

INTERFACES CEREBRO COMPUTADORA

Dra. en Ing. Josefina Gutiérrez Martínez

División de Investigación en Ingeniería Médica

La Neurorrehabilitación

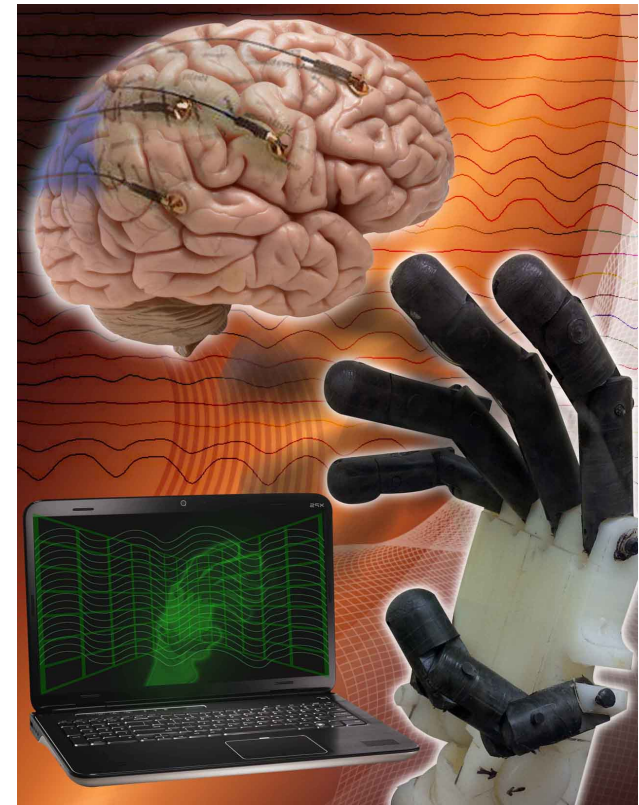
2

- Varias enfermedades o lesiones del Sistema Nervioso Central, como EVC, la parálisis cerebral, TCE, o la lesión medular; pueden causar discapacidad motora y sensitiva de las extremidades (superior e inferior).
- La rehabilitación neurológica está encaminada a elevar la capacidad de rendimiento físico del paciente, la formación y reeducación de las habilidades motrices, el mejoramiento de la postura corporal, la reeducación de los patrones de locomoción y de propiocepción. Un significativo impacto clínico de la Neurorrehabilitación es su potencial para activar tanto al sistema motor como el sistema sensorial, lo cual contribuye a cambios en la excitabilidad cortical.
- El tejido nervioso no permanece estático sino cambia continuamente en respuesta a varios estímulos o circunstancias [Carrillo-Mora, 2010].
- El tratamiento de la discapacidad se basa fundamentalmente en la facilitación y estimulación del proceso llamado “Neuroplasticidad” (re-entrenamiento neuronal) **mecanismo adaptativo** para compensar una función pérdida, o maximizar las funciones preservadas.
- Un principio CLAVE de la Neurorrehabilitación es el tratamiento intensivo y repetitivo

La Rehabilitación Neurológica ha sufrido cambios drásticos en las últimas dos décadas, particularmente por la incorporación en los programas de rehabilitación de dispositivos médicos computarizados y robóticos tanto para la asistencia como para la rehabilitación.

Las Interfaces Cerebro-Computadora (BCI)

Hoy en día, los sistemas de interfaz cerebro-computadora (BCI) son de gran interés en el ámbito de la investigación ya que se consideran como una **herramienta prometedora con un enorme potencial** para potenciar la neuroplasticidad, como alternativa de comunicación, y para recuperar la función motora del miembro parético.



Las Interfaces Cerebro Computadora (BCI)

Son tecnologías que tienen como objetivo proporcionar – al cerebro- una comunicación alterna para que las personas que sufren alguna discapacidad motora puedan interaccionar con su medio ambiente a través de un dispositivo externo.

A través de un sistema **BCI** se interpretan las intenciones del paciente (mover un dispositivo, comunicarse, mover un miembro), y a partir de las características obtenidas de la actividad cerebral traducirlas en órdenes que sean ejecutadas por un dispositivo externo.

Entre las aplicaciones están:

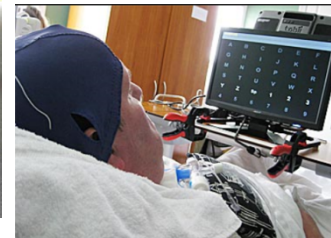
- **Comunicación**
- Asistencia. AVD
- **Rehabilitación motora**
- Entretenimiento
- **Entrenamiento cognitivo**
- Seguridad



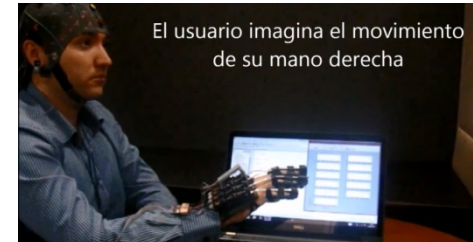
control silla de ruedas



control de órtesis

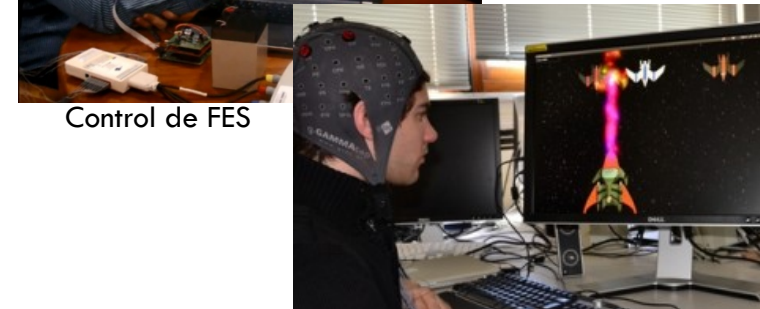


Selección de letras



El usuario imagina el movimiento de su mano derecha

control de un cursor



Control de FES

¿Qué utiliza una BCI?

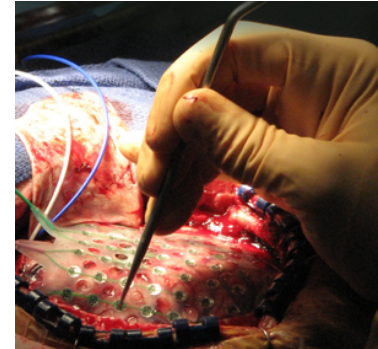
5

□ INVASIVAS

■ Eléctricas

- Potenciales de acción neuronales
- Electro-corticograma (ECoG)
- Potenciales de campo local (“Local Field Potentials”)

SEÑALES



□ NO INVASIVAS

■ Eléctricas

- Electroencefalograma (EEG)
- Potenciales Evocados (P300)

■ Magnéticas

- Magneto-encefalograma (MEG)
- Resonancia Magnética Funcional (fMRI)

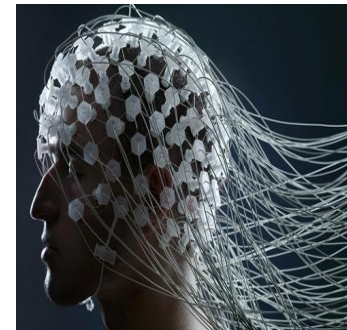
■ Ópticas

- NIRS (“Near-Infrared Spectroscopy”)

