



# Sistemas inteligentes para aplicaciones basadas en interfaces cerebro-computadora: retos y soluciones actuales

Dra. Ma. del Pilar Gómez Gil  
INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y  
ELECTRÓNICA  
Octubre 2015

V: 2015-10-27

*Esta presentación está disponible en:*

*<http://ccc.inaoep.mx/~pgomez/conferences/PggITP15.pdf>*

# Contenido

- ▶ Un poco sobre nosotros...
- ▶ ¿Qué son las interfaces cerebro-computadoras
- ▶ Algunos proyectos en CCC del INAOE relacionados
- ▶ Conclusiones y perspectivas



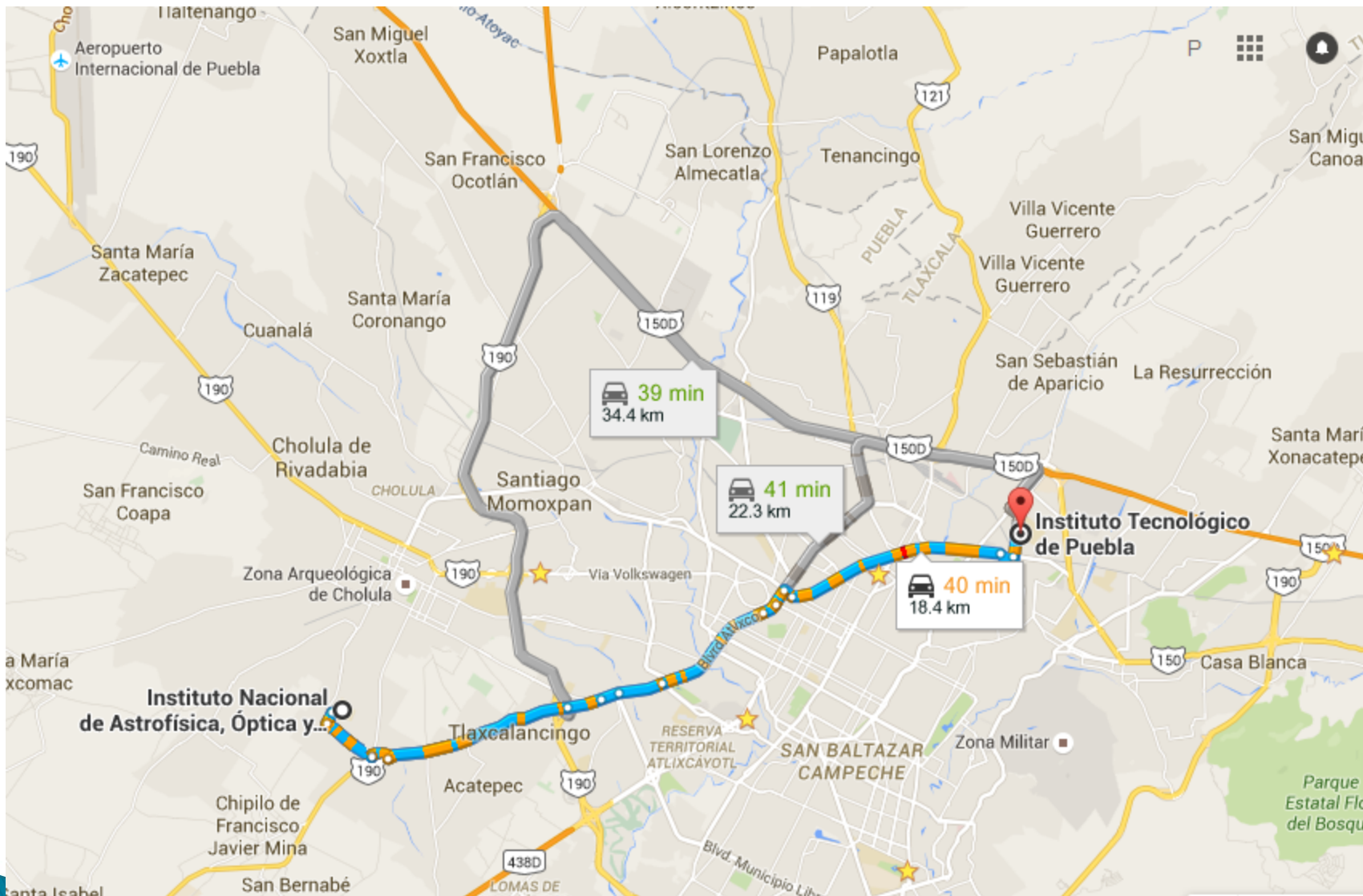
# Sobre nosotros...



# EL INAOE



- ▶ Es un centro público de **investigación** localizado en Tonantzintla, Puebla México .
- ▶ Su **misión** es contribuir a la generación, avance y difusión del conocimiento para el desarrollo del país y de la humanidad.
- ▶ Identifica y busca la solución de **problemas científicos y tecnológicos**
- ▶ Participa en la formación de **especialistas** en las áreas de Astrofísica, Óptica, Electrónica, **Ciencias Computacionales** y áreas afines.



# Página principal INAOE

<http://www.inaoep.mx/>

Inicio | Directorio | Contacto | Mapa del Sitio | RSS | English | Versión Móvil

 INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA 

[inaoe.edu.mx](http://inaoe.edu.mx) 

Astrofísica Ciencias Computacionales Electrónica Óptica Posgrados Misión y Visión Historia Ubicación Transparencia



El INAOE recibe donación de vehículo aéreo no tripulado para RAFAGA

### NOTICIAS

- [Jornada de Puertas Abiertas INAOE](#)
- [El INAOE, presente en la reunión de Centros Conacyt en Yucatán](#)
- [El Dr. George Smoot, Premio Nobel de Física 2006, visitó el INAOE](#)
- [El INAOE recibe donación de vehículo aéreo no tripulado para RAFAGA](#)

### PROYECTOS

[Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano](#) 

Visitas:  
[Visitas al Volcán Sierra Negra, Sitio del GTM y HAWC](#) 

### INAOE

- [Visitas al INAOE](#)
- [Divulgación Científica para Niños y Jóvenes](#)
- [La Astronomía al Servicio de la Sociedad](#)

### EVENTOS

- [Programa de actividades. XXII SNCyT. Cananea, Sonora](#) 
- [Eventos Astronómicos](#)

# Grandes Proyectos del INAOE: HAWC y GTM



HAWC: The High Altitude Water Cherenkov  
Gamma-Ray Observatory

<http://www.hawc-observatory.org/>

Foto disponible en:

<http://physics.ua.edu/astroparticle/images/hawc.jpg>



GTM: Gran Telescopio Milimétrico

<http://www.lmtgtm.org/>

Foto disponible en:

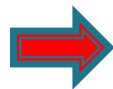
[http://mexdesc.impresionesaerea.netdna-cdn.com/images/notas/telescopio\\_milimetrico\\_puebla.jpg](http://mexdesc.impresionesaerea.netdna-cdn.com/images/notas/telescopio_milimetrico_puebla.jpg)



# La Coordinación en Ciencias Computacionales (CCC)

- ▶ Cuenta con 23 investigadores de tiempo completo
- ▶ Es uno de los grupos más importantes de computación en el país
- ▶ Participan activamente practicantes de licenciatura, post-doctorados y asistentes de investigación
- ▶ Casi todos los investigadores pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores (SNI)

Algunos de nosotros...





# Página principal de la CCC

<http://ccc.inaoep.mx/>

[Inicio](#) | [Directorio](#) | [Contacto](#) | [Mapa del Sitio](#) | [RSS](#) | [English](#) | [Versión Móvil](#)



INSTITUTO  
NACIONAL DE  
ASTROFÍSICA,  
ÓPTICA Y  
ELECTRÓNICA

inaoe.edu.mx



[Astrofísica](#) [Ciencias Computacionales](#) [Electrónica](#) [Óptica](#) [Posgrados](#) [Misión y Visión](#) [Historia](#) [Ubicación](#) [Transparencia](#)

INAOE | CIENCIAS COMPUTACIONALES

Asignar puntaje: ★★★★★ Imprimir Enviar a un amigo

## CIENCIAS COMPUTACIONALES



 *Coordinación de  
Ciencias Computacionales*

Bienvenidos a la página de la Coordinación de Ciencias Computacionales (CCC) del Instituto Nacional de Astrofísica. Óptica y Electrónica (INAOE).

