los estados mentales asociados:

### **4.1.1. Ondas Beta: ( 13 - 30 ciclos/segundo)**

Se generan durante el estado de vigilia, predominan cuando se realiza algun trabajo físico o mental. El análisis intelectual y la percepción a través de los cinco sentidos se realizan en el este nivel de actividad cerebral.

#### **4.1.2. Ondas Alpha: ( 8 - 12 ciclos/segundo)**

Estan relacionadas con la relajación profunda y algunos estados de meditación. Durante la emisión de ondas Alpha la mente racional y los sentidos disminuyen su actividad. Al nivel de actividad Alpha puede accederse voluntariamente, a través de la relajación consciente, concentración y la meditación.

#### **4.1.3. Ondas Theta (4 - 7 ciclos/segundo)**

Se manifiestan principalmente en estados de ensoñación, aparecen también en estados de meditación profunda, intensa creatividad y bajo los efectos de la anestesia.

#### **4.1.4. Ondas Delta ( 0.5 - 4 ciclos/segundo)**

Se manifiestan durante el sueño profundo.

### **4.2. Efectos y beneficios de la meditación**

La práctica de la meditación beneficia globalmente todas las estructuras y niveles de la persona. Sus efectos positivos se reflejan en los aspectos físico, emocional y mental:

- Desciende la frecuencia de las ondas cerebrales, predominando los ritmos alpha.
- Incrementa la actividad del hemisferio derecho del cerebro, que es el responsable de la orientación en el espacio, la creatividad, la intuición etc.
- Proporciona una profunda relajación física, emocional y mental.
- Incrementa la resistencia al estrés y a los desórdenes psicosomáticos.

- Mejora la calidad del sueño e induce niveles de descanso más profundo, que propician la regeneración de todo el cuerpo.

- Mejora la salud y estimula los procesos autocurativos.

- Reduce el consume de oxígeno y la producción de dióxido de carbono.

- Reduce la constricción de los vasos sanguíneos, disminuye la presión sanguínea e intensifica la circulación.

- La concentración de lactato en la sangre disminuye notablemente. Esta sustancia está asociada a los estados de ansiedad y tensión. Con su disminución desaparecen dichos estados.

- Aumenta sensiblemente la resistencia eléctrica de la piel. La resistencia alta de la piel está relacionada con los estados de relajación.

- Ajusta el funcionamiento del sistema límbico, mejorando la respuesta emocional ante los acontecimientos y estímulos externos.

- Equilibra la actividad del sistema nervioso.

- Genera vitalidad, aumentando las reservas de energía y el uso optimizado de éstas.

- Regulariza el conjunto de las funciones fisiológicas.

- Proporciona estabilidad nerviosa y erradica la dependencia de tranquilizantes, somníferos y drogas.

- Proporciona un estado mental claro, sereno, objetivo y ecuánime.

- Aumenta la percepción, la atención y la concentración.

- Desarrolla el estado de alerta y ayuda a vivir el momento presente.

- Potencia la confianza y seguridad en uno mismo.

- Destruye los viejos hábitos y patrones mecánicos de comportamiento.

- Genera una actitud de apertura mental y psicológica.

# Capítulo 5

## Hipótesis

Como ya se ha demostrado anteriormente con el sistema MBSR [1,3], cuya metodología se pretende replicar y ampliar, los estados de relajación profunda son de gran valor terapéutico. La actividad neuronal en la banda occipital alpha (8–13 Hz) y theta (4–8 Hz) es característica de la relajación física y psíquica [2]. Por consiguiente, la promoción de la actividad EEG en estas frecuencias por nuestro protocolo de entrenamiento debe minimizar el estrés psicológico, caracterizado por estados de angustia, depresión, rabia, fatiga y confusión.



# Capítulo 6

## Objetivos

El objetivo de este proyecto es desarrollar un protocolo de entrenamiento para lograr estados de meditación/relajación profunda, destinado a paliar el sufrimiento físico y emocional de pacientes diagnosticados con enfermedades terminales y/o dolor crónico.

Con tal finalidad este proyecto se centra en diseñar las herramientas básicas para el seguimiento y entrenamiento del perfil cerebral.

### 6.1. Subobjetivos y fases:

1. Validar la relación entre los datos proporcionados por las lecturas EEG y una actividad predeterminada, diseñada para promover un estado mentales específico, realizada por el individuo.

2. Generar una señal acústica proporcional al estado cerebral del individuo, en concreto al nivel de relajación, excitación, frustración o concentración, para retroalimentarla al sujeto y promover estos patrones de funcionamiento cerebral.

3. Registrar los resultados de las lecturas EEG, tanto los datos como las gráficas que los representan.





# Capítulo 7

## Plan de trabajo

La fase práctica de este proyecto se centra en los apartados de preparación (cap. 7.1), que serán de utilidad para el resto de proyecto, proporcionando las herramientas necesarias para la fase de entrenamiento y los estudios posteriores.

Se diseña también un protocolo futuro: una fase de entrenamiento y evaluación de progreso de un grupo de sujetos, así como el análisis de resultados y la disseminación de los resultados observados.

### 7.1. Preparación:

A) Validación de los parámetros del funcionamiento del equipo EEG. Validación utilizando actividades preestablecidas con la finalidad de relacionar las lecturas EEG con el estado del individuo que realiza la actividad.

B) Desarrollo de un programa dedicado a generar una señal acústica, en función de la diferencia entre la actividad neuronal del sujeto y el perfil deseado.

C) Desarrollo de un sistema de monitorización y registro de los datos EEG del sujeto.

D) Consolidación de un grupo de pruebas de pacientes con enfermedades ter-

minales y otro de pacientes con enfermedades crónicas.