■ Acústicas

- Ultrasonido Doppler Transcraneal

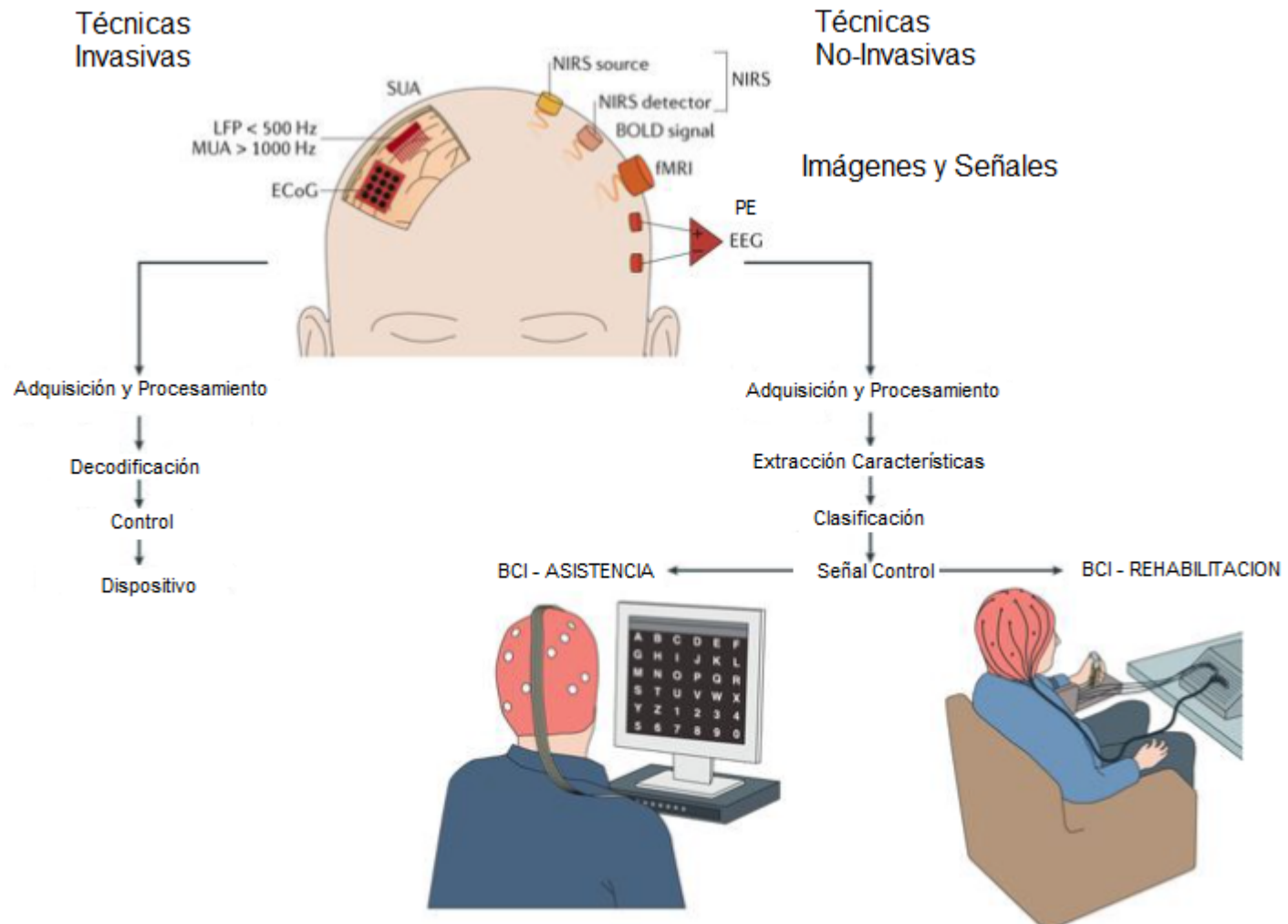
IMAGEN



La actividad cerebral se puede detectar mediante varias técnicas, que se pueden agrupar en 1) NEUROIMAGEN como la resonancia magnética funcional (fMRI), la tomografía por emisión de positrones (PET) y la espectroscopia por infrarrojo cercano funcional (fNIR), o la magnetoencefalografía (MEG) y 2) NEUROSEÑALES como los potenciales evocados (PE), la electroencefalografía (EEG), el registro sobre el cerebro o electrocorticografía (ECoG) , o dentro del cerebro o potenciales de acción neuronal (MUAP).

Estas a su vez que pueden agrupar el técnicas invasivas (ECoG, MUAP) requieren de vigilar reacciones adversas del tejido, garantizar la seguridad del paciente y la estabilidad en registros de largo plazo y las no-invasivas (fMRI, PET, MEG, EEG, PE).

La adquisición de la mayoría de estas señales no es conveniente para la aplicación de las BCI debido a los requerimientos técnicos complejos, no permiten movilidad, son costosos y las capacidades de tiempo real son limitadas.



Solamente el EEG y los PE han demostrado tener valor práctico para su uso clínico a pesar de ser señales susceptible a contaminación por movimiento ocular y actividad muscular y tener baja resolución espacial.

Paradigmas/Estrategias en BCI no-invasivo basado en EEG y PE

8

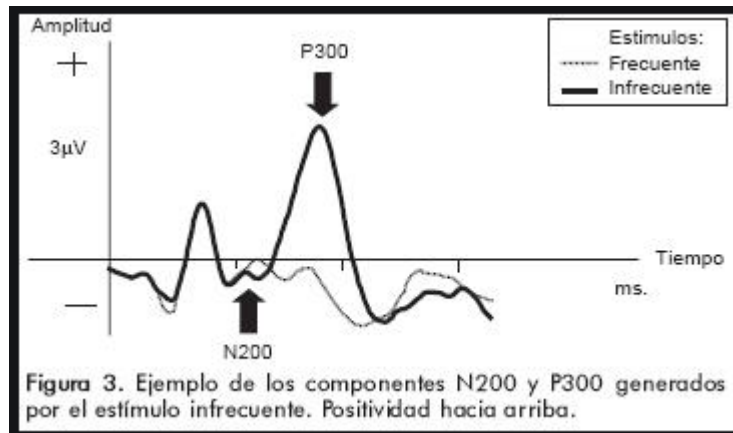
- Potenciales Evocados 
 - Potenciales Corticales Lentos (SCP)
 - Potenciales Evocados Visuales de Estado Estacionario (SSVEP)
 - Potenciales Evocados Visuales P300

- Señal Electroencefalográfica 
 - Reactividad al Ritmo Alfa
 - **Imaginación Motora (ERD/ERS)** 