### CIENCIAS COMPUTACIONALES

- ▶ [DIRECTORIO DE INVESTIGADORES Y PERSONAL](#)
- ▶ [LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN](#)
- ▶ [PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN](#)
- ▶ [LABORATORIOS](#)
- ▶ [POSGRADO EN CIENCIAS COMPUTACIONALES](#)
- ▶ [DIRECTORIO DE ESTUDIANTES](#)
- ▶ [PUBLICACIONES](#)

### MULTIMEDIA

- ▶ [GALERIA DE FOTOS](#)

### NOTICIAS

# Mi página...

<http://ccc.inaoep.mx/~pgomez>



**INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA,  
ÓPTICA Y ELECTRÓNICA**

*Coordinación de  
Ciencias Computacionales*

## Dra. María del Pilar Gómez Gil

- ▶ **Página principal**
- ▶ **Publications & Conferences (English)**
- ▶ **Cursos y Tutoriales**
- ▶ **Projects (English)**
- ▶ **Tesis dirigidas**
- ▶ **Interesado(a) en posgrado?**
- ▶ **Interesada(o) en residencias?**
- ▶ **Semblanza profesional**

Investigadora Titular (Researcher)

**Consulta aquí  
propuestas  
de tesis de  
Maestría**

I am interested in basic and applied research in artificial neural networks and other learning machines, when used for temporal classification and prediction. Our research group currently works in projects that tackle problems related to **Brain Computer Interfaces**, forecasting for



# Laboratorios/líneas de investigación de CCC

## ▶ Laboratorios de CCC:

1. Aprendizaje y Reconocimiento de Patrones
2. Cómputo y Procesamiento Ubicuo
3. Cómputo Reconfigurable y de Alto Desempeño
4. **Procesamiento de Bio-señales y Computación Médica**
5. Robótica
6. Tecnologías de Lenguaje
7. Visión Computacional

(en “negrita” están los laboratorios donde participamos nosotros)

# Por si les interesa...

- ▶ En el INAOE se ofrecen los programas de maestría y doctorado en ciencias de la computación
- ▶ Los programas cuentan con reconocimiento de excelencia de CONACYT (PNPC)
- ▶ Todos los estudiantes tienen beca de manutención completa por parte de CONACYT
- ▶ Estudiantes activos en 2014: 40 MSc. Y 30 PhD.
- ▶ Graduados al 2012: 177 MSc. y 46 PhD.
- ▶ Tenemos alumnos de toda la república y de América Latina
- ▶ Mas información en: [posgrados.inaoep.mx](http://posgrados.inaoep.mx)

# Día de puertas abiertas: 20 de Noviembre 2015

**Jornada de  
PUERTAS  
ABIERTAS  
INAOE**

Visitas a los laboratorios

Velada astronómica

Telescopios

Conferencias para todo público

Talleres y más...

CONACYT

20 de noviembre de 2015

Horario: 9:00-14:00 y 18:00-21:00 h

[www.inaoep.mx](http://www.inaoep.mx)

2 66 31 00, ext. 7010 - 7017

correo: [visitas@inaoep.mx](mailto:visitas@inaoep.mx)

inaoe.official

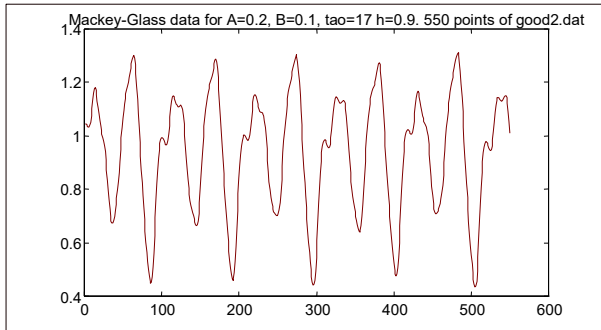
@inaoe\_mx

Lugar: Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica  
Dirección: Calle Luis Enrique Erro No. 1,  
Sta. María Tonantzintla, San Andrés Cholula, Puebla

# Mis áreas de interés

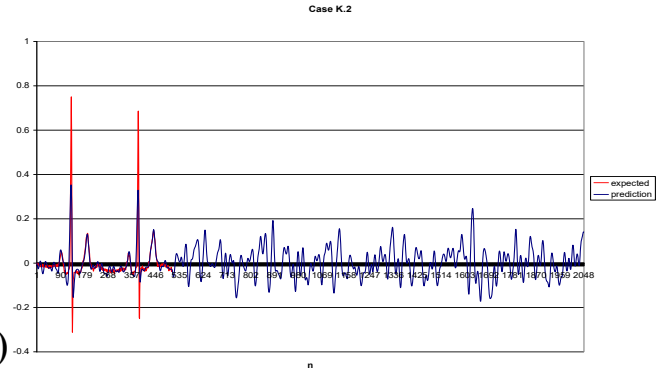
- ▶ Trabajamos con:
  - proyectos involucrados en los laboratorios de aprendizaje y bio-señales.
  - el Grupo de procesamiento de señales e Inteligencia Computacional (PSIC), formado por investigadores y estudiantes de las coordinaciones de Electrónica y de Ciencias de la computación.
- ▶ Usamos técnicas de:
  - aprendizaje e inteligencia computacional para escribir algoritmos de clasificación y predicción, como las redes Neuronales Artificiales (RNA), la Lógica Difusa o Algoritmos Evolutivos
  - procesamiento digital de señales para extraer características necesarias para clasificar, predecir
- ▶ Nuestros proyectos están involucrados con señales “difíciles”

# Trabajamos con señales no estacionarias

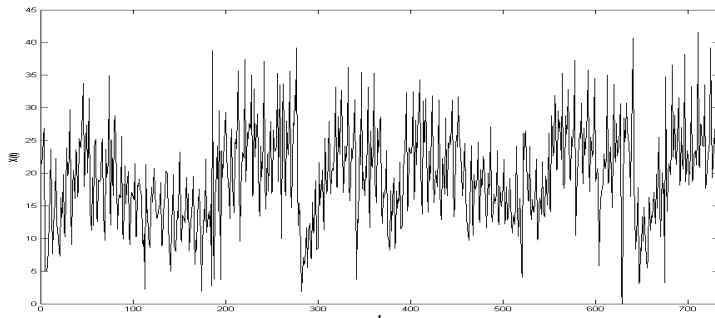


Mackey-Glass time series (Glass 1987)

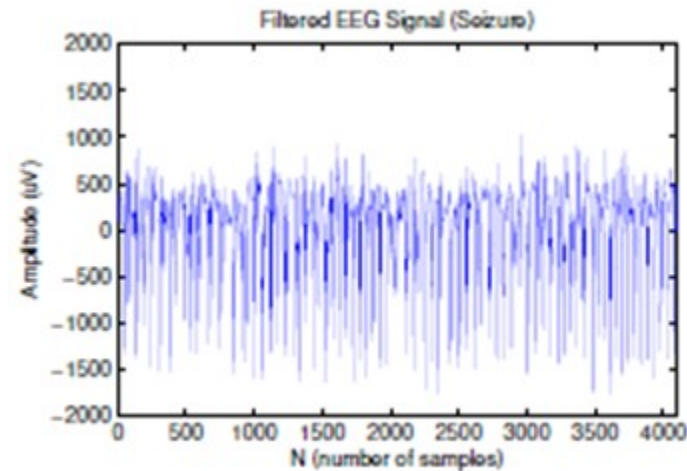
$$\frac{dx(t)}{dt} = \frac{ax(t-\tau)}{1+x^{10}(t-\tau)} - bx(t)$$



Long-term prediction of an ECG (Gomez et al., 2011)



ATM withdraws (NN5-001) (Crone 2006)



EEG of an ictal state (Juarez-Guerra, 2014)

# Características de mi investigación

RETOS	AREAS DEL CONOCIMIENTO	AREAS DE APLICACIÓN
<p>Con respecto a DATOS:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• ruidosos</li><li>• clases sobrepuestas</li><li>• muy pocos</li><li>• difíciles de caracterizar</li><li>• se requieren fusionar</li><li>• etc...</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Clasificación estática</li><li>• Clasificación temporal</li><li>• Predicción</li><li>• Teoría de RNA</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Brain Computer Interfaces</i></li><li>• Biométrica</li><li>• Diagnóstico médico</li><li>• Economía y Finanzas</li><li>• Astrofísica</li><li>• Reconocimiento de escritura</li></ul>