## **7.2. Entrenamiento:**

### **7.2.1. Estudio Pre-entrenamiento:**

- A) Evaluación psico-fisiológica (POMS y SOSI)
- B) Medición cuantitativa de banda alpha y theta (estado inicial del sujeto)

### **7.2.2. Fase de entrenamiento (duración: 4 meses):**

- A) Medición cuantitativa de banda alpha y theta en estado de vigilia
- B) Entrenamiento de banda alpha y theta por refuerzo siguiendo el protocolo de entrenamiento definido más adelante, y registro de la misma.
- C) Evaluación psico-fisiológica (POMS y SOSI), ver más adelante protocolos.

### **7.2.3. Estudio Post-entrenamiento:**

- A) Evaluación psico-fisiológica (POMS y SOSI)
- B) Medición cuantitativa de banda alpha y theta (estado final del sujeto)

### **7.2.4. Seguimiento 6 meses Post-entrenamiento:**

- A) Evaluación psico-fisiológica (POMS y SOSI)
- B) Medición cuantitativa de banda alpha y theta (estado final del sujeto)
- C) Recopilación y análisis de resultados

### **7.3. Diseminación**

- A) Escritura de artículo para publicar en revistas indexadas.
- B) Diseminación de resultados en congresos internacionales.



# Capítulo 8

## Protocolos

Se detalla la metodología a seguir, correspondiente al protocolo de entrenamiento del plan de trabajo (capítulo 7.2).

### **8.1. Protocolo de entrenamiento:**

1. Definir el valor mínimo y máximo de la señal de actividad EEG, donde el máximo corresponde a abundante actividad en las bandas frecuenciales del perfil diana (correspondiente a un estado de relajación profunda de un experto entrenado) y el mínimo, correspondiente a la falta de actividad en dichas bandas frecuenciales (correspondiente a un sujeto en estado de vigilia).

2. Definir una correspondencia entre los valores de la señal EEG escogidos anteriormente y señales acústica o visuales arbitrarias. Por ejemplo, asignar la falta de actividad con un sonido de volumen bajo y la abundante actividad en el perfil diana con un sonido de volumen alto.

3. Aplicar al sujeto la retroalimentación de la señal definida anteriormente y hacer que el sujeto voluntariamente la modifique la señal por un tiempo determinado.

4. Guardar un registro de la sesión, tanto gráfica como de las lecturas de datos EEG.

## **8.2. Protocolos de evaluación psico-física:**

El procedimiento de evaluación “Profile of Mood States” (POMS) se basa en un cuestionario que tiene por objeto cuantificar el estado anímico de angustia, depresión, rabia, fatiga y confusión de un sujeto.

El procedimiento de evaluación “Symptoms of Stress Inventory” (SOSI), tiene por objeto cuantificar síntomas físicos: cardiopulmonares, neurológicos, gastrointestinales, de tensión muscular, depresión y ansiedad en un sujeto.

# Capítulo 9

## Fase Practica: Objetivos Alcanzados

El desarrollo del proyecto se ha centrado en la implementación de las herramientas básicas de monitorización y registro de patrones de EEG correspondientes a los 3 primeros objetivos (Capítulo 6) del proyecto y a las siguientes metas técnicas del Plan de Trabajo (Capítulo 7):

**7.1 A:** Validación de los parámetros de funcionamiento del equipo EEG.

**7.1 B:** Desarrollo de un programa dedicado a generar una señal acústica, en función de la diferencia entre la actividad neuronal del sujeto y el perfil deseado.

**7.1 C:** Desarrollo de un sistema de monitorización y registro de los datos EEG del sujeto.

Estas metas son esenciales para el proyecto ya que actúan como prueba de concepto y abren el terreno a la fase de experimentación. Con estas herramientas se hará posible el entrenamiento de sujetos, fase que requerirá considerable tiempo y recursos.



## 9.1. Decisiones de Diseño

El dispositivo de lectura de electroencefalograma que se usa en este proyecto se llama Emotiv, está enfocado al desarrollo de videojuegos y aplicaciones innovadoras. Fue seleccionado por sus características técnicas, su precio y el soporte técnico que ofrece.

Las otras alternativas estudiadas son Mindwave (de Neurosky)[6] y Enobio (de Starlab)[7].

### 9.1.1. Emotiv Headset



Figura 9.1: Emotiv Headset

Emotiv Headset [5] es un casco inalámbrico que incorpora 14 canales (mas una referencia CMS/DRL , localizado en P3/P4) de adquisición y procesamiento de señal electroencefalográfica de alta resolución.

Los canales están nombrados según el standard internacional y son los siguientes: AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4.

Es el lector EEG con mas canales y precision de la gama de este tipo de dispositivos que han salido al mercado en los últimos años. Las herramientas de desarrollo tambien son muy completas y se ofrece soporte a los usuarios. Las demás alternativas no cuentan con buenas herramientas de desarrollo ni soporte.

Su precio es relativamente económico (300 euros). Aun considerando que su precio es un poco mas elevado que el de las otras soluciones considero que merece la pena porque incorpora muchas mas prestaciones y funcionalidad. Cabe mencionar que el kit de desarrollo se vende como un producto adicional (200 euros), a diferencia de otros dispositivos similares.

### 9.1.2. Neurosky Mindwave



Figura 9.2: Neurosky Mindwave

El Mindwave, aun siendo económico(150 euros), fue descartado rápidamente porque solo cuenta con un sensor EEG, que ademas es de poca precision. Mayormente recoge información muscular situada en la frente. Ademas no cuenta con un kit de desarrollo (SDK) completo ni buen soporte técnico.

### 9.1.3. Starlab Enobio

El Enobio, también fue descartado por razones similares. No es un dispositivo económico, cuenta con pocos sensores EEG, que además hemos comprobado



Figura 9.3: Starlab Enobio

por experimentación que se ven afectados por las interferencias de la actividad muscular en la frente y no cuenta con kit de desarrollo completo ni buen soporte técnico.

#### **9.1.4. Lenguaje de desarrollo: C Sharp**

He elegido C Sharp como lenguaje de programación porque es un lenguaje de alto nivel que agiliza la programación y las herramientas de desarrollo de Emotiv son accesibles desde este lenguaje.

