

ETERNO RESPLANDOR DE UNA MENTE SIN RECUERDOS: SI ME DEJAS TE SUPRIMO.**Eternal sunshine of spotless mind: if you leave me I delete you.****RESUMEN**

Este artículo presenta un enfoque neuro-computacional para alterar el flujo bioeléctrico cerebral usando análisis de componentes principales, zonificación espacializada y técnicas de Inteligencia Artificial (optimización) sobre las señales del electroencefalograma (EEG). La idea terapéutica es invertir el patrón de un recuerdo indeseado en el cerebro inmediatamente tras su aparición, a fin de anular su ocurrencia en el tiempo (olvidarlo). Preliminares pruebas sobre un usuario descritas en este texto, han mostrado la efectividad en el tratamiento de una decepción sentimental gracias a una aceleración inducida de la degeneración del recuerdo de su pasada relación.

PALABRAS CLAVES: Algoritmo Genético, EEG, Espacialización de sonido, Neuro-computación, Optimización, PCA

ABSTRACT

In this article an EEG-based brain-computer interface is introduced. This interface aims at fading out affective disorder patterns by means of spatialized sounds as the electrical mental flow is modified (after training). Detected patterns are reversed via sound-caused brain stimulation. Therapeutic uses of this approach address to break the lodging of the pattern in the brain time after time until no occurrence whatsoever (it's been forgotten). Though this method's got neither medical nor statistical validation yet, preliminary assessments on the treatment of a patient with loving distress have shown effective and promising results.

KEYWORDS: Brain-computing, EEG, Genetic Algorithm, Optimization, PCA, Spatialization of Sound.

1. INTRODUCCIÓN

A través de la historia, la ciencia, desde sus diferentes posibilidades, se ha ocupado de mejorar las condiciones de vida del ser humano, modificando su estado anímico y emocional mediante la alteración o estimulación del cerebro. Mediante diferentes alternativas que van desde métodos directos e invasivos como la lobotomía, pasando por la ingestión de medicamentos, la musicoterapia y los generadores de ondas cerebrales, ha logrado probar su viabilidad.

Como parte de ese propósito, el presente artículo plantea inquietudes y comenta resultados preliminares de un método mediante el cual se monitorea la emisión de las ondas cerebrales de un individuo sometido a cierta clase de estímulos, relacionados con un rompimiento emocional reciente; y a partir de los datos arrojados se encuentra un estímulo auditivo adecuado que revierte los estados emocionales no deseados.

La **electroencefalografía (EEG)** es una exploración neurofisiológica que se basa en el registro de la actividad bioeléctrica cerebral en condiciones basales de reposo, en vigilia o sueño, o durante cualquier tipo de actividad

JUAN D. GOMEZ

Ingeniero Sistemas, M. Sc. PhD(c)
Profesor Auxiliar
Universidad de Ginebra, Suiza
juan.gomez@unige.ch

ELIÉCER HERRERA URIBE

Ingeniero de Sistemas.
Docente auxiliar, Universidad
Tecnológica de Pereira
eherrera@utp.edu.co

ESTEBAN M. CORREA

Ingeniero Sistemas, M. Sc. (Std)
Asistente Graduado
Universidad de los Andes, Bogotá
em.correa20@uniandes.edu.co

cerebral. El EEG puede ser leído mediante un equipo de electroencefalografía. Su activación o fluctuación puede ser inducida y/o variada artificialmente mediante diversas técnicas tales como: Estimulación luminosa intermitente, Estimulación visual, Estimulación auditiva, entre otras [8].

Estados de ánimo, desordenes emocionales y enfermedades cerebro vasculares pueden ser diagnosticadas mediante un análisis de EEG. En un ámbito menos general, el EEG puede modelar la manera como nuestro cerebro genera actividad bioeléctrica ante determinado recuerdo o pensamiento. Conociendo un patrón particular y no deseado, este puede ser modificado mediante técnicas de corrección tales como la estimulación magnética transcranial que modifica un flujo eléctrico obligando al EEG a cambiar, permitiendo que el cerebro pueda pasar (inducidamente) de un estado de ánimo de depresión a uno de euforia, o que se envíe un comando motoro una mano, por ejemplo.