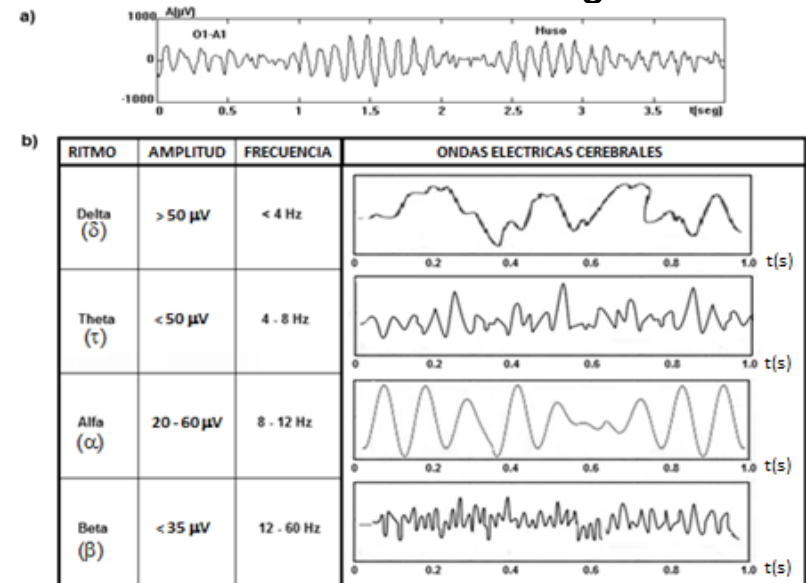
Uno de los Retos: Conocer la Bioseñal

Señal	Amplitud (mV)	Ancho Banda (Hz)	Sensor (Electrodes)	Aplicaciones	Amplificador Consideraciones Diseño	Características Deseadas
ECG	1-5	0.05-100	Ag-AgCl desechables	Diagnosis of ischemia, arrhythmia, conduction defects	Moderate gain, BW, noise, CMRR, input R	Electrical safety, isolation, defibrillation protection
EEG	0.001-0.01	0.5-40	Gold-plated o Ag-AgCl reusable	Sleep studies, seizure detection, cortical mapping BCI	High gain, very low noise, filtering	Safety, isolation, low electrode-skin resistance
EMG	1-10	20-2000	Ag or carbon, stainless steel, <i>aguja</i>	Muscle function, neuromuscular disease, prosthesis	Gain and BW of op amps	Postacquisition data processing
EOG	0.01-0.1	dc-10	Ag-AgCl	Eye position, sleep state, vestibulo-ocular reflex	dc and low drift small signal	Electrode-skin junction potential, artifact reduction

Potenciales Evocados Visuales (P300)



Señal Electroencefalográfica



Arquitectura Genérica de un BCI-EEG

IMPLEMENTACION DEL PARADIGMA

Adquisición Señal EEG

Procesamiento Señal EEG

Dispositivo

Captura EEG



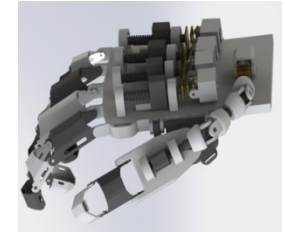
Preprocesamiento +
Acondicionamiento +
Eliminación Artefactos
(Patrones Espaciales
Comunes CSP)

Extracción de
Características
TF, Wavelet

Clasificación
Características
(Análisis por
Discriminante
Lineal (LDA))

Comando de
Control

TRADUCTOR

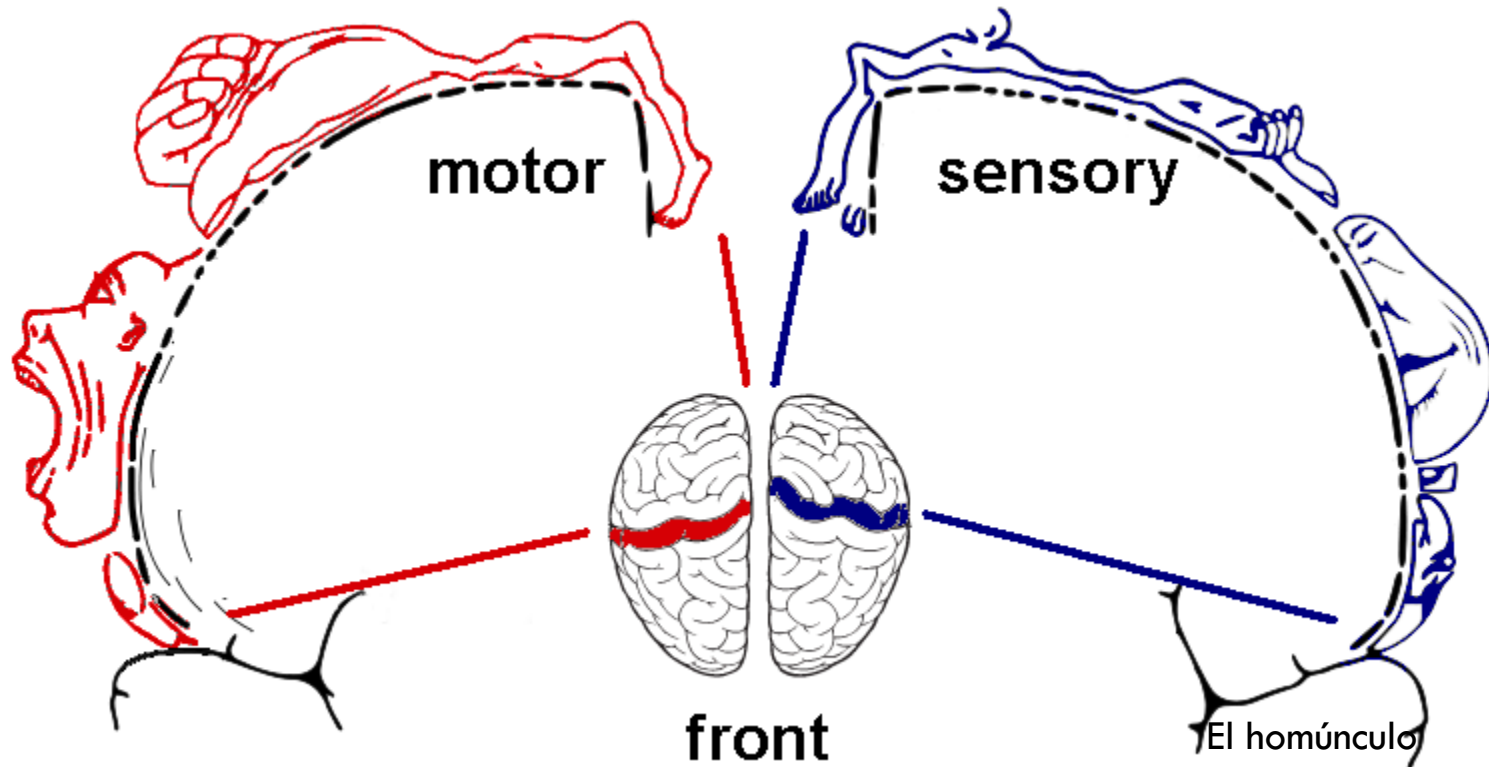


Ruta Eferente

Ruta Aferente

El paradigma o estrategia BCI se usa para generar patrones en la señal de EEG representativos de las intenciones de movimiento. Uno de los paradigmas con mayor potencial para favorecer la plasticidad cerebral, es la «Imaginación Motora (IM)». El usuario reproduce patrones EEG asociados al movimiento de las extremidades paralizadas, al realizar la planificación mental del mismo.

La IM motora se basa en registrar el EEG en la zona sensorio-motora



«Los estudios reportan que los patrones de activación y desactivación de los ritmos alfa y beta cuando se realiza un movimiento y cuando se imagina o se intenta realizar un movimiento son semejantes».