Algunas de las ventajas que ofrece:

- C Sharp es un lenguaje moderno y orientado a objetos, con una sintaxis muy similar a la de C++ y Java. Combina la alta productividad de Visual Basic con el poder y la flexibilidad de C++.
- Tiene también la ventaja de que con C Sharp/.NET no nos atamos a ninguna plataforma en particular.
- C Sharp gestiona automáticamente la memoria, y de este modo evita los problemas de programación tan típicos en lenguajes como C o C++.
- La IDE de Visual Studio simplifica la programación de interfaces gráficas.

- Mediante la plataforma .NET desde la cual se ejecuta es posible interactuar con otros componentes realizados en otros lenguajes .NET de manera muy sencilla.

- También es posible interactuar con componentes no gestionados fuera de la plataforma .NET. Por ello, puede ser integrado con facilidad en sistemas ya creados.

- Desde C Sharp podremos acceder a una librería de clases muy completa y muy bien diseñada, que nos permitirá disminuir en gran medida los tiempos de desarrollo.

Cabe comentar que no es tan rápido como otros lenguajes de programación de mas bajo nivel, sin embargo la aplicación propuesta no requiere un tiempo de respuesta tan elevado como para que esto influya en la decisión.

### 9.1.5. Librerías de generación de gráficas

#### ZedGraph

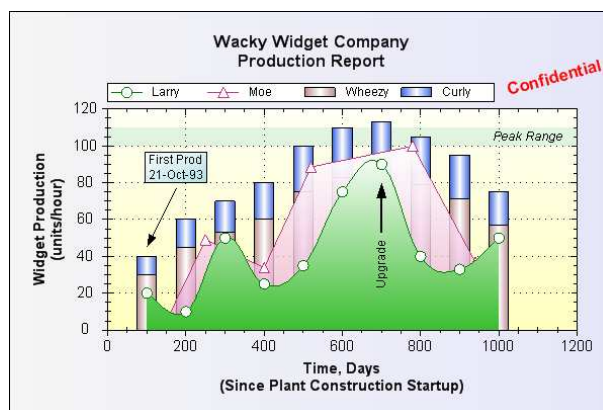


Figura 9.4: ZedGraph

He elegido ZedGraph [8] para generar las gráficas de las lecturas EEG porque es una librería completa, sencilla y flexible orientada a .NET que usa Windows

Forms UserControl, y ASP web-accesible controls para crear gráficas de líneas 2D, de barras, y gráficas circulares.

Las clases ofrecen un alto grado de flexibilidad, se puede personalizar prácticamente todos los aspectos de las gráficas. A la vez el uso de las clases es sencillo y cuenta con valores por defecto para todos los atributos de las clases. Incluyen funcionalidades para escalar apropiadamente los rangos de los ejes basado en el número de muestras a mostrar. Es compatible con las primeras versiones de .NET: .NET 2.0

### Microsoft Chart Controls

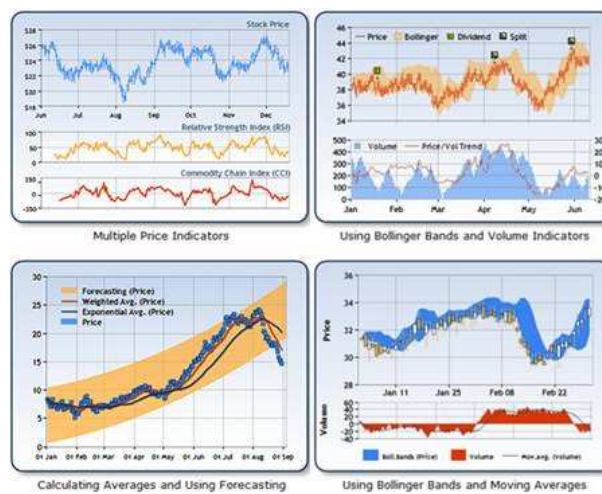


Figura 9.5: Microsoft Chart Controls

Microsoft Chart Controls [9] es una alternativa viable y completa pero me he decantado por ZedGraph porque su uso es complejo y no ofrece tanta documentación y soporte como ZedGraph, además de ser propietario y requerir más recursos.

### 9.1.6. Emotiv SDK: Medidas de la suite Affectiv

BrainTrainer se basa en la funcionalidad proporcionada por la SDK de Emotiv, que proporciona toda la interfaz de comunicación con el hardware. Son librerías que están desarrolladas en C e incluyen wrappers o conversores para C Sharp y Java. Calcula a partir de los 14 sensores distribuidos por el cortex cerebral niveles de excitación, concentración/aburrimiento, meditación y frustración predefinidas, que forman un paquete de detecciones emocionales propietario llamado: Affectiv.

## 9.2. Validación de datos

El primer objetivo (Cap. 5.1) es comprobar la validez las lecturas EEG del paquete Affectiv, ya que originan de algoritmos propietarios de Emotiv a los que no se proporciona acceso. Es importante comprobar que se pueden relacionar con estados mentales específicos de un individuo.

### 9.2.1. Método de pruebas

Se ha utilizado un protocolo uniforme para conducir las pruebas:

Se registra una sesión de 10 minutos de duración en la que el sujeto realiza una actividad predeterminada. A excepción de una prueba de ejercicios suaves de relajación, el sujeto está sentado en una postura erguida. Se le pide que dedique toda su atención a la actividad en cuestión, intentando evitar distracciones innecesarias y siendo consciente de la musculatura facial y craneal, con tal de no introducir interferencias en el experimento.

Las actividades preestablecidas que hemos seleccionado son las siguientes:

0. Ninguna actividad específica: se graba al sujeto en estado normal, en el que puede hacer lo que quiera, con objeto de usarlo como referencia de control.