En este trabajo en particular hemos modelado el patrón EEG que produce un individuo (en adelante sujeto **A**) durante la ruptura de una relación sentimental con su pareja (sujeto **B**). Este patrón de decaimiento anímico en

A, se intenta corregir mediante estimulación auditiva con el fin de eliminar la sintomatología fisiológica que este causa: angustia, variación en la presión, náuseas, depresión etc. Corrigiendo este patrón cada vez que se presenta, se pretende acelerar el proceso de recuperación tras la ruptura. En este trabajo se busca primero el patrón –pensando en ella– y luego se describe un método para revertirlo –olvidándome de ella–.

2. PRELIMINARES

2.1 Emotiv EPOC

La neuro-tecnología utilizada para este trabajo se basa en el sistema Emotiv EPOC, un hardware inalámbrico de diseño Australiano para leer las señales eléctricas cerebrales EEG. El precio de esta neuro-diadema oscila entre los 300 y 1000 dólares, dependiendo del tipo de persona o entidad que desea adquirirla. El kit Emotiv comprende entre otras características: 14 electrodos, cada uno de los cuales entrega una señal de actividad cerebral y un software [1] para adquisición, procesamiento, monitoreo y visualización de las mismas como el que se muestra en la figura 1.

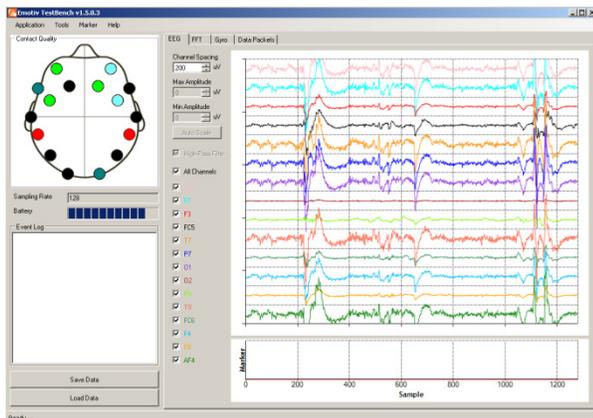


Figura 1: Interfaz de control para la lectura de flujo cerebral Emotiv.

Basado en la forma e intensidad de las señales recibidas en cada de los 14 canales (electrodos), el Emotiv permite modelar mapas cerebrales que dependen del pensamiento como los ejemplos que aparecen en la figura 2. Pensar en una fruta produce una actividad o mapa cerebral diferente al que produce el sentimiento de frustración, por ejemplo. De esta manera se pueden clasificar (mediante asociación) los campos eléctricos que producen diferentes pensamientos en un individuo y posteriormente determinar que pensamiento en particular es el que está procesando el cerebro –lectura de la mente–.

Como toda señal eléctrica las 14 señales entregadas por Emotiv pueden ser analizadas matemáticamente, es

sistema. Particularmente el análisis de señales y el reconocimiento de patrones tienen gran acogida en este campo de la neurociencia.

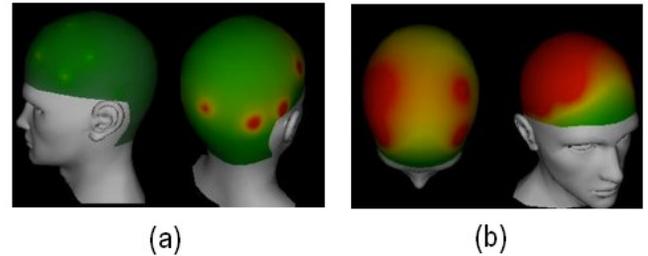


Figura 2: Dos mapas comunes de flujo cerebral (a) relajación (b) excitación

Hoy en día comienzan a aparecer más y más aplicaciones neuro-computacionales basadas en esta tecnología, desde juegos para experimentar súper poderes levantando, rotando o moviendo objetos con la mente, hasta comunicación diagnóstica con pacientes con parálisis o en coma. El Emotiv abre nuestras mentes literalmente hablando.