Implementación del Paradigma de Graz

BCI-IM

12

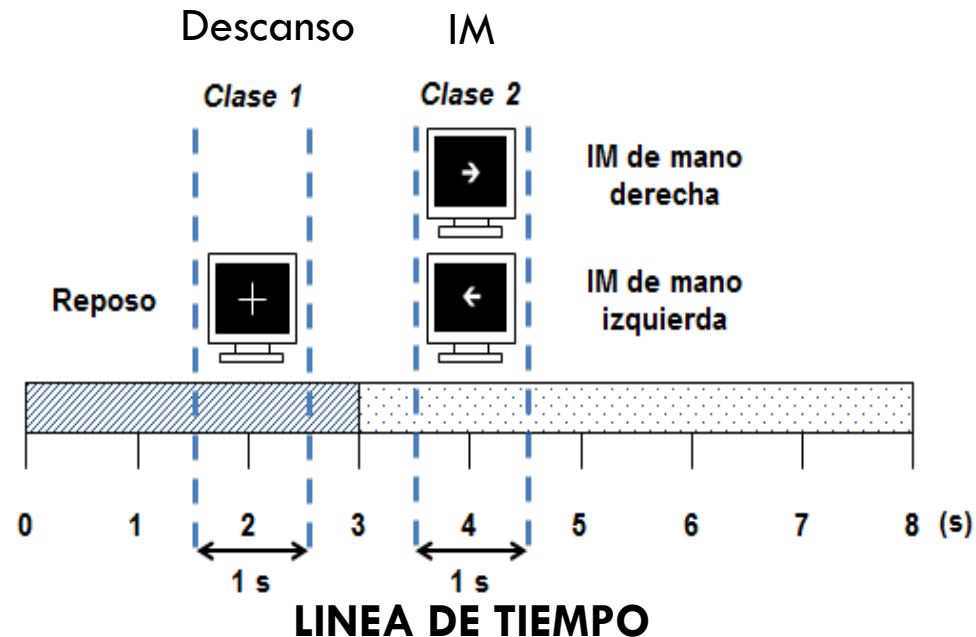


1º. Registro de EEG-BASAL de ojos cerrados, con un periodo de ojos abiertos, seguido por una serie de pruebas de movimiento e imaginación.

2º. La prueba se inicia con la presentación de una cruz en el centro de una pantalla de computadora, seguido de un tono auditivo. Se sigue con la presentación de una flecha apuntando hacia la derecha o izquierda durante un tiempo determinado.

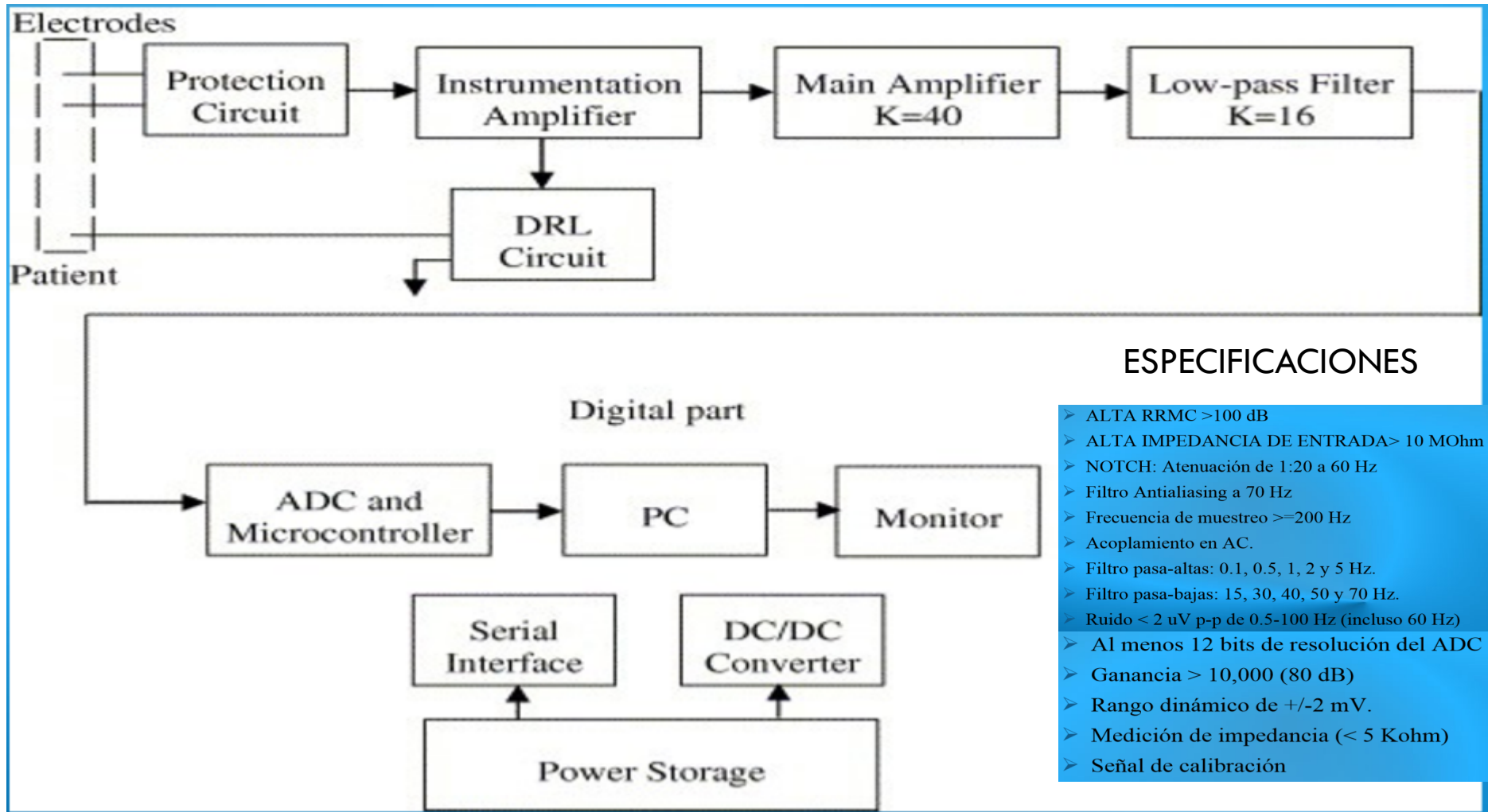
3º. Dependiendo de la dirección de la flecha, y del movimiento previamente seleccionado, el sujeto imagina el movimiento, hasta que aparece una pantalla en blanco de descanso sin ninguna guía visual.