1. Meditación con ojos cerrados

2. Meditación con ojos abiertos
3. Ejercicios físicos de relajación suaves
4. Colorear un dibujo

Se registra la media, varianza y desviación típica de cada sesión de 10 minutos. También se registra la gráfica asociada a la sesión.

Se contrastan los datos, siempre entre lecturas del mismo sujeto para contrastar en las condiciones mas homogéneas posibles.

### **9.2.2. Resultados**

Como se puede comprobar en los resultados de los siguientes apartados, las estadísticas sobre las diversas lecturas EEG de las sesiones de actividades predefinidas son difíciles de analizar y poco concluyentes, no muestran una relación evidente entre las actividades realizadas y el estado del individuo.

Es difícil extraer información concluyente de las medias y estadísticas generadas a partir de toda la sesión, resulta a veces más anecdótico ver una sesión e interpretarla sobre la marcha, sobretodo cuando se experimenta sobre uno mismo y se puede relacionar el estado de uno mismo con la gráfica generada. Resaltan los niveles de excitación sobretodo, que son muy volátiles y saltan a la mínima distracción.

Como éste proyecto tiene por objetivo potenciar estados meditativos, aunque también es capaz de potenciar otros perfiles, nos hemos centrado en esta medida. Además postulamos que debería ser el estado que muestre una diferencia más radical que los otros, teniendo en cuenta que la actividad mental se aquieta y relentiza, al predominar ondas alpha y theta, de frecuencia más baja.

No hay grandes diferencias en las medias de las mediciones de meditación, entre la sesión control y las sesiones de meditación. De todas maneras hay que destacar que la media de ésta variable varía entre unos valores máximos y mínimos

muy acotados, entre 0.3 y 0.45 aproximadamente.

Se aprecia un pequeño incremento de la media de esta variable en las sesiones de meditación, aproximadamente de 0.02 o 0.03. Aunque parezca poco significativo, en proporción al máximo y mínimo observados (un rango de 0.15) supone hasta un 20 por ciento de incremento en este intervalo.

En los demás experimentos: colorear dibujos y ejercicios de relajación, que no tienen una naturaleza excitante y requieren de concentración, se observan resultados similares. Se puede observar que la media de meditación es más elevada que la de la sesión de control y la concentración también es alta.

En cuanto a las demás medidas, son más fluctuantes, por lo tanto más fáciles de observar a lo largo de la sesión. Sus medias tampoco cumplen las expectativas hipotetizadas, ya que el estado meditativo se caracteriza por una elevada concentración, un estado de bajo estímulo y excitación. En cambio las medias de excitación, concentración y frustración no muestran ninguna medida destacable, se similares en las demás sesiones y en la de control.

Postulamos a partir de las observaciones que es más conveniente maximizar las medidas de concentración y minimizar las de excitación para alcanzar un estado más próximo al de relajación o meditación.

### **Sesión de control (fig. 9.6)**

A continuación se muestra una sesión que servirá como referencia de control, en la que el sujeto realiza actividades variadas tales como dialogar, leer, etc.

Medidas Afectiv: meditación, excitación , frustración, concentración

Medias: 0.3317866, 0.4000683, 0.4620782, 0.6762527

Desviación Standard : 0.02505939, 0.2078962, 0.1906048, 0.1198267

Varianza : 0.00062813, 0.04323233, 0.03633985, 0.01436228



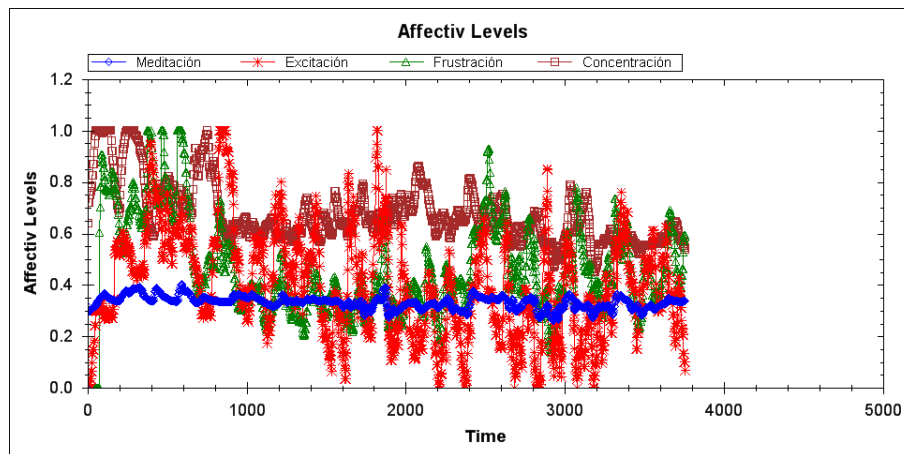


Figura 9.6: Sesión de control

### Sesión de Meditación con ojos cerrados (fig. 9.7)

A continuación se muestra una sesión de meditación con ojos cerrados, en postura sentada, en la que el individuo se concentra en su respiración y tiene la intención de relajarse. Se le pide que procure evitar pensamientos externos y que si se distrae devuelva la atención a la respiración.