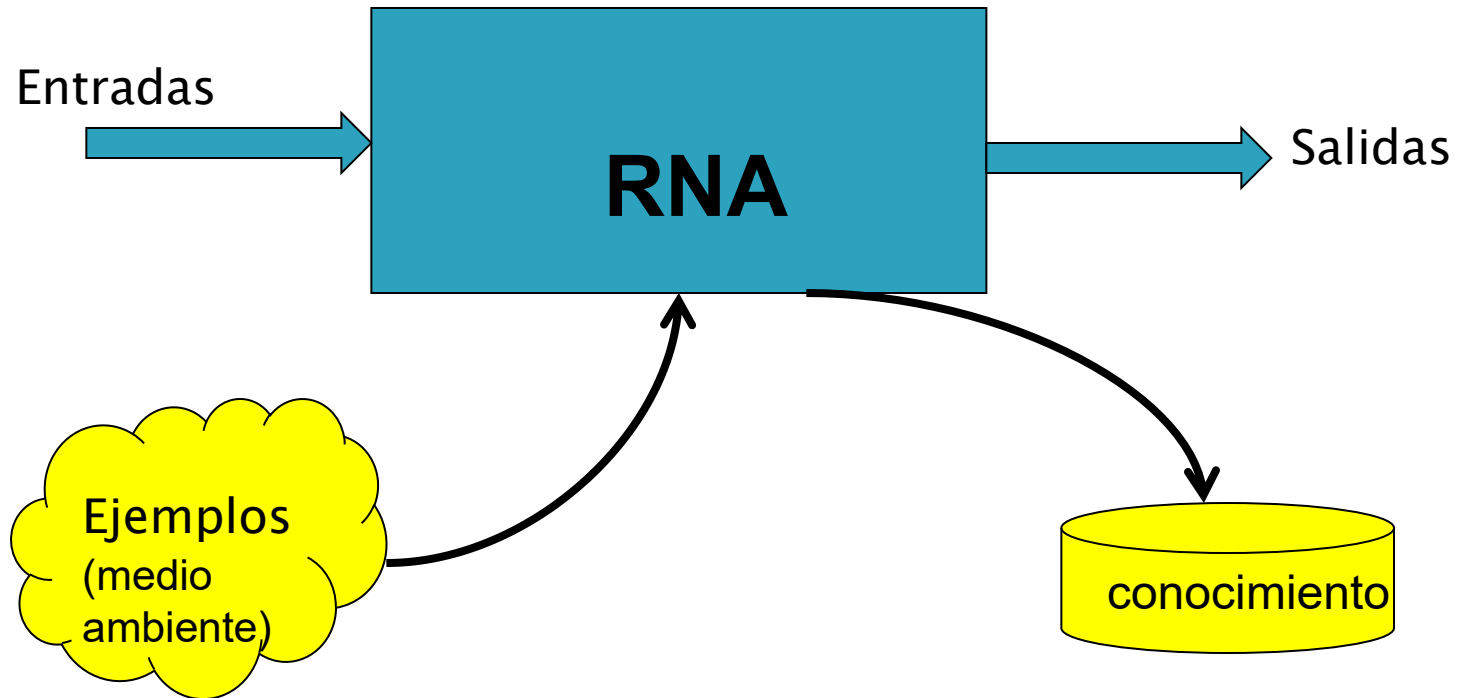


# Qué son las Redes Neuronales Artificiales

- ▶ Son **modelos matemáticos** capaces de adaptar su comportamiento en respuesta a ejemplos presentados por el medio ambiente de manera supervisada o no supervisada (esto es **aprendizaje automático!**)
- ▶ Están inspiradas en la construcción del cerebro y las neuronas biológicas.
- ▶ Una red neuronal artificial es un procesador paralelo y distribuido, hecho de varios procesadores simples, que puede almacenar y utilizar conocimiento adquirido de la experiencia (Haykin 2009).

# El Contexto de Redes Neuronales

(Gómez-Gil, 2009)



# Aprendizaje basado en ejemplos

- ▶ Las redes neuronales son capaces de modificar su comportamiento en respuesta al medio ambiente, el cual es “presentado a la red” a través de ejemplos significativos del problema.
- ▶ Para una red neuronal, aprender significa modificar los valores de los pesos (números reales), siguiendo una estrategia determinada conocida como “algoritmo de aprendizaje.”



(c) P. Gomez-Gil 2011

# ¿QUÉ SON LAS INTERFACES CEREBRO-COMPUTADORAS (BCI)?

# Recuerdan al episodio de Star Trek cuando el capitán Pike termina en silla de ruedas (1966)?

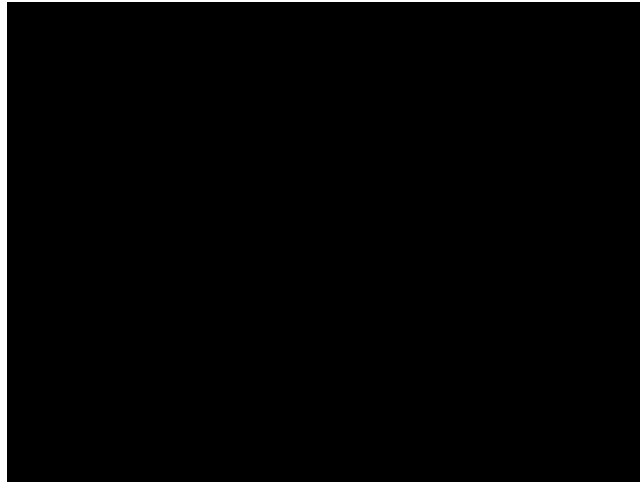


BCI se consideraba “ciencia ficción” en ese tiempo...

Debido a un accidente, el capitán solo podía comunicarse a través de señales cerebrales....



# Hoy...



# Algunos eventos importantes

(Graimann et al. 2010)

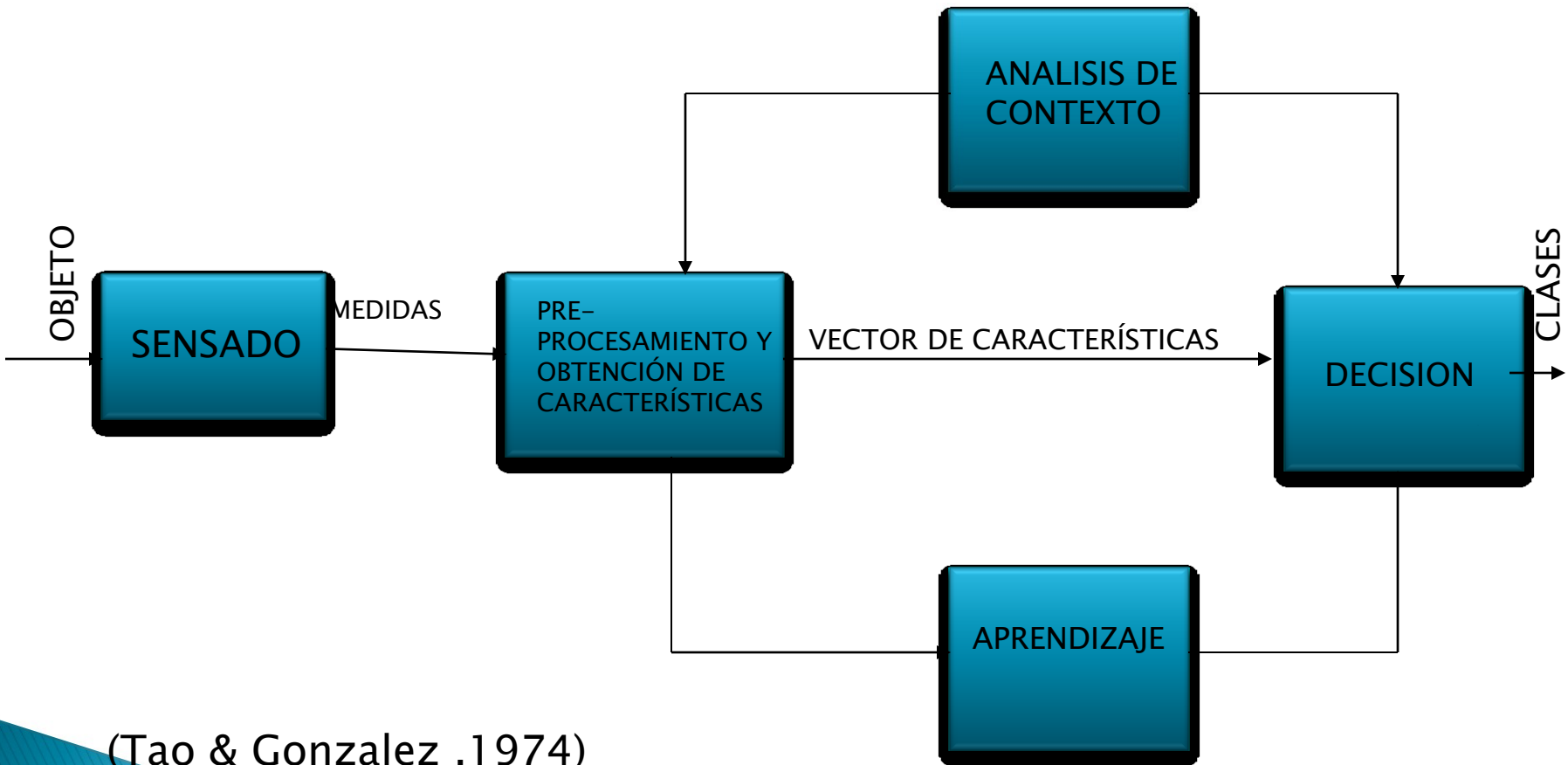
- ▶ En 1929 el científico alemán Hans Herber grabó las primeras señales cerebrales a través del cuero cabelludo
- ▶ En 1964, el Dr. Gray Walter realizó la primera interfaz “BCI” durante una operación a cerebro abierto, consiguiendo que el paciente encendiera un proyector
- ▶ A principios del siglo, había solamente una o dos docenas de laboratorios trabajando con BCI
- ▶ Para 2010 habría al menos 100 laboratorios reconocidos trabajando seriamente con BCI
- ▶ BCI no solo ha alcanzado el objetivo de ayudar a personas con problemas de movimiento, sino también ha servido a usuarios saludables para comunicarse, por ejemplo en juegos