Establecer Dos Clases



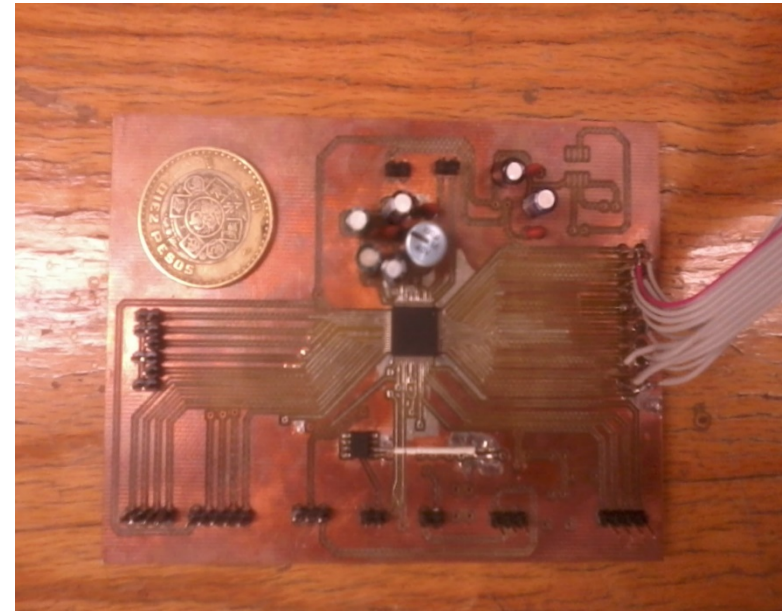
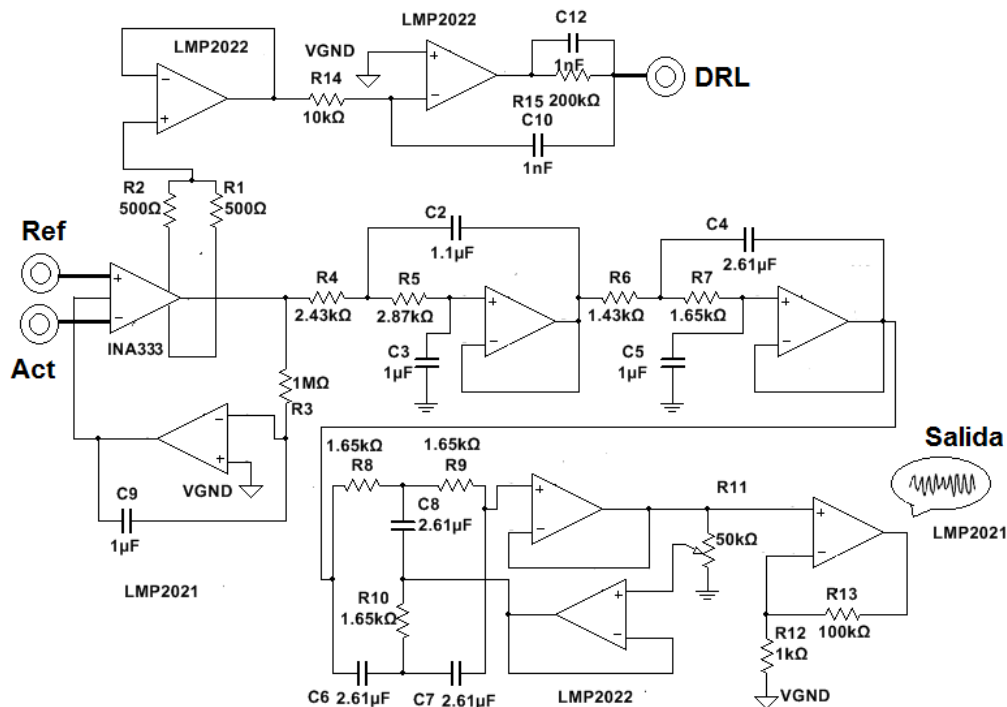
La Instrumentación:

Sistema de Adquisición de la señal EEG



Canal de Registro de EEG para BCI (INR ver 1.0)

14



Jorge A. Mercado, Javier Herrera, A. Jesús Pansza, and Josefina Gutierrez.
Embedded EEG Recording Module with Active Electrodes for Motor Imagery
Brain-Computer Interface IEEE LAT AM T 2016; 14(2):503-510.

Procesamiento EEG BCI-IM

Adquisición Señal

*Eliminación de
Ruido y Artefactos*

*Extracción de
Características*

*Traducción de
Características*

REGISTRO EEG

FILTRADO DIGITAL

**FILTRADO TEMPORAL
(CAR, ICA)
FILTRADO ESPACIAL
(CSP)**

**SELECCIÓN CANALES
(Fussy Logic)**

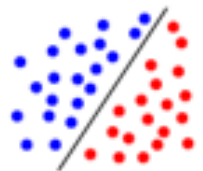
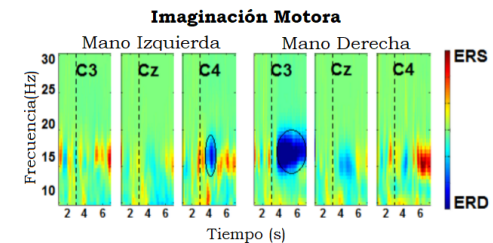
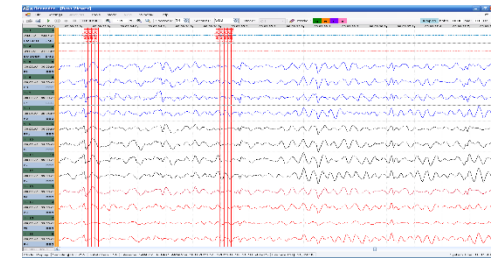
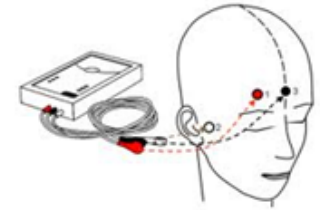
**VARIANZA LOGARITMICA
WAVELET (alfa, beta)**

Set
Entrenamiento

Set Prueba

**CLASIFICADOR
(LDA, ANN, RF)**

**VALIDACION
CRUZADA**



Pre-procesamiento señal EEG, para mejorar el desempeño del sistema BCI

16

□ **FILTRADO TEMPORAL.**

ELIMINACION COMPONENTES NO DESEADOS.

Se aplica filtro pasabandas (5-40Hz) y notch (60Hz).

ELIMINACION ARTEFACTOS.

Se aplica el método de referencia común (CAR) para eliminar contaminación excesiva, mejorar la relación señal/ruido (SNR)

A las Señales EEG en configuración referencial se aplica el análisis de componentes independientes (ICA) para eliminar el efecto de la colocación de la referencia

□ **FILTRADO ESPACIAL.**

El filtrado espacial laplaciano (Common Spatial Patterns-CSP) se usa mejorar el desempeño del clasificador, ya que incrementa la separación entre las señales filtradas de 2 clases