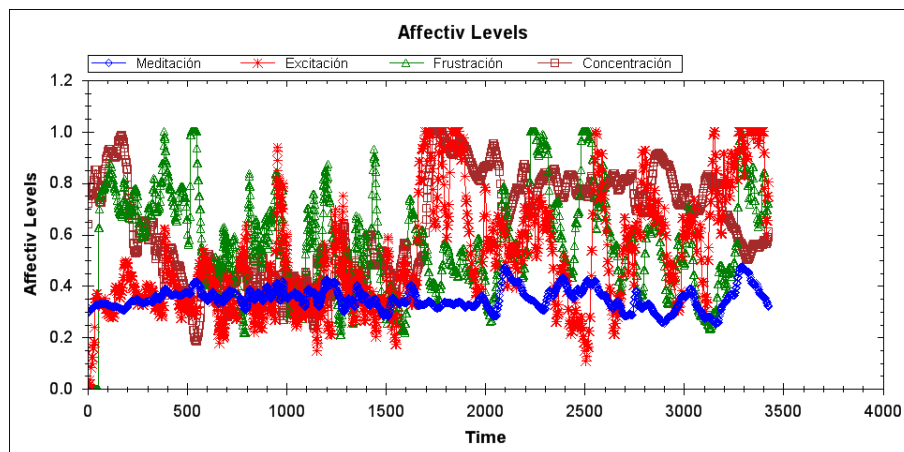


Figura 9.7: Sesión de Meditación con ojos cerrados

Medidas Afectiv: meditación, excitación , frustración, concentración

Medias: 0.3496734, 0.5132304, 0.566605, 0.6403581

Desviación Standard : 0.04138398, 0.2218871, 0.2007958, 0.1979616

Varianza : 0.00171312, 0.04924819, 0.04033064, 0.03920016

### Sesión de Meditación con ojos abiertos (fig. 9.8)

A continuación se muestra una sesión de meditación con ojos abiertos, en postura sentada, en la que el individuo se concentra en su respiración y tiene la intención de relajarse. Se le pide que procure evitar pensamientos externos y que si se distrae devuelva la atención a la respiración.

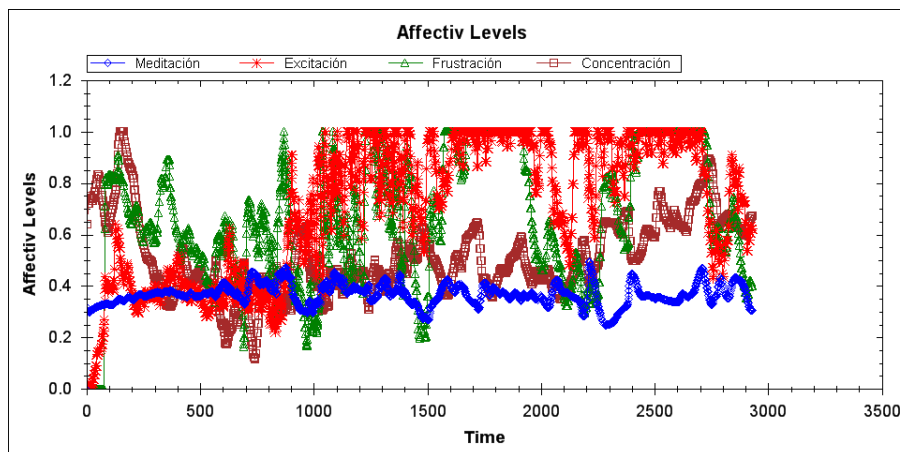


Figura 9.8: Sesión de Meditación con ojos abiertos

Medidas Afectiv: meditación, excitación, frustración, concentración

Medias: 0.3659078, 0.7066157, 0.6696066, 0.5176402

Desviación Standard : 0.04250349, 0.2685571, 0.2555416, 0.1525873

Varianza : 0.00180715, 0.07214742, 0.06532367, 0.0232908

### Sesión de Ejercicios de Relajación: ChiKung (fig. 9.9)

A continuación se muestra una sesión de ejercicios de relajación, en concreto de ChiKung, una disciplina taoista milenaria, en los que el sujeto realiza

movimientos muy suaves, de pie, y mantiene la atención enfocada en diferentes partes del cuerpo y en la respiración. Se le pide que concentre en los movimientos y procure evitar distracciones, devolviendo la atención al ejercicio si su mente divaga.

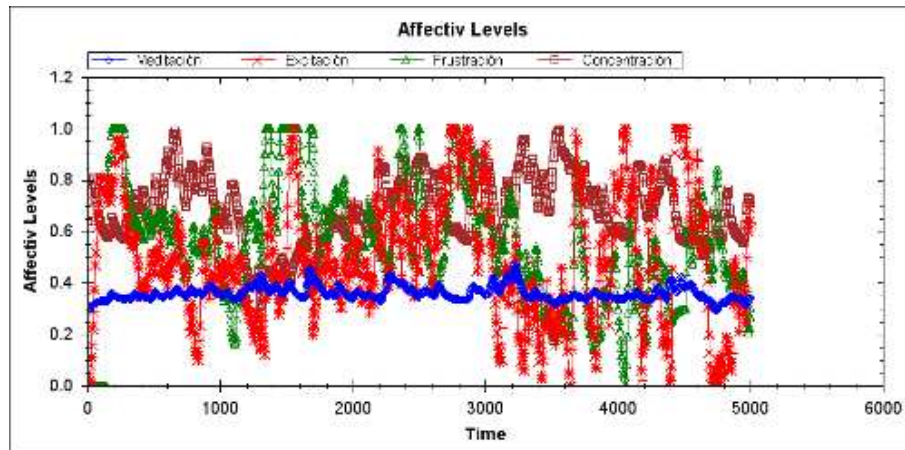


Figura 9.9: Sesión de Ejercicios de Relajación: ChiKung

Medidas Afectiv: meditación, excitación, frustración, concentración

Medias: 0.3591281, 0.4931224, 0.5459366, 0.6816701

Desviación Standard : 0.02691932, 0.2434386, 0.2366906, 0.1361739

Varianza : 0.0007248009, 0.05927412, 0.0560336, 0.01854704

### Sesión de Colorear dibujos (fig. 9.10)

A continuación se muestra una sesión de colorear dibujos, en postura sentada, en la que al individuo se le proporciona un dibujo de contornos en blanco y negro y lápices de colores. Su tarea consiste en colorear, del color que se le antoje el dibujo, manteniéndose concentrado e intentando evitar pensamientos distractores.