# ¿Que son las BCI?

- ▶ BCI es un sistema artificial que se salta las rutas “eferentes” normales del cuerpo.
- ▶ Eferente se refiere a la transmisión de impulsos del sistema nervioso central al sistema periférico y de allí a los músculos.
- ▶ Una BCI mide directamente la actividad cerebral asociada a un “intento” del usuario y la traslada a sus correspondientes señales de control
- ▶ Esta “traducción” involucra **procesamiento de señales y reconocimiento de patrones**

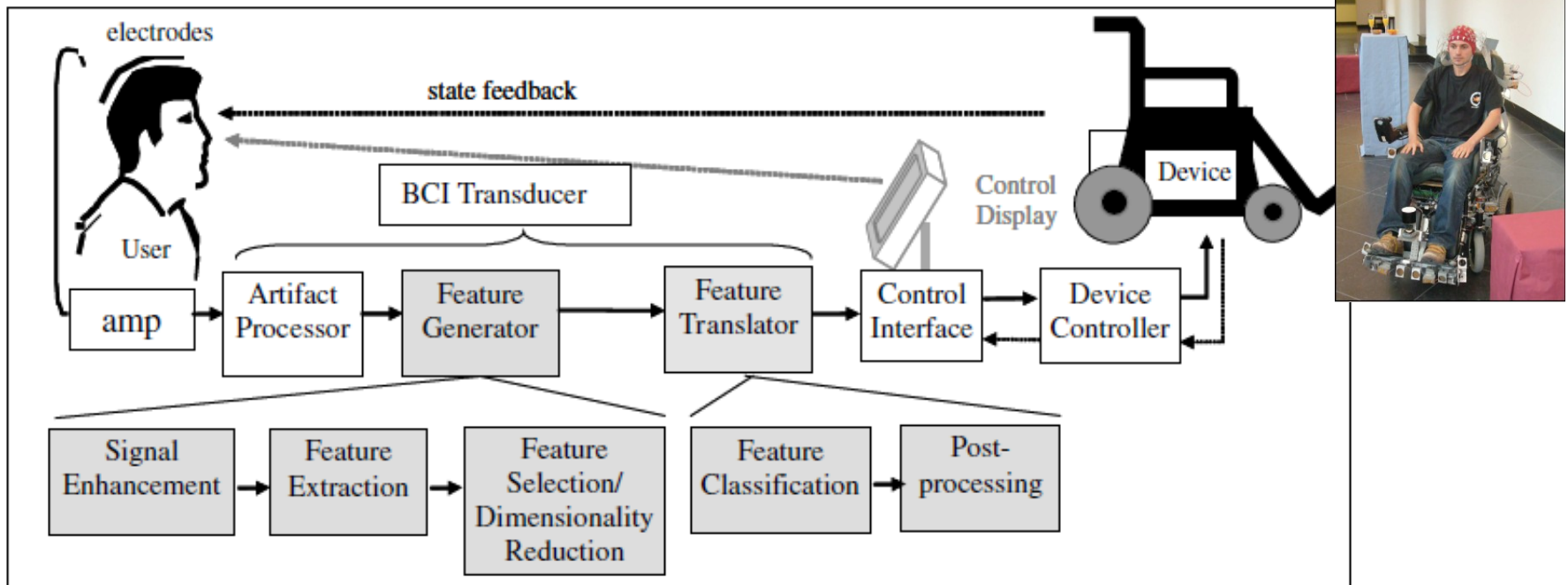


# El concepto de clasificación adaptativa



(Tao & Gonzalez ,1974)

# Ejemplo: BCI para control de sillas de ruedas



[D'croz Barón 2010]

# Características de BCI

- ▶ Hay una recolección directa de la actividad cerebral, de forma invasiva o no invasiva
- ▶ Se provee retro-alimentación al usuario
- ▶ Se realiza en tiempo real
- ▶ El usuario escoge la actividad a realizar (control intencional)
- ▶ BCI es un tipo especial de neuro-prótesis. Otros tipos de neuro-prótesis incluyen implantes de retina, estimuladores de la espina dorsal o de las partes profundas del cerebro, sistemas de control de la vejiga, etc.
- ▶ También se les conoce como BMI (brain machine interfaces) o DBI (direct brain interfaces)

# BCI no “lee la mente” 😊

Tomado de

**facebook**

**!!!WARNING!!!**

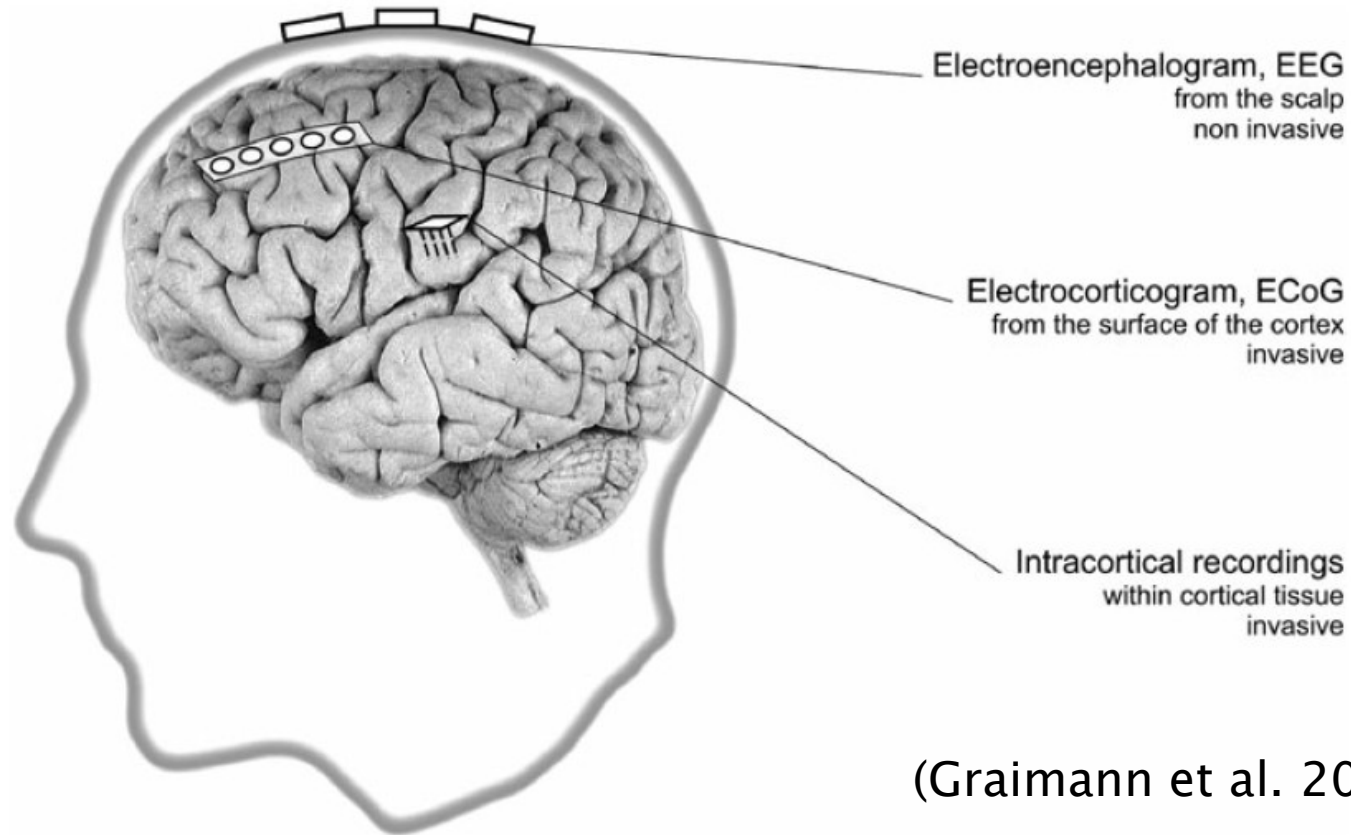
Facebook is planning to start scanning your brain for private information through your computer monitor. To stop this from happening, go to Kitchen → Cabinets → Upper Right Drawer → then REMOVE the box that says ‘Aluminum Foil’.