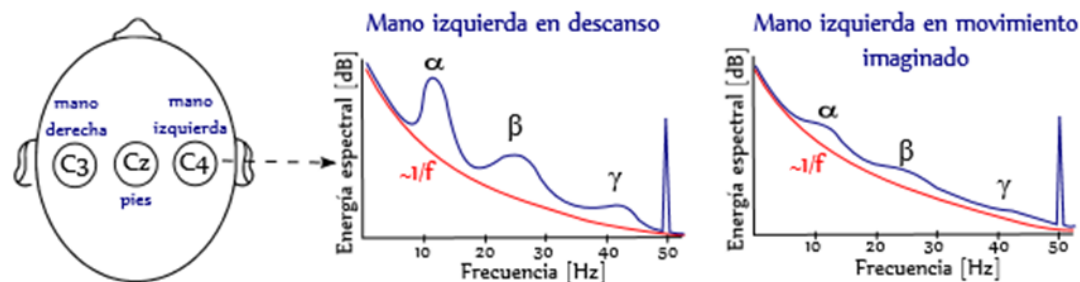
El Procesamiento de la señal EEG

(Imaginación Motora- ERD/ERS)

event-related desynchronization/event-related synchronization

17

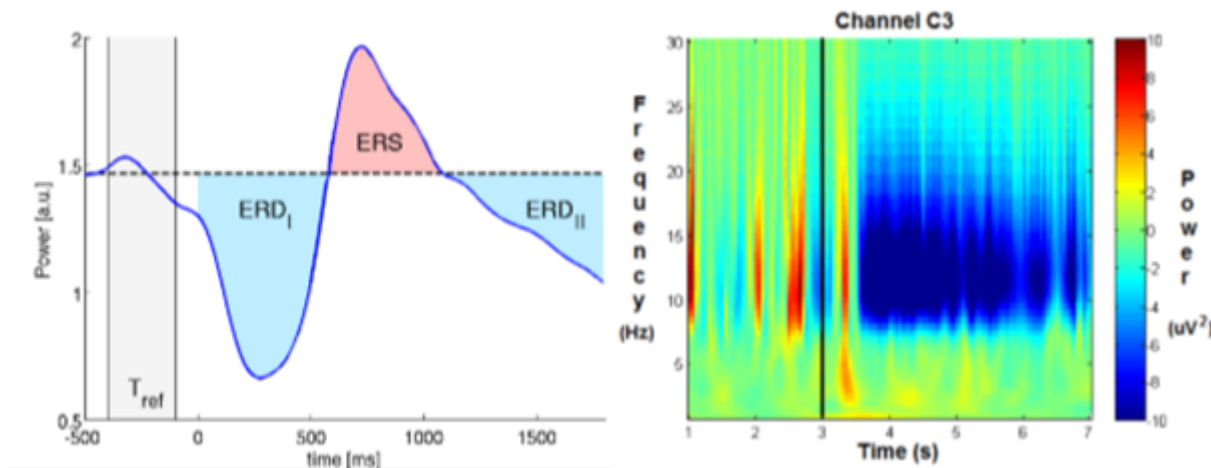
(**ERD/ERS**) corresponde a un decremento/incremento de potencia del EEG) en una específica banda de frecuencia durante la ejecución –física- motora o la imaginación –mental- motora, por eso es ampliamente usado en **BCI**.



Fenómeno de Desincronización (C4) en la Corteza Motora, después de imaginar el movimiento

Calcular ERD

- Filtrado pasabanda de c/época de EEG
- Elevar al cuadrado las muestras (amplitud); es decir obtener muestras de potencia
- Promediado las muestras de potencia entre épocas y entre muestras (across all trials).
- Promediando las muestras en un periodo de tiempo para suavizar los datos y reducir la variabilidad



Activación Contralateral (C3)

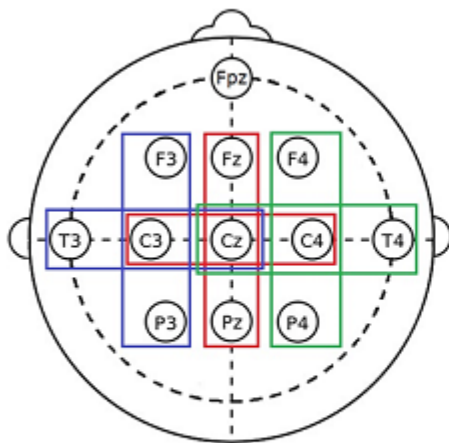
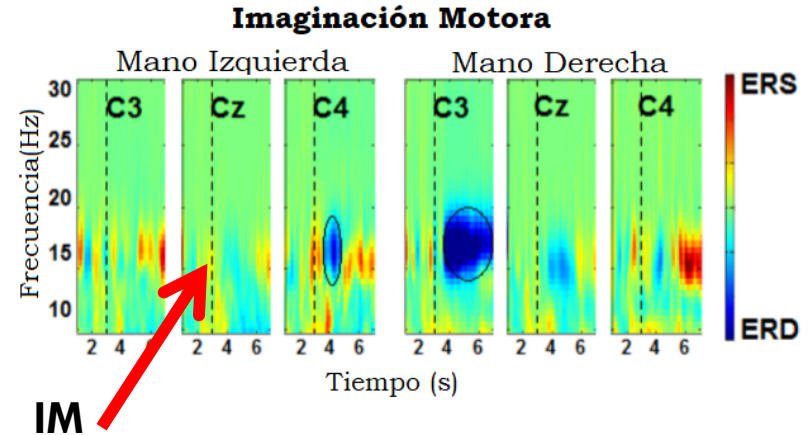
El Procesamiento de la señal EEG

Extracción de Características

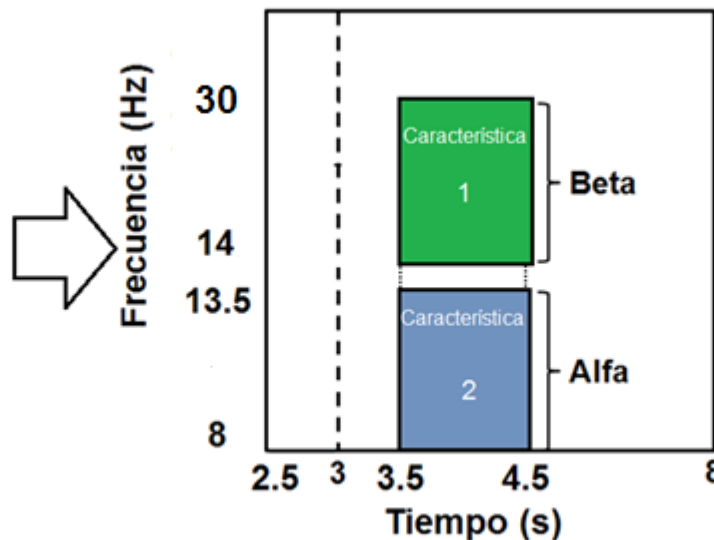
Para cada prueba de movimiento o de imaginación motora

18

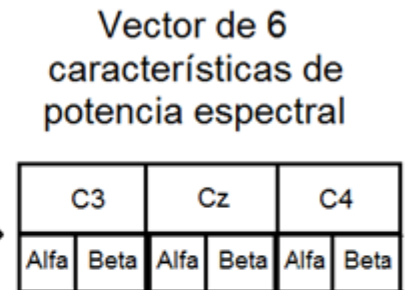
- -Extracción de características, basadas en la potencia espectral usando STFT, Wavelet, RTF
- -Se obtiene por cada ensayo el Vector de Características



a)



b)



c)

El Procesamiento de la señal EEG

Extracción de Características

19

- Con el método de Common Spatial Patterns-CSP se obtienen las características más discriminativas entre la IM y el reposo
- Se Proyectan los datos multicanal (dimensión alta) del EEG en un subespacio espacial de baja dimensión (matriz de proyección que consiste de los pesos para cada canal- específicamente diseñados) de tal manera que las varianzas de la serie de tiempo filtrada sean óptimas para hacer la discriminación entre clases