2.2 Sonido espacializado

La habilidad de percibir sonidos en el espacio es llamada percepción espacial [3]. La base de esta idea es que dependiendo de la posición de la fuente emisora del sonido, éste es procesado de manera diferente por ambos oídos, por ejemplo el sonido proveniente de un bafle situado a nuestra derecha llega primero al oído derecho, además gran porción de este sonido se procesa en dicho oído, mientras que al oído izquierdo llegará solo una menor parte del mismo y con un leve retraso.

El sonido puede ser espacializado desde cualquier punto en el espacio [5] donde se pueda ubicar una fuente emisora –arriba, abajo, atrás etc.– Sin embargo debido a que los oídos humanos están ubicados en posiciones opuestas de la cabeza es más fácil determinar la orientación y distancia de un sonido en el plano azimut –de izquierda a derecha y viceversa– tomando como referencia el punto medio de la cabeza entre ambos oídos.

Un filtrado especial de una señal de sonido llamado “Head Related Transfer Function” –HRTF– puede simular artificialmente diferentes posiciones para un sonido [2]. De modo que usando una HRTF podemos ubicar un sonido en la posición espacial que deseemos. En este trabajo en particular los sonidos usados están espacializados en el plano azimut con 25 posiciones de izquierda a derecha. Esto quiere decir que sonidos espacializados en la posición 1 serán escuchados por la derecha, sonidos en la posición 25 por la izquierda y sonidos en posiciones intermedias como la 13 serán percibidos en igual porción por ambos oídos (figura 3). Para este experimento hemos usado la base de datos de sonidos CIPIC que proporciona una amplia gama de

Por último cabe anotar que en nuestro caso, la especialización del sonido es un intento de acceder mayoritariamente a particulares regiones cerebrales. Además como veremos en siguientes secciones de este texto, se manipulan otras características del sonido tales como la frecuencia, con el fin de modelar la teoría "Frequency Following Response" –Respuesta de seguimiento a la frecuencia– la cual establece que el cerebro puede ser guiado hacia determinadas ondas de frecuencia escuchando un ritmo (beat) a dicha frecuencia por medio de audífonos.

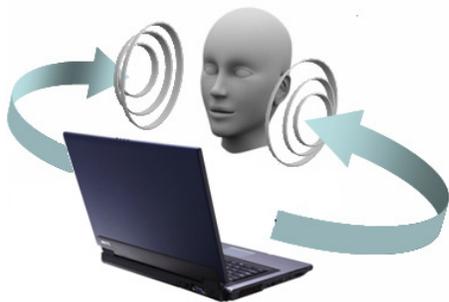


Figura 3: Ilustración gráfica de la espacialización del sonido en el plano azimut con respecto a un usuario.

3. PATRÓN: PENSANDO EN ELLA

Para modelar el patrón de pensamiento que un sujeto **A** presenta ante un recuerdo particular (otro sujeto **B**, en este caso) se graba su EEG durante 30 segundos en los siguientes casos:

1. Ante fotografías/videos de **B** con alto contenido sentimental.
2. Escuchando canciones que recuerden en gran medida su relación con **B**.
3. Pidiéndole que recuerde los momentos más frustrantes/felices de su relación con **B**.
4. Pidiéndole que se concientice de que **B** debe ser olvidado.
5. Leyendo antiguas cartas escritas entre **A** y **B**.
6. Anhelando ver/estar con **B**.
7. Tratando de determinar por qué su relación con **B** se deterioró –asignado culpabilidades–.

Estos EEG describen el modelo de flujo electromagnético particular que se genera en el cerebro cuando el sujeto **A** consume la tarea de generar pensamiento estrechamente relacionado con **B**. En otras palabras, representan la manera como **A** piensa en **B**. En este experimento se grabaron 50 secuencias de 30 segundos –500 muestras por segundo– para cada uno de los 7 casos descritos. Al final del proceso de grabación se obtiene para cada canal

multidimensional de casos –MMC– electro encefálica para el sujeto **A** después de una sesión de grabación EEG. Esta matriz es un modelo gráfico del flujo cerebral que produce el sujeto **B** en el cerebro de **A**.