Then wrap all foil around your head.

Share this to warn all your friends!



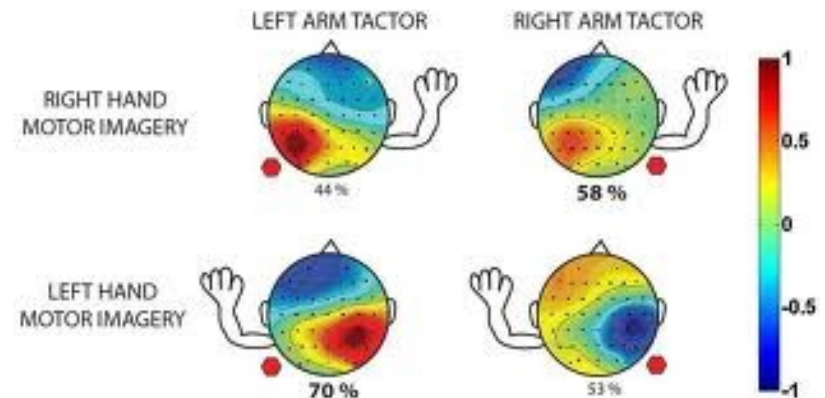
# Detección de la actividad cerebral



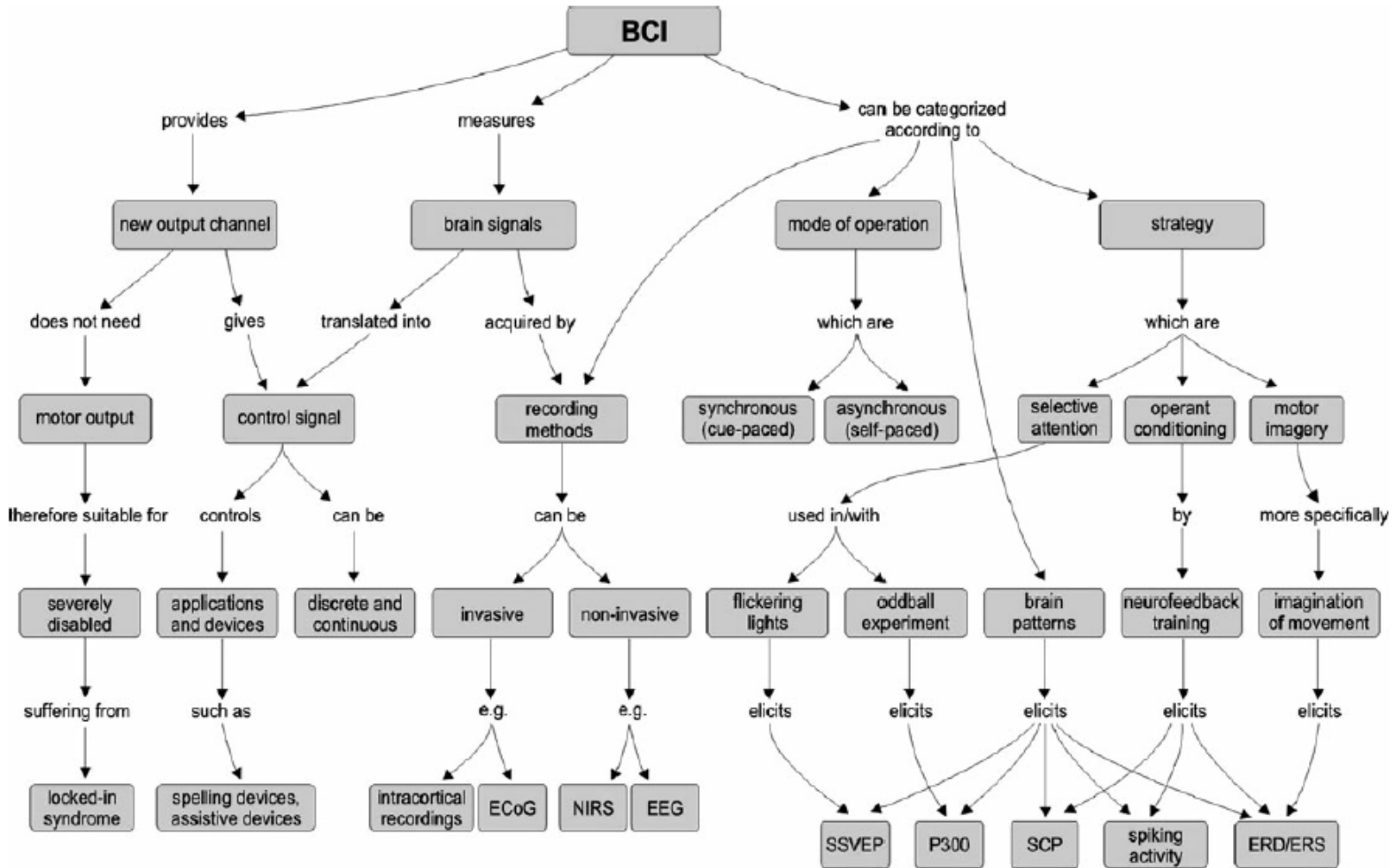
(Grimann et al. 2010)

# Estrategias mentales para BCI

- ▶ BCI solamente puede detectar y clasificar señales asociadas a eventos específicos del cerebro
- ▶ Para producir estas señales, el/la usuario sigue alguna estrategia mental, las mas comunes son:
  - Atención selectiva
  - Imaginación motora



# Mapa conceptual de BCI (Graimann et al. 2010)



# Ejemplos de aplicaciones BCI

- ▶ Controlando un “tiburón volador” con la mente (sep. 2015):

<http://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/openbci-control-an-air-shark-with-your-mind>

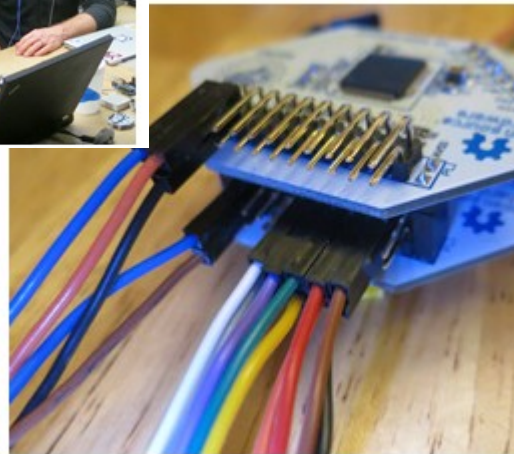
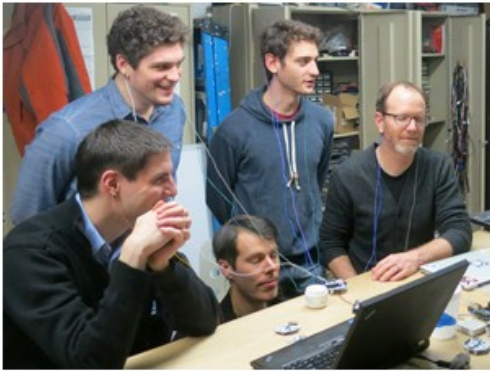
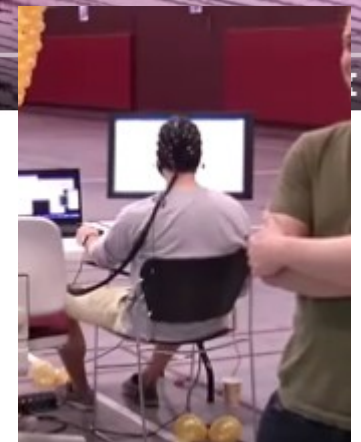
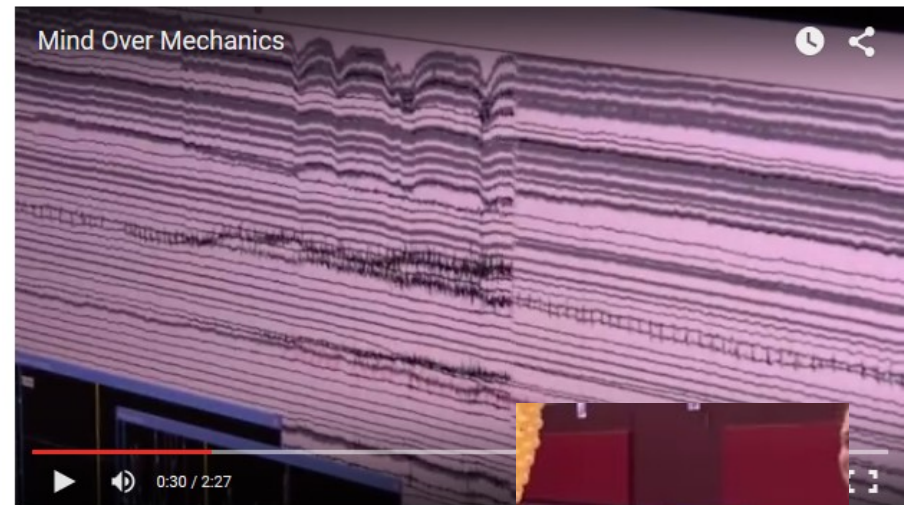
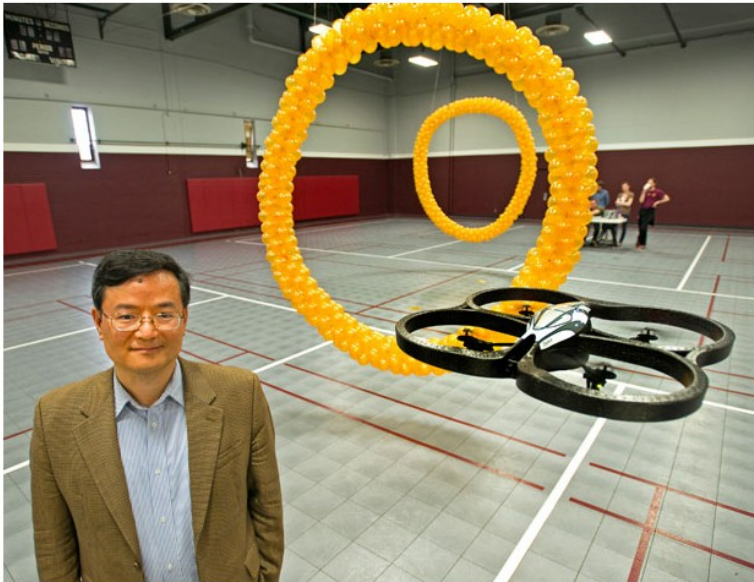