Procesamiento de la señal EEG,

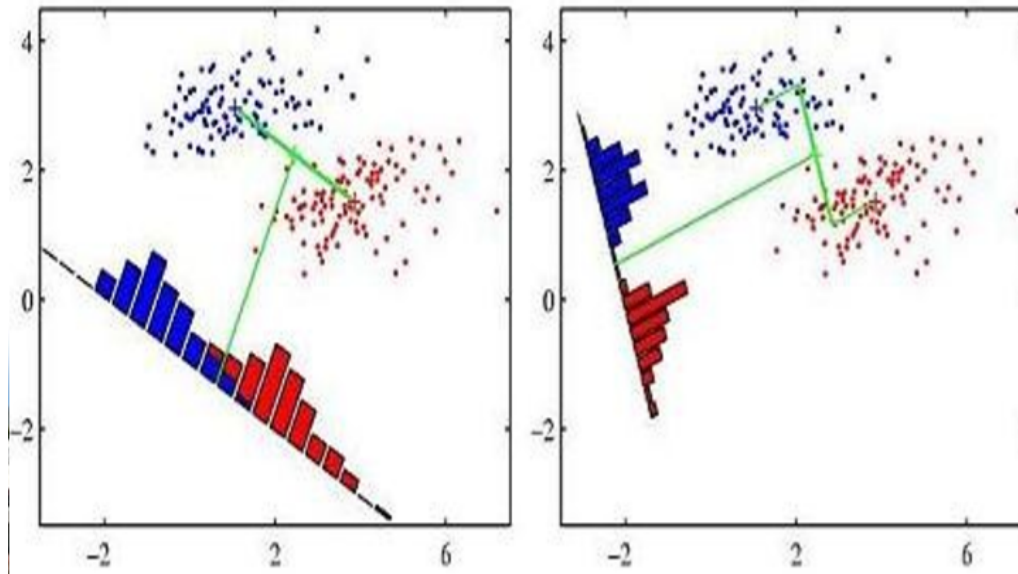
Clasificación de épocas asociadas a cada tarea

20

Para clasificar las características se usó un clasificador LDA,

- Se combina el método CSP (Common Spatial Patterns) y el análisis discriminante lineal (LDA) de Fischer, con el parámetro ERD/ERS.

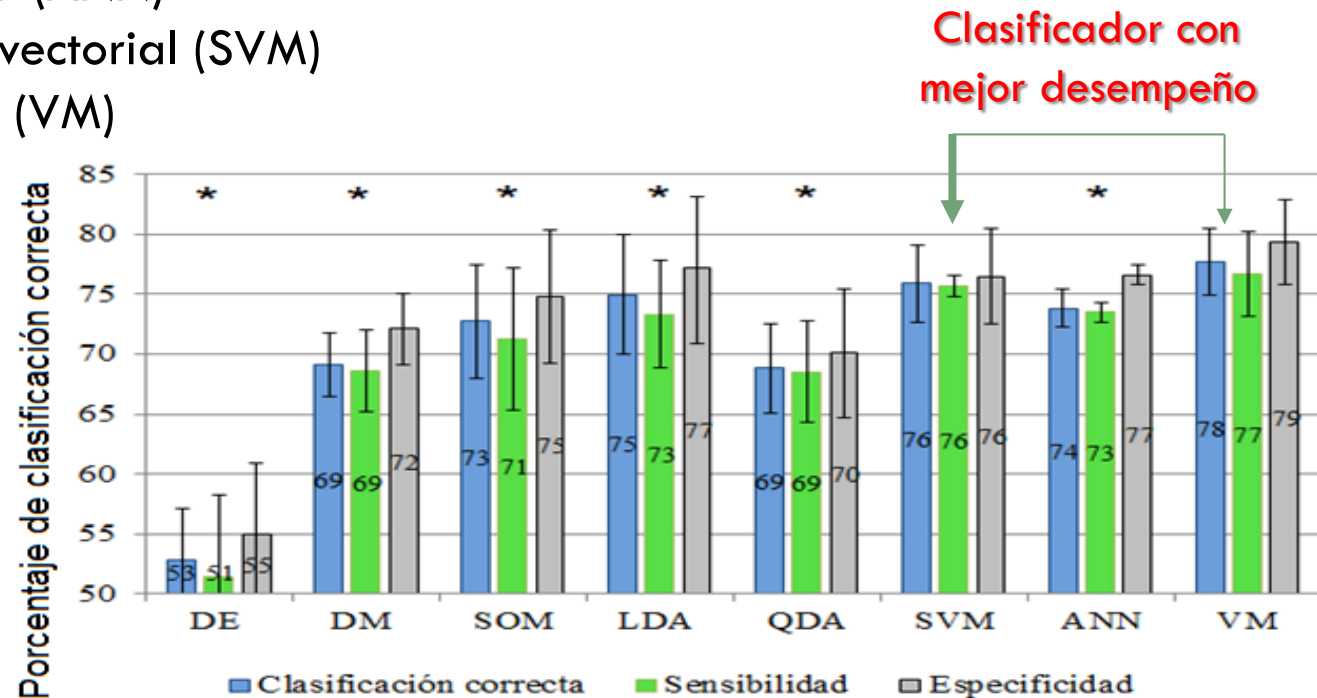
- Método que proyecta datos de una dimensión alta a una línea y lleva a cabo la clasificación en este espacio unidimensional. La proyección maximiza la distancia entre las dos clases al mismo tiempo que minimiza la varianza dentro de cada clase



Pruebas de los Esquemas Típicos de Clasificación en BCI-IM

21

1. Distancia Euclidiana (DE)
2. Distancia de Mahalanobis (DM)
3. Análisis de discriminante lineal (LDA)
4. Análisis de discriminante cuadrático (QDA)
5. Mapa auto-organizado (SOM)
6. Red neuronal artificial (ANN)
7. Máquina de soporte vectorial (SVM)
8. Votación Mayoritaria (VM)

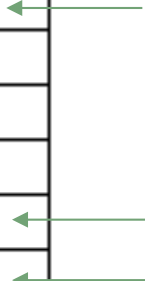


Clasificador: Costo Computacional

22

El costo computacional de la etapa de prueba del clasificador es de gran interés para una aplicación BCI en tiempo real.

Clasificador	Costo computacional		
	Sumas	Multiplicaciones	big-O
DE	13	7	O(6)
DM	99	252	O(216)
QDA	20	18	O(6)
SOM	845	455	O(624)
ANN	35	30	O(18)
LDA	7	6	O(6)
SVM	721	721	O(330)
VM	763	757	O(372)



MENOR

En términos tanto de costo computacional y un buen desempeño en la clasificación, los mejores clasificadores son el LDA y la Red Neuronal Artificial.

R.I. Carino-Escoba¹, J. Cantillo-Negrete, J. Gutiérrez-Martínez
Evaluación de Métodos de Clasificación para el Reconocimiento de
Imaginación de Movimiento en un Paciente con Enfermedad Vascular
Cerebral. CNIB, 2014

Validación cruzada de 10X10

23

- Se separan los datos en conjuntos iguales, tomando un conjunto de entrenamiento y uno de prueba, al final se promedia el desempeño de cada clasificador, para obtener el mejor estimado de la capacidad de generalización del clasificador.