Ya que no todas las señales EEG están vinculadas con el pensamiento que **B** produce en **A**, se debe determinar cuáles de los 14 canales son los que presentan mayor relevancia al describir el modelo de flujo eléctrico del cerebro de **A**. Unos pocos canales describen el patrón que esta propiamente ligado a este pensamiento particular y los restantes producen flujo corriente que no tiene relación estrecha con **B**. La visión instantánea, el audio ambiente del momento, funcionamiento de los órganos, el movimiento muscular, son factores que producen flujo EEG a todo momento e indiferente al sujeto **B**.

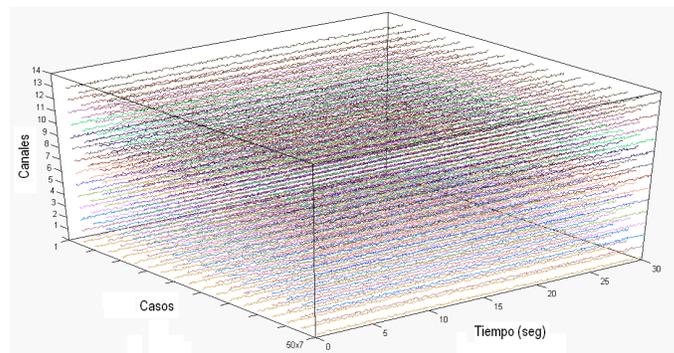


Figura 4: Matriz Multidimensional de casos MMC: Así reacciona mi cerebro cuando te recuerdo.

Matemáticamente estos canales (principales) se pueden hallar mediante un análisis de componentes principales –en español ACP, en inglés, PCA–. Técnicamente, el PCA construye una transformación lineal que busca una proyección de los datos en otra dimensionalidad según la cual estos datos queden mejor representados en términos de mínimos cuadrados [6]. El PCA retiene aquellas características del conjunto de datos que contribuyen más a su varianza, manteniendo un orden de bajo nivel de los componentes principales e ignorando los de alto nivel. El objetivo es que esos componentes de bajo orden regularmente contienen el "más importante" aspecto de esa información.

Para aplicar PCA sobre los datos de los canales EEG y determinar cuáles canales son los que representan el patrón que asocia a **B** con el pensamiento de **A**, se deben concatenar todos los datos de canales de la matriz MMD. En otras palabras, la matriz deja de ser tridimensional y pasa a ser bidimensional como si todos los experimentos hubiesen sido continuos en el tiempo. Después de esta concatenación en el eje del tiempo, tenemos una matriz de $n=14$ columnas (canales) por $m=50 \times 7 \times 30$ filas

$m=50 \times 7 \times 30$ vectores (muestras) de $m=14$ componentes (dimensión). El análisis de sus principales componentes se puede completar de la siguiente manera [6]:

1. Se centran los datos en su media.
2. Cálculo de la matriz de covarianza de los datos.
3. Se hallan los vectores y los valores propios de la matriz de covarianza.
4. Se determinan los vectores propios con mayor valor propio.

Para este experimento en particular el resultado del análisis de canales principales da a entender que los canales que mejor describen el flujo de pensamiento relacionado con **B** son solo 6 i.e 2, 4, 6, 10, 11, 13. Podemos así, concluir en esta sección que estos canales están conectados a las regiones cerebrales que producen actividad particularmente ligada al recuerdo del sujeto **B**. Por dicha razón es el comportamiento eléctrico en estos 6 canales el que se debe corregir (variar) en procura de que la actividad cerebral de **A** cuando está pensando en **B**, cambie –aminore el pensamiento hacia **B**–.