Medidas Afectiv: meditación, excitación, frustración, concentración

Medias: 0.356819, 0.7418114, 0.6566538, 0.69407

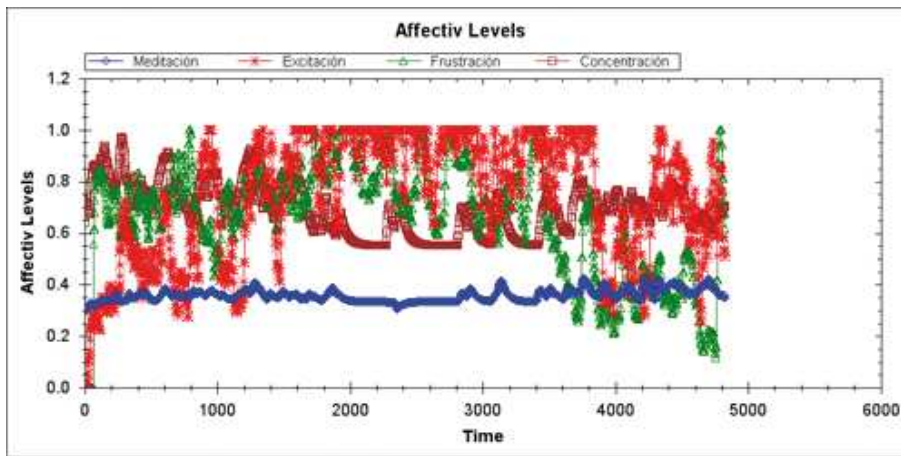


Figura 9.10: Sesión de Colorear dibujos

Desviación Standard : 0.02328126, 0.240693, 0.220845, 0.09647269

Varianza : 0.00054212, 0.05794493, 0.04878251, 0.009308896

### 9.3. BrainTrainer

Uno de los objetivos prácticos del proyecto se trata de desarrollar un programa monitorización y entrenamiento de patrones cerebrales: BrainTrainer.

Registra la actividad cerebral, tanto las lecturas EEG como los gráficos, y genera una señal auditiva en función del nivel de relajación del individuo.

Se ha diseñado como prueba de concepto y herramienta para las siguientes fases del proyecto, que lo usarán para registrar el patrón electroencefalográfico del individuo y para el entrenamiento de éste, con el fin de ganar consciencia sobre su estado mental y aprender a alterarlo.

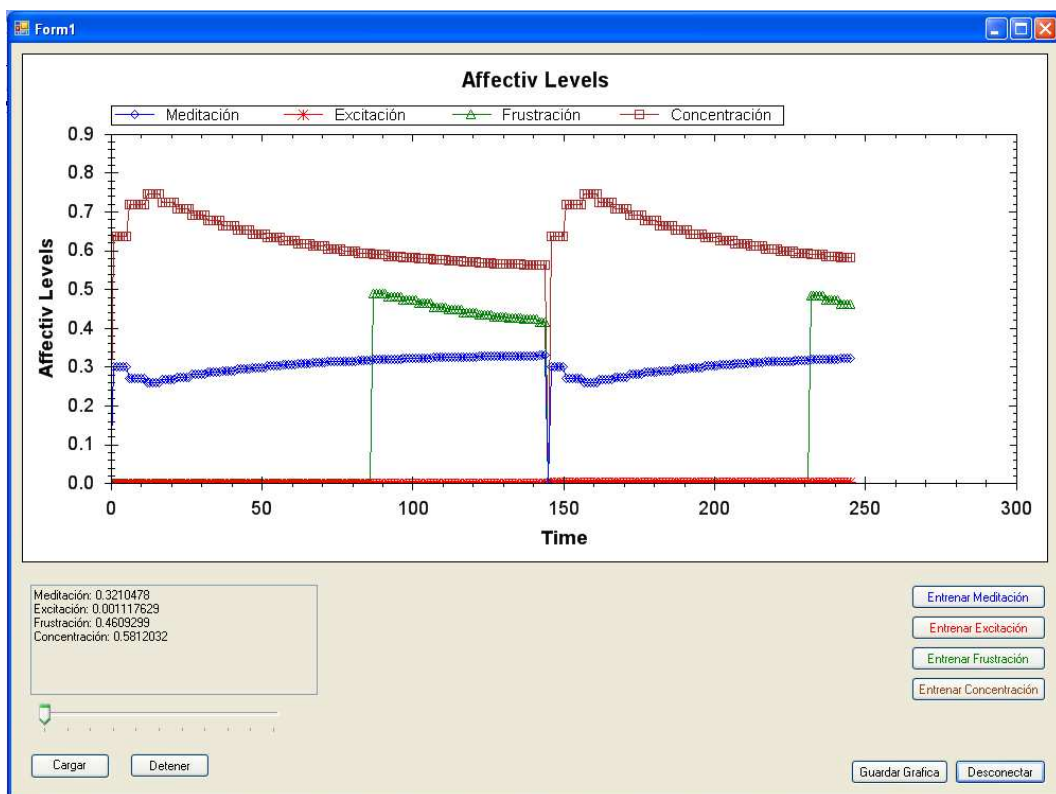


Figura 9.11: BrainTrainer

### **9.3.1. Funcionalidad**

#### **Conectar**

Permite conectar o desconectar la comunicación con el dispositivo Emotiv. Tiene ambas funcionalidades porque desconectar el dispositivo sin antes conectarlo causa un fallo en el programa, de esta manera se asegura que no suceda por error.

#### **Ventana de Log**

Registra los eventos importantes del programa: Conexión/Desconexión, Valores Affectiv, otros eventos...

#### **Cargar Sonido**

Carga un sonido en formato wav y lo reproduce en un bucle. El sonido tiene como propósito actuar de señal de control para el sujeto.

#### **Detener Sonido**

Detiene la reproducción del sonido.

#### **Barra de Volúmen**

Muestra el volúmen actual, que actúa como referencia del estado del individuo.

### **Botones de Entrenamiento**

Permiten seleccionar que medida Afectiv se quiere entrenar: Meditación, Excitación, Frustración o Concentración.

### **Guardar Gráfica**

Guarda la gráfica en un fichero de imagen .png.