Dividir los datos en grupos del mismo tamaño



Apartar un grupo para prueba y usar el resto para construir un modelo



Repetir



Calibración del Sistema BCI

24

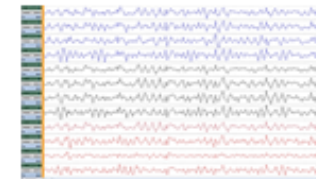
Adquisición de la Señal

1) EEG de un sujeto sano



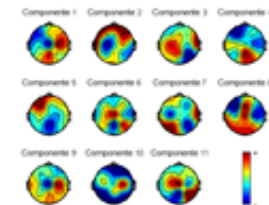
Eliminación de Artefactos

2) Filtrado de 8-30 Hz
3) Re-referencia con CAR



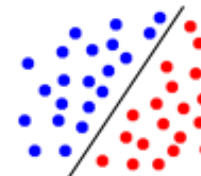
Extracción de Características

4) Calibración de CSP ★
5) Varianza Logarítmica



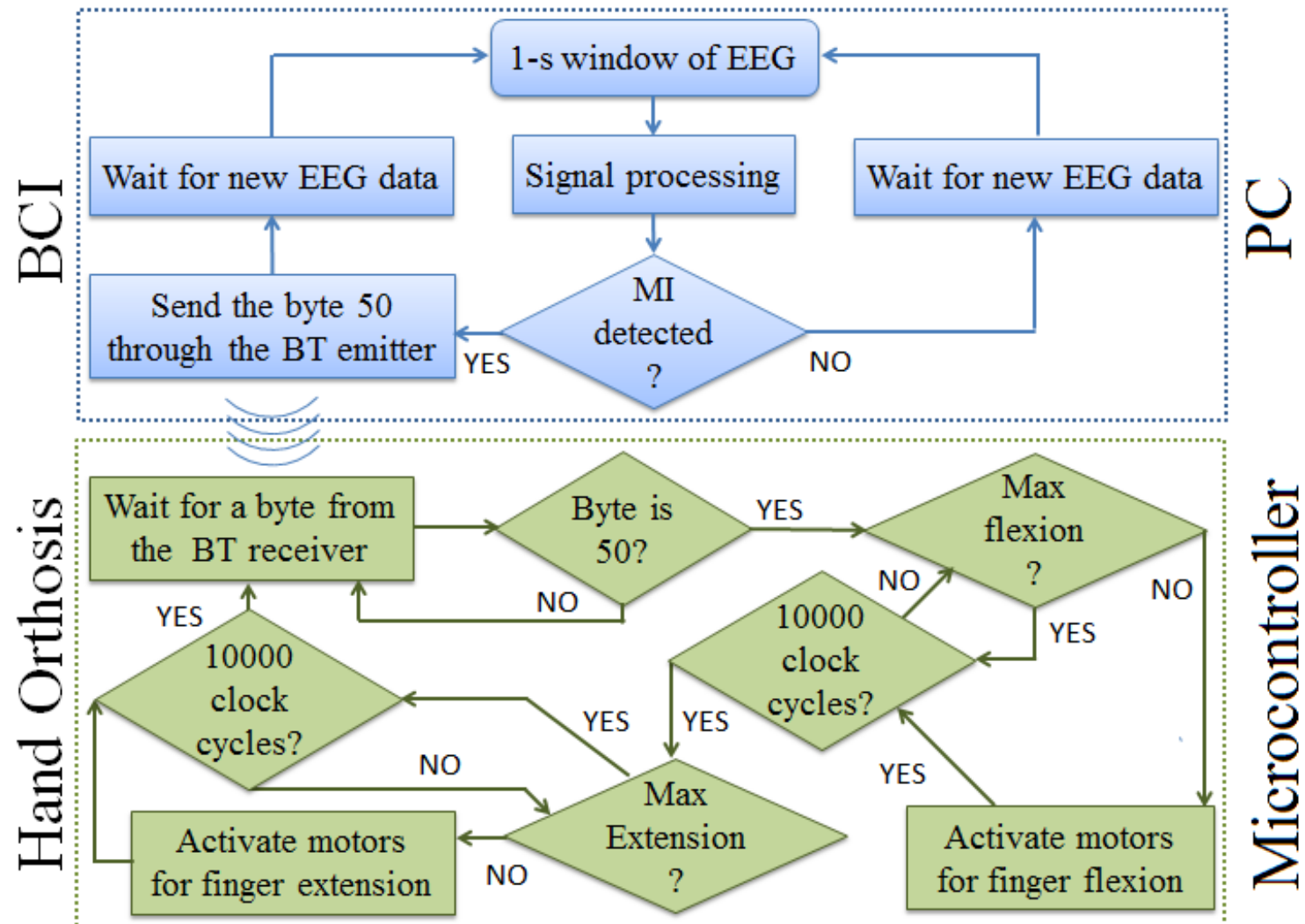
Traducción de Características

6) Clasificador LDA ★



Implementación del control

25



Desventaja del BCI-IM

26

- -La etapa de entrenamiento del clasificador requiere un numero significativo de características de EEG (# canales > 16) para poder reconocer los patrones de IM., para cada sujeto
- -BCI-IM es dependiente del sujeto
- -Requiere largas sesiones de entrenamiento para que el sujeto “aprenda” a usar el sistema
- -Por lo general un paciente con una lesión neurológica, no tiene habilidad para realizar cientos de TRIALS requerido en la implementación del BCI-IM

J. Cantillo, J. Gutierrez, R. I. Carino, P. Carrillo y D. Elias, “An approach to improve the performance of subject-independent BCIs-based on motor imagery allocating subjects by gender,” Biomedical Engineering Online, vol. 13, no. 158, pp. 1-15, 2014.

Desventaja del BCI-IM

27

PE

**INTERFACES
EXÓGENAS**

Poco entrenamiento, rápida configuración, alta tasa de transferencia y funcionalidad con pocos canales de información.

Necesario prestar atención continuada al estímulo lo que puede producir cansancio.

IM

**INTERFACES
ENDÓGENAS**

No dependen de estímulos, lo que lo hace útil para personas con órganos sensoriales afectados. Útil para manejo de cursores.

Largo entrenamiento que no garantiza obtener control sobre el sistema. Baja tasa de transferencia y necesidad de múltiples canales de información.

Desventaja del BCI-IM

28

- La mayoría de los BCI son evaluados fuera de línea en condiciones ideales y con datos de sujetos sanos, lo cual implica que el desempeño obtenido puede no representar el desempeño real del sistema al decodificar la IM en pacientes con EVC.



Discusión

29

- Investigaciones recientes han propuesto que la combinación de sistemas BCI con otros dispositivos podrían proporcionar mejores resultados en la rehabilitación neuromotora de pacientes con lesión medular, como por ejemplo:
- Los dispositivos robóticos para rehabilitación controlados con un BCI basado en EEG, tienen la ventaja de que son no invasivos, son completamente automatizados, y al usar IM tienen el potencial de favorecer la plasticidad cerebral de pacientes con EVC
- La estimulación eléctrica es una de la terapias más utilizadas en la rehabilitación, recientemente se está empleando junto con una interfaz cerebro-computadora en su modalidad de terapia funcional (BCI + FES), para favorecer el proceso de reaprendizaje muscular.
- Sistemas BCI híbridos (BCI-EEG + FES + sEMG).

Gracias por su atención

Dra. en Ing. Josefina Gutiérrez Martínez
División de Investigación en Ingeniería Médica
jgutierrez@inr.gob.mx