4. PATRÓN INVERSO: OLVIDANDOME DE ELLA

El objetivo de esta sección es buscar una estimulación cerebral –vía audio en este caso– que provoque una reacción –sobre los 6 canales principales– lo más opuesta posible a la que se presenta cuando **A** esta procesando pensamiento relacionado con **B**. De este modo podemos controlar el flujo eléctrico del cerebro para mantenerlo distante del patrón de pensamiento.

Las señales de flujo del Emotiv varían entre 0 y 5 mv, por efectos prácticos hemos normalizado cada señal a 0 siendo -2.5 y +2.5 mv, el mínimo y máximo respectivamente. De modo que la suma de señales inversas debe ser igual a 0. Lo que haremos entonces es diseñar un patrón de estímulo cuya suma entre el flujo que este produzca y el flujo de pensamiento hacia **B**, sea mínima en los 6 canales principales. Planteado de esta manera, el problema es un problema típico de optimización que se puede describir como la minimización del valor absoluto de la suma de los flujos en los canales principales:

$$\min_S \sum_t \sum_{c=1}^6 \|f_c^b + f_c^s\|$$

Formula 1: Minimización de la suma de los flujos en los canales principales del EEG.

Donde c indica el canal, f_c^b la señal producida en el canal c cuando **A** piensa en **B** y f_c^s la señal producida en el canal c por la estimulación cerebral de un patrón de sonido S . Dado que t son 30 segundos y si muestreamos las señales a una velocidad de 500 muestras por segundo,

tendremos 30x500 componentes para procesar en la sumatoria exterior de (1). Sin embargo, para simplificar el problema, o sea para no tener que procesar la señal entera emitida en cada canal, esta misma optimización se puede realizar solo sobre las principales componentes de las señales en tiempo, con los mismos resultados.

Para encontrar las principales componentes de las señales en cada canal se procede de igual manera que en la sección anterior, pero con una concatenación diferente. El resultado de este análisis arroja las componentes en tiempo más significantes en cada canal, de modo que la optimización ha de realizarse sobre ellas y no sobre todo el dominio de tiempo. En este experimento se ha obtenido que para cada uno de los 14 canales hay un número de 700 componentes principales (diferentes para cada canal). De este modo evitamos procesar 14300 muestras en el tiempo ($700+14300=30 \times 500$).

El patrón de sonido que causará la estimulación deseada se construye a partir de una base compuesta por sonidos de 15 instrumentos entre agudos y graves (α), 7 tonos diferentes (β), 25 especializaciones (δ), 8 niveles de volumen (ϵ) y 15 diferentes frecuencias (λ). De este modo podemos estimular de diferentes maneras –instrumentos–, en diferentes regiones –especialización del sonido–, con diferentes intensidades –volumen y tono– y a diferentes velocidades –frecuencia–. Así pues, un sonido S puede ser codificado de la siguiente manera:

$$S = [\alpha \beta \delta \epsilon \lambda]$$

Formula 2: Representación para un sonido S .

Donde α , β , δ , ϵ , λ , son enteros que indican cual es el estado de la variable. Por ejemplo, dado que β representa los tonos, esta variable varía de 0 a 6, así: 0=do, 1=re, 2=mi, 3=fa, 4=sol 5=la y 6=si.

Encontrar una codificación para un patrón de sonido óptimo S_{opt} que minimice (1) es un problema que se puede resolver aplicando una gran variedad de técnicas de optimización. En este trabajo hemos elegido un algoritmo genético, AG [8]. La representación del sonido descrita en (2) servirá para modelar un cromosoma¹ del algoritmo y la función (1) será la función de *fitness* o función objetivo [7].

Este AG busca de una manera óptima dentro del espacio de búsqueda de todas las posibles codificaciones de S , para encontrar la codificación que mejor se ajuste a nuestras necesidades i.e la codificación de S_{opt} . El proceso de convergencia del algoritmo se lleva a cabo de la siguiente manera:

Se le pide al individuo **A** que escuche atentamente durante 30 segundos un primer sonido S_1 generado aleatoriamente, entonces se obtiene el flujo cerebral que

produce dicho sonido y se evalúa (1). Cada 30 segundos el AG genera un nuevo S_i que es más óptimo que el anterior –se ajusta más a la estimulación que deseamos– y así continúa el proceso hasta que [8]: §1. Se alcance el mínimo de (1) i.e convergencia por mínimo global, no necesariamente cero §2. Se alcance un valor suficientemente bajo i.e convergencia por mínimo local §3. Se detiene la búsqueda manualmente y se utiliza el patrón de sonido que haya en el momento i.e convergencia por iteraciones.