Photo: David Yellen

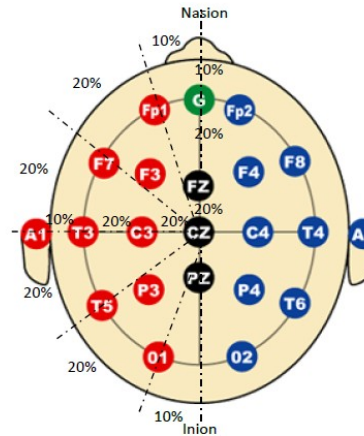
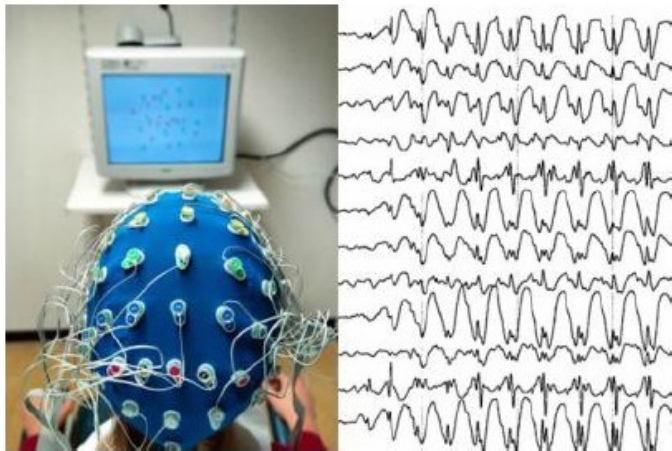


# Ejemplo de aplicación BCI: Volando cuadratores con la mente

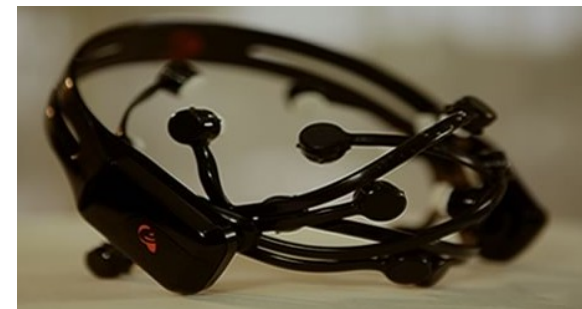
- ▶ <http://spectrum.ieee.org/tech-talk/biomedical/bionics/flying-quadrotors-with-your-mind>



# dispositivos de captura



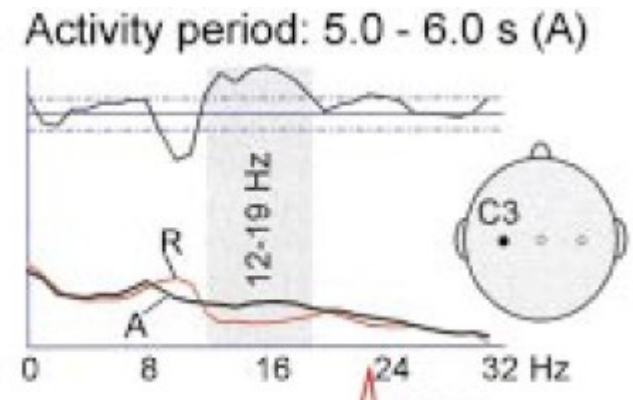
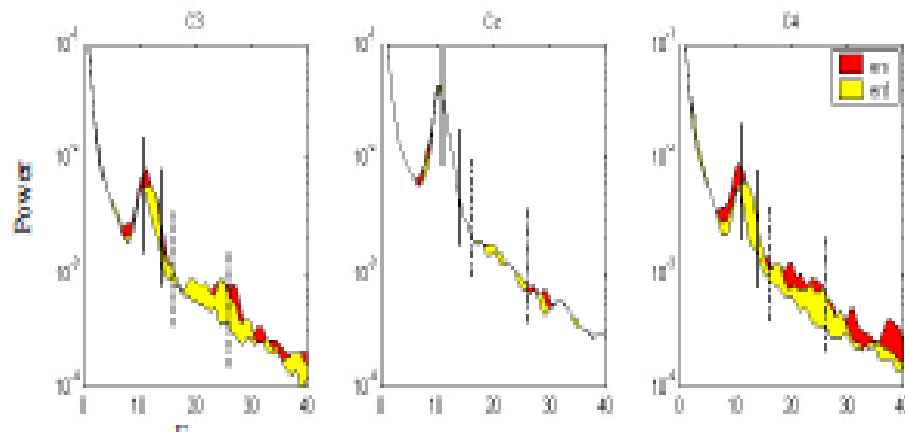
10-20 electrode placement system (Juárez-Guerra, 2012)

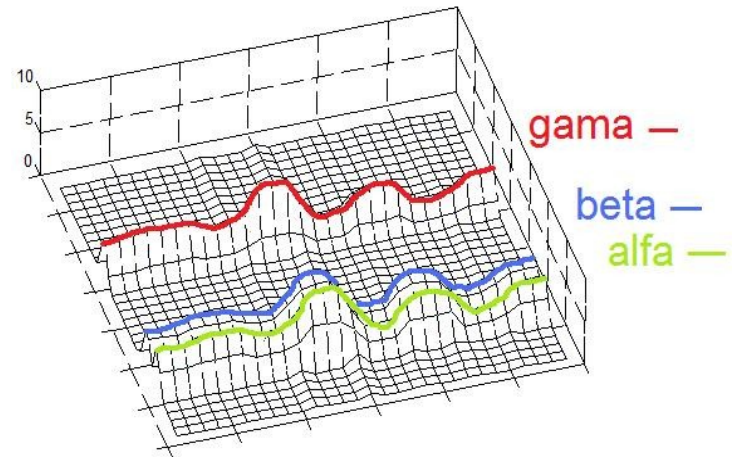
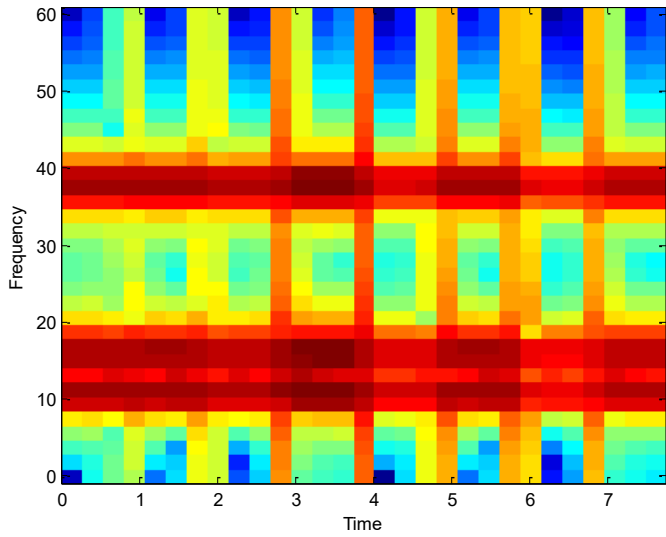
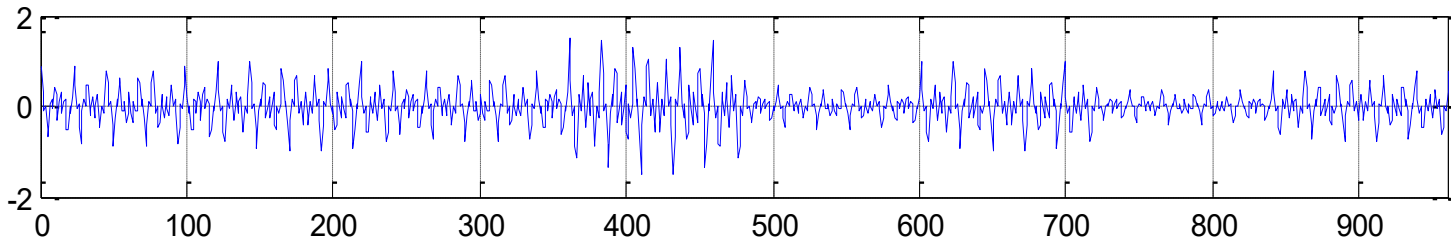