### **Registrar estadísticas EEG**

El programa guarda automáticamente las lecturas EEG en un fichero llamado *affectivLog* y genera las estadísticas sobre ellas: medias, varianzas y desviaciones típicas.

## **9.3.2. Entrenamiento por retroalimentación**

El objetivo principal del programa y el segundo sub-objetivo (Capítulo 6.1) del proyecto es crear una señal acústica, a partir de las ondas electromagnéticas producidas por su cerebro, que refleja el estado del individuo.

Esta señal tiene como objetivo concienciar al individuo sobre de su estado mental o perfil electroencefalográfico actual.

La fase de entrenamiento permite al individuo reaccionar a esta señal acústica, y con la intención de modificarla le será de ayuda para conducir su estado mental o perfil electroencefalográfico hacia el patrón deseado ( perfil diana ).

Este fenómeno crea un lazo de control, en la que el cerebro actúa como controlador, recibiendo una señal de control acústica que le retroalimenta el dispositivo EEG, que refleja su propio funcionamiento.

El diseño del programa proporciona una funcionalidad versátil, que permite

entrenar al individuo hacia distintos patrones o perfiles mentales.

La señal acústica puede ser producida para promover o maximizar patrones característicos de estados mentales de meditación y relajación, concentración o aburrimiento, excitación y frustración.

### 9.3.3. Resultados Retroalimentación

Los resultados de las sesiones de retroalimentación, así como los de la fase de validación, tampoco son conclusivos. Seguramente por las mismas razones que en las pruebas de validación, los datos extraídos son relativos y es más fácil de observar el fenómeno de retroalimentación a corto plazo, gráficamente. El proceso es muy susceptible a distracciones y se observan cortos periodos de concentración pero son más bien de evidencia gráfica y anecdótica, son subjetivos y difíciles de demostrar estadísticamente. A continuación se puede observar una sesión de entrenamiento de concentración (señal marrón), cuya media es algo más alta de lo normal: 0.72 cuando suele girar alrededor de 0.6. ( figura 9.12 )

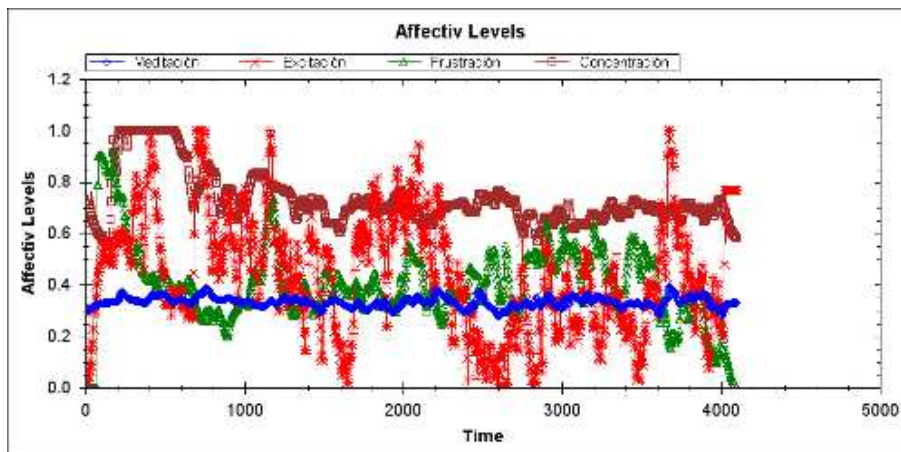


Figura 9.12: Sesión de Retroalimentación

Medidas Affectiv: meditación, excitación, frustración, concentración

Medias: 0.3325399, 0.4455795, 0.431131, 0.7233741



Desviación Standard : 0.01976059, 0.2362032, 0.2010424, 0.1097379

Varianza : 0.0003905735, 0.0558048, 0.04042735, 0.01204517

#### **9.3.4. Registro de patrones EEG y estadísticas**

Esta funcionalidad del BrainTrainer cumple el tercer sub-objetivo (Capítulo 6.1) tiene por objeto registrar en memoria los patrones de EEG (Electroencefalograma) proporcionados por el dispositivo EEG Emotiv.

Toma lecturas periódicas del nivel de excitación, concentración/aburrimiento, meditación y frustración y las guarda en memoria con una marca temporal para su posterior análisis. Calcula también las medias, varianzas y desviaciones típicas de las 4 variables y guarda una copia de la imagen de la gráfica generada.

Es de gran utilidad para el protocolo de entrenamiento porque genera estadísticas sobre los datos para su futuro análisis, permitiendo así tanto validar que hay una relación real entre el estado del individuo y los datos que produce el Emotiv como agilizar el seguimiento del éste.

# Capítulo 10

## Impacto socioeconómico

El proyecto puede ser de gran impacto tanto social como económico. Aunque esta dirigido a casos graves, en los que los que será más fácil poner de manifiesto su efectividad, tendrá también aplicación en un amplio abanico de condiciones donde el dolor es un componente inhabilitante importante.

Tanto en el caso de las enfermedades terminales, donde generalmente se dedica una tercera parte de los recursos sanitarios al último tramo de la enfermedad, como en el de las enfermedades crónicas en las que los tratamientos pueden ser sumamente costosos y de duración indeterminada, el procedimiento propuesto puede producir un ahorro en recursos farmacológicos y hospitalarios considerable. Todavía más importante, en los casos de dolor crónico, el tratamiento propuesto podría facilitar la reducción del dolor con la consiguiente resinserción del paciente en la vida social y productiva.

La enfermedad crónica o terminal tiene un efecto emocional devastador para cualquier individuo. Desde este punto de vista, un procedimiento terapéutico económico, que el propio paciente se puede administrar, podría ser un importante mecanismo para promover su autoestima e integración social.

Así, nuestro proyecto propone una solución que implica por una parte ahorro en términos económicos, y por la otra es integradora ya que proporciona al indi-

viduo la oportunidad de tomar un papel activo en la mejora de su salud mental y física permitiéndole afrontar, según el caso, el dolor y la inevitabilidad de la muerte.

# Capítulo 11

## Conclusiones

Este proyecto propone varias fases pero se centra en las iniciales, de validación y desarrollo de herramientas básicas para hacer un estudio en mayor profundidad, poniendo el protocolo de entrenamiento en práctica con un grupo de sujetos y haciendo un seguimiento a largo plazo.

Aunque la relación entre sesiones de lecturas EEG proporcionados por el Emotiv parece poco conclusiva a primera vista, cabe futura investigación al respecto, se propone un protocolo de experimentación más riguroso y una toma de datos más sensible, ya que por ahora el software depende de los algoritmos propietarios de Emotiv.

### 11.1. Trabajo Futuro

Con la base que proporciona este proyecto se propone para trabajo futuro mejorar la tecnología de análisis de señal EEG, con tal de hacerla mas sensible, dirigiendo el esfuerzo a detectar la actividad en las bandas frecuenciales alpha y theta. Con una mejor detección del estado de relajación profunda o meditativo, el programa será capaz de proporcionar una señal más fiable y sensible para guiar al sujeto.



# Bibliografía

- [0] Communication From The Commission To The Council, The European Parliament And The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions  
<(SEC(2005)1095) Brussels, 13.9.2005 COM(2005)425 final >
- [1] Linda E. Carlson, Zenovia Ursuliak, Eileen Goodey, Maureen Angen, Michael Speca et al (2000) The effects of a mindfulness meditation-based stress reduction program on mood and symptoms of stress in cancer outpatients: 6-month follow-up,  
<DOI 10.1007/s005200000206 >
- [2] L. I. Aftanas, S. A. Golocheikine et al (2001) Human anterior and frontal midline theta and lower alpha reflect emotionally positive state and internalized attention: high resolution EEG investigation of meditation  
<elsevier Neuroscience letters 310 (2001) 57-60 >
- [3] David L. Turdeau (2004) EEG Biofeedback for addictive disorders - the state of the art in  
<2004 >
- [4] Kenneth R. Pelletiera, Erik Peperb (1977) Developing a biofeedback model: Alpha eeg feedback as a means for pain control International Journal of Clinical and Experimental Hypnosis  
<Volume 25, Issue 4, 1977, Pages 361 - 371 >

- [5] Linda E. Carlson, Michael Speca, Peter Faris , Kamala D. Patel (2007) One year pre–post intervention follow-up of psychological, immune, endocrine and blood pressure outcomes of mindfulness-based stress reduction (MBSR) in breast and prostate cancer outpatients  
<Brain, Behavior, and Immunity 21 (2007) 1038–1049
- [6] Neurosky  
<<http://www.neurosky.com/> >
- [7] Enobio  
<<http://starlab.es/products/enobio> >
- [8] ZedGraph  
<<http://sourceforge.net/projects/zedgraph/> >
- [9] Microsoft Chart Controls  
<<http://archive.msdn.microsoft.com/mschart> >

---

Firmado: David Blanco  
Bellaterra, Septiembre de 2011



## **Resum**

S'ha demostrat que la pràctica d'estats de relaxació profunda redueix el dolor i incrementa el benestar i la qualitat de vida. Els estats de relaxació profunda i meditació estan al seu torn associats a patrons electroencefalogràfics (EEG) característics.

En el present projecte proposem un procediment pal·liatiu del dolor basat en l'entrenament autodidàctic per aconseguir aquests estats de relaxació. Per a això es proposa retro-alimentar al subjecte un senyal auditiu reflex de la seva activitat EEG que l'ajudi a modificar voluntàriament la seva activitat cerebral, la qual cosa li permet aproximar-la progressivament al patró EEG corresponent al de relaxació profunda desitjat.

S'ha dissenyat un protocol d'entrenament d'estats mentals de relaxació i meditació (entre altres) i implementat un programa que processa el senyal EEG i genera un senyal auditiu reflex de l'activitat cerebral de l'individu. També registra les lectures EEG del progrés de l'individu, genera les gràfiques corresponents i genera dades estadístiques per a futur anàlisi.

## **Resumen**

Se ha demostrado que la práctica de estados de relajación profunda reduce el dolor e incrementa el bienestar y la calidad de vida. Los estados de relajación profunda y meditación están a su vez asociados a patrones electroencefalográficos (EEG) característicos.

En el presente proyecto proponemos un procedimiento paliativo del dolor basado en el entrenamiento autodidáctico para alcanzar dichos estados de relajación. Para ello se propone retro-alimentar al sujeto una señal auditiva refleja de su actividad EEG que lo ayude a modificar voluntariamente su actividad cerebral, lo que le permite aproximarla progresivamente al patrón EEG correspondiente al de relajación profunda deseado.

Se ha diseñado un protocolo de entrenamiento de estados mentales de relajación y meditación (entre otros) e implementado un programa que procesa la señal EEG y genera una señal auditiva refleja de la actividad cerebral del individuo. También registra las lecturas EEG del progreso del individuo, genera las gráficas correspondientes y genera datos estadísticos para futuro análisis.

### **Abstract**

It has been demonstrated that the practice of deep relaxation states reduces pain and aids well-being and quality of life. Deep relaxation and meditative states are related to characteristic electroencephalographic (EEG) patterns.

In this project we propose a procedure for pain palliation based on auto-didactic training for acquiring mentioned deep relaxation states. For this an auditive signal, reflex of his own EEG activity, is fed back to the subject with the purpose of assisting in modifying voluntarily his mental activity, which at the same time progressively approximates it to the corresponding deep relaxation EEG pattern.

A protocol for training the mental state of relaxation and meditation (among others) has been designed and a program that processes the EEG signal and generates an auditive signal, reflex of the subjects mental activity, has been implemented. The program also logs the subjects EEG readings, generating the corresponding graphs and statistics for future analysis.