En este experimento la convergencia fue por mínimo global² y tardó alrededor de 4 horas encontrar el sonido S que mejor se ajustaba a (1) (Ver figura 5). Para evitar el efecto de ruido producido por estrés o cansancio en el flujo eléctrico cerebral, estas 4 horas fueron seccionadas en 12 sesiones de 20 minutos. Es necesario que **A** escuche los sonidos con alto nivel de concentración cuando el algoritmo está buscando un óptimo, pues luego de hallarlo la manera garantizada de que la terapia propuesta funcione, será concentrándose en ese sonido de la misma manera que durante la búsqueda genética.

Cabe resaltar por último, que al comienzo de la búsqueda genética se encontraron patrones de sonido que amplificaban la forma del flujo en los canales principales, causando el efecto contrario, estos sonidos aumentan el pensamiento de **A** hacia **B**.

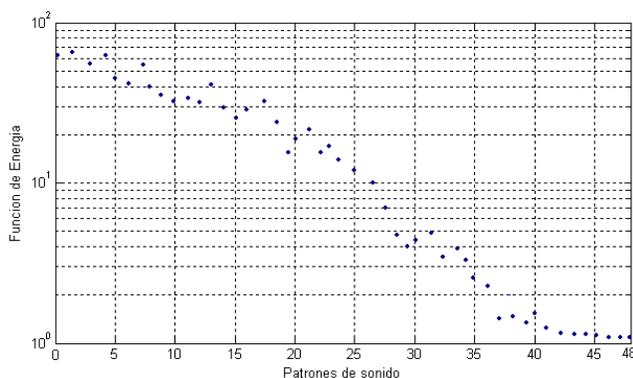


Figura 5: Comportamiento de la minimización genética. Cada instancia del eje x representa el mejor patrón de sonido para cada generación³. En el eje y , el valor de (1) para tal patrón.

5. CONCLUSIONES

Se ha presentado una metodología basada en lectura EEG y análisis de componentes principales para detectar un patrón de depresión anímica causado en un individuo tras la ruptura sentimental con su pareja. Este patrón ha sido corregido mediante estimulación auditiva optimizada con técnicas de Inteligencia artificial tales como los algoritmos genéticos. Se ha diseñado un patrón de audio

adaptado al mapa cerebral del individuo y se ha iniciado un proceso terapéutico donde se le pide escuchar dicho audio cada vez que sienta decaimiento en el ánimo a causa de su ruptura.

El individuo en mención ha manifestado experimentar alivio inmediato de toda sintomatología física al escuchar el patrón de audio cada vez que piensa en su pareja. A largo plazo el individuo manifiesta sentir atenuación de la sintomatología y menos frecuencia en el recuerdo de su pareja.

Finalmente en la figura 6 se puede apreciar un diagrama general del sistema propuesto en este artículo: El flujo parte de un usuario y un hardware Emotiv, se da entonces la lectura del EEG, el cálculo de PCA sobre las señales y la aplicación del algoritmo genético para la búsqueda de un patrón de audio óptimo. Como resultado y via audio espacializado, se logra variar el mapa cerebral del flujo bioeléctrico.