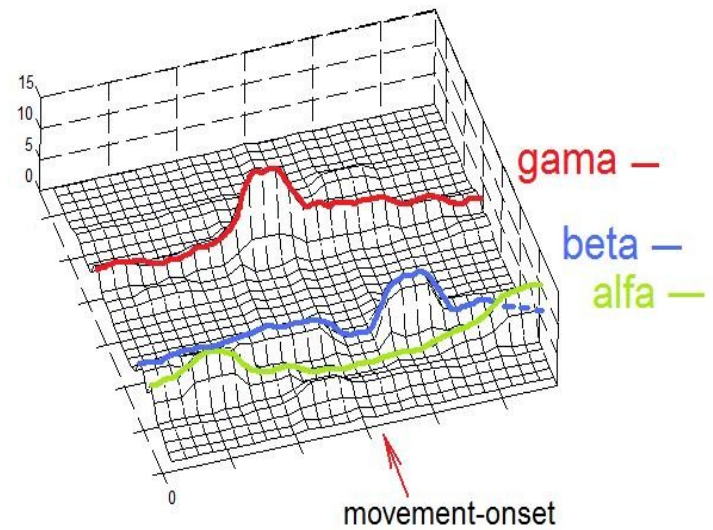
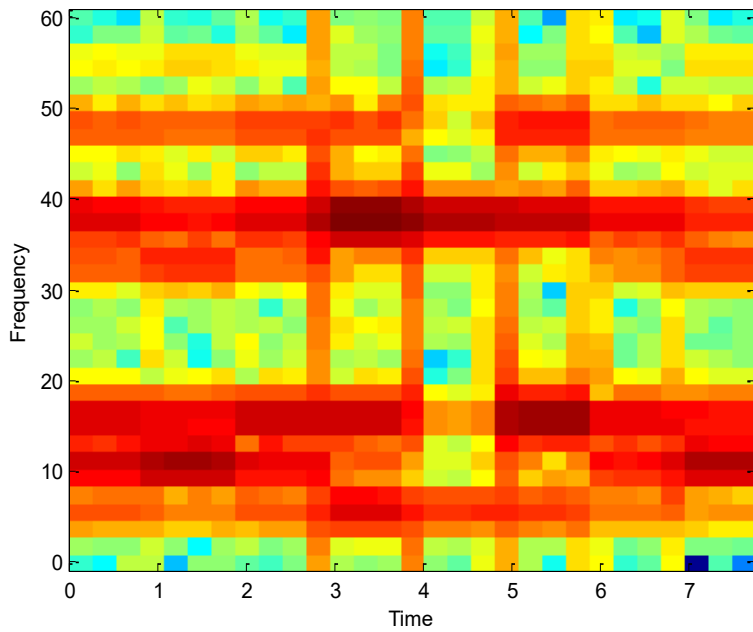
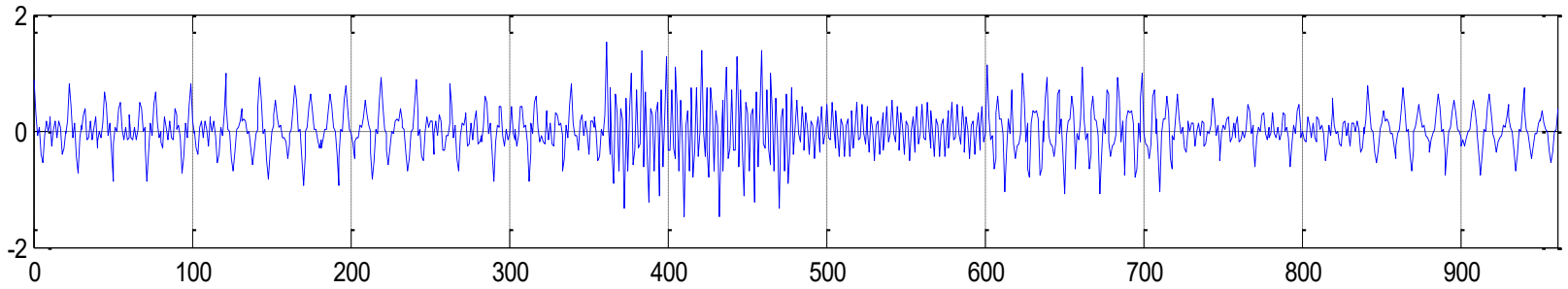
# Extracción de características

## Filtro en la Banda Reactiva

Los estudios y experimentos han mostrado que para la gran mayoría de las personas la banda reactiva se encuentra en el rango de 9–13 Hz, aunque puede variar.



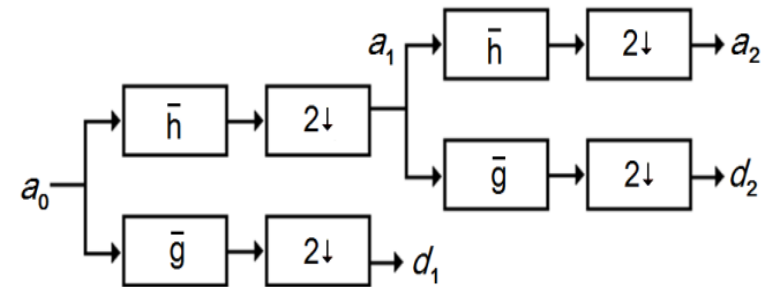
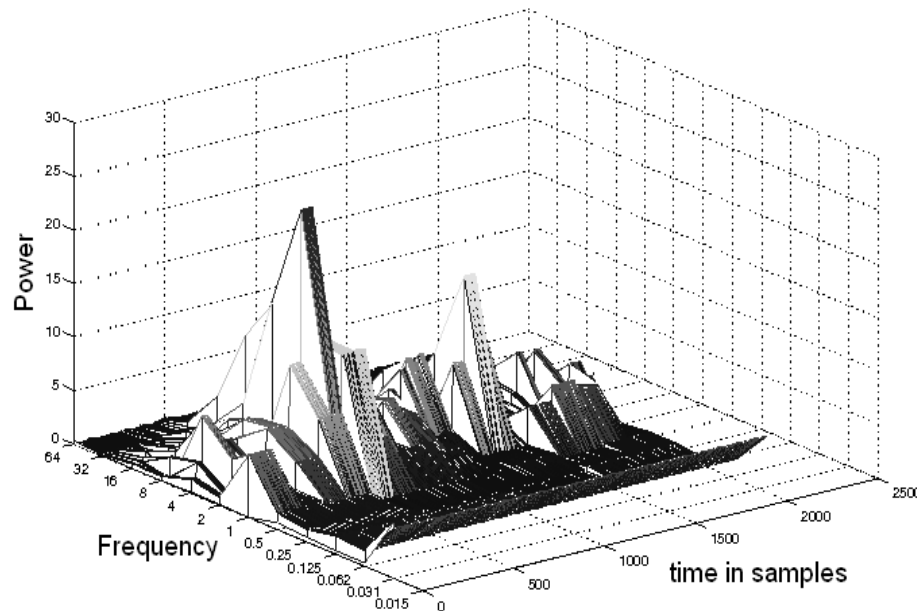




ERD/ERS Event Related Desynchronization / Synchronization

# Transformada discreta wavelet DWT

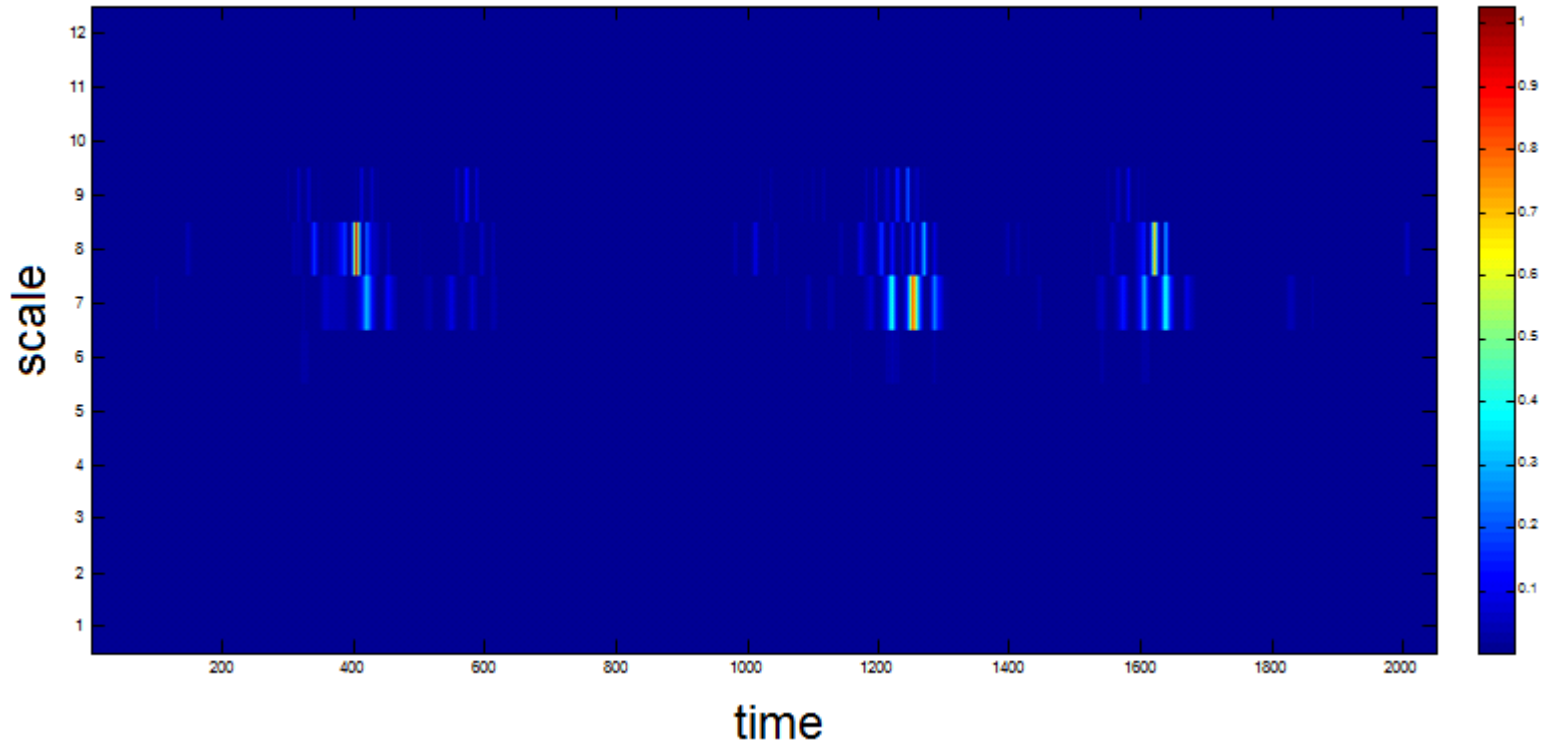
$$W(j,k) = \sum_j \sum_k f(x) 2^{-j/2} \psi(2^{-j} x - k)$$



Wavelet : Daubechies 4

# DWT

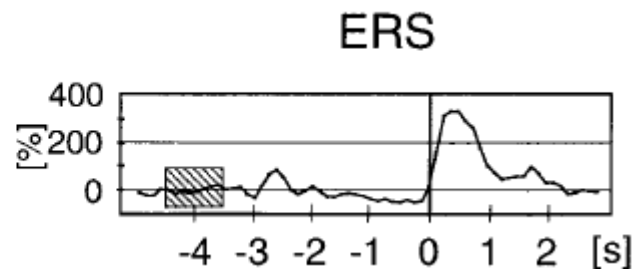
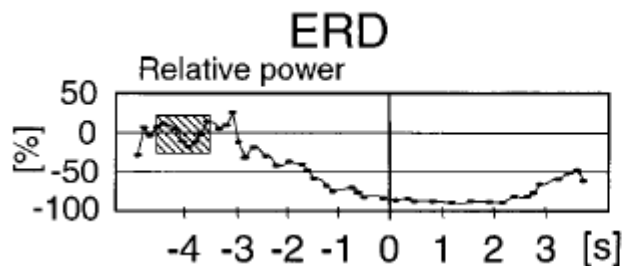
## SCALOGRAM



- ▶ Time markers in 327 1109 1570

# ERD/ERS Event Related Desynchronization/ synchronization

El fenómeno ERD / ERS contiene cambios de la energía promedio en el transcurso del tiempo, detectables en tres bandas espectrales. Dichos cambios están asociados con actividad motora.







# Proyectos en CCC relacionados con BCI y procesamiento EEG

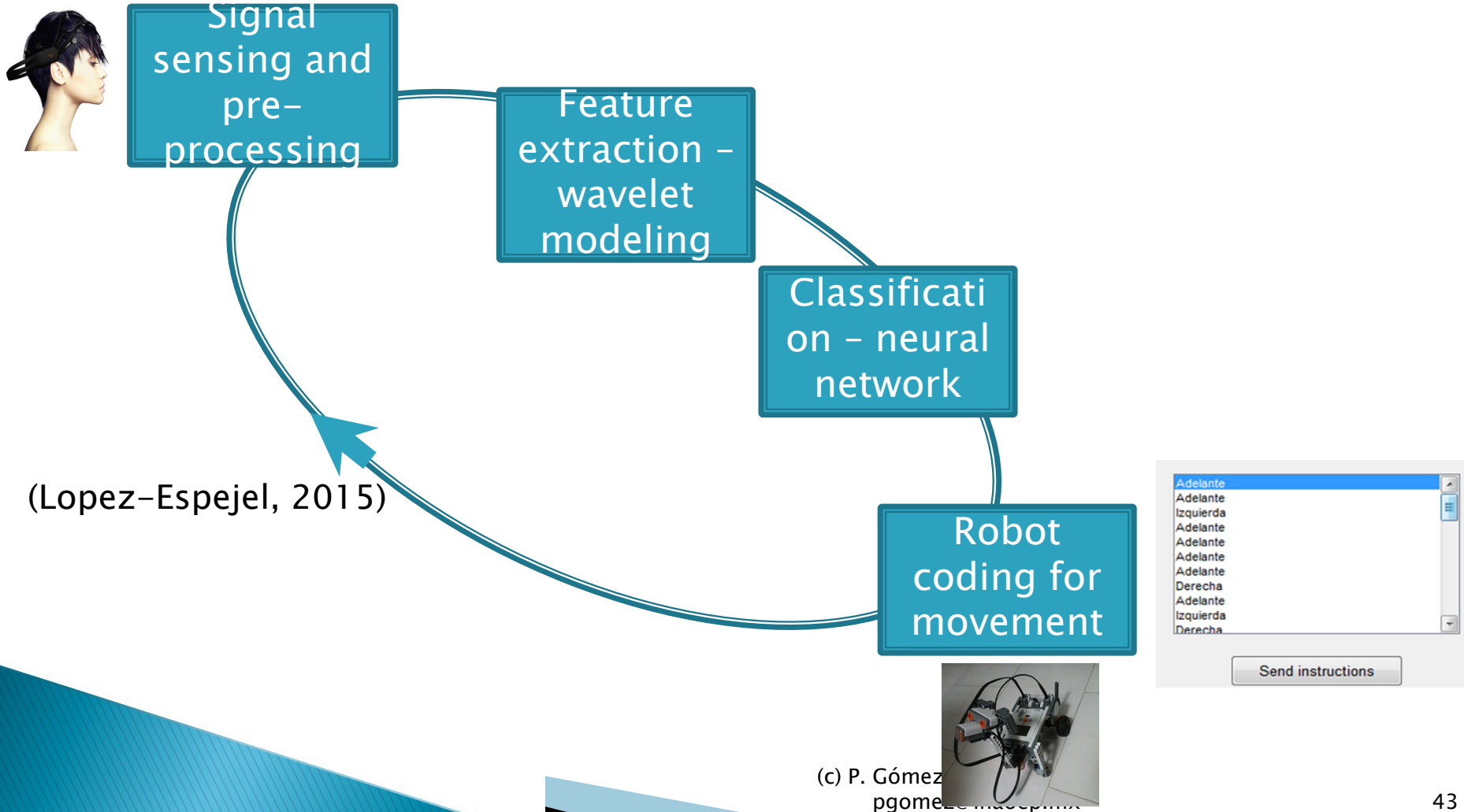
# Clasificación de señales EEG para identificación de comandos.