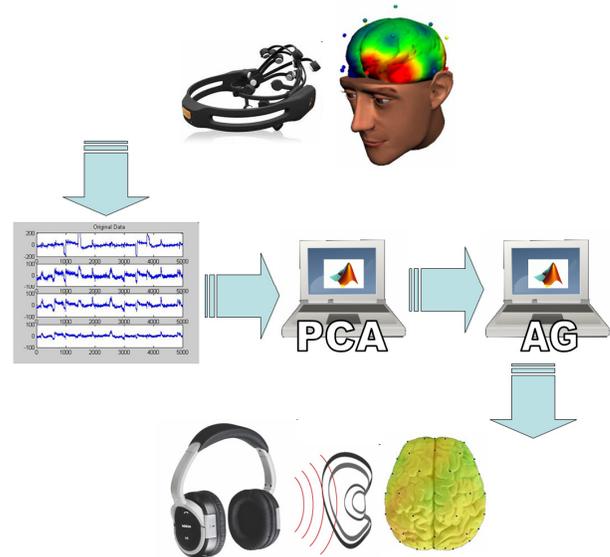


Figura 6: Diagrama del sistema propuesto.



Figura 7: Un usuario en prueba (CVML Universidad de Ginebra): Audífonos de alta definición en sus oídos para escuchar los patrones de audio. Al rededor de la sien, la diadema de electrodos Emotiv.

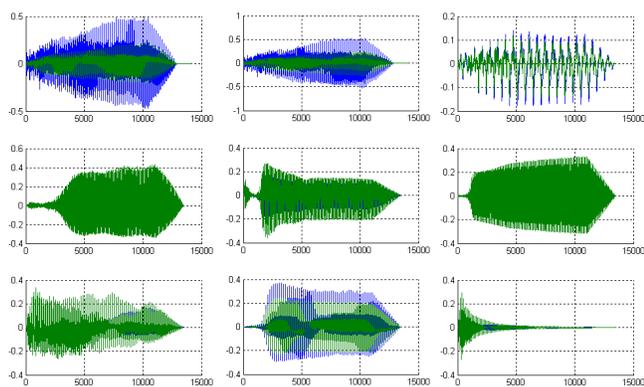


Figura 8: Nueve muestras aleatorias de patrones (sonidos espacializados) usados por el algoritmo genético durante la búsqueda del "individuo" optimo que minimiza (1).

6. AGRADECIMIENTOS

Hacer referencia a la Dr. Johanna A. Suarez es apenas justo, siempre que este artículo fue posible gracias al role que ella jugó dentro de esta investigación. No es un agradecimiento cuando no hay nada para agradecer, pero una manera de mostrar que cosas buenas, como este trabajo, pueden emerger del atropello de la vileza humana contra la nobleza. El olvido súbito, es una cualidad animal que pocos humanos ostentan, ya lo sabemos Dr. Suarez. Pero aun así, en esta línea seguirá fluyendo nuestra investigación. No obstante, cuando logremos el olvido planteado en este artículo, esperamos no seguir ni un paso más adelante, hacia la ingratitud y la indolencia.

mostramos por el ser humano y su comportamiento mezquino. Aquí seguiremos hasta que los resultados converjan, pero mientras tanto todo continúa a la espera, como se planteó. Bien sabemos que esto solo le incumbe al investigador, a quien además se le condenó a vivir con la eterna duda de no saber el "por qué". Se engañan y se hieren hombres irresponsablemente y nunca pasa nada, los culpables van serenos en sus autos con una sonrisota.

7. REFERENCIAS

- [1] <http://emotiv.com/developer/SDK/UserManual.pdf>
- [2] Ordonez, C. Navarun, G. Barreto, A. Sound spatialization as a navigational aid in virtual environments. Proc. 6th CSI Conference –Orlando FL, July 14-18, 2002: pag. 297-302.
- [3] Bregman, A. S. Auditory Scene Analysis: The Perceptual Organization of Sound. In Proc. WASPAA'01, New Paltz, NY (2001).
- [4] Begault, R. 3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia. Boston A.P. Professional (1994), ISBN: 0120847353.
- [5] Lindsay I Smith, A tutorial on Principal Components Analysis (1999).
- [6] J.T. Alander (1992). On optimal population size of genetic algorithms. Proceedings Com- pEuro 1992, Computer Systems and Software Engineering, 6th Annual European Computer Conference, 65-70.
- [7] D.E. Goldberg (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, Reading, MA.
- [8] <http://www.neurofisiologiaclinica.info/index.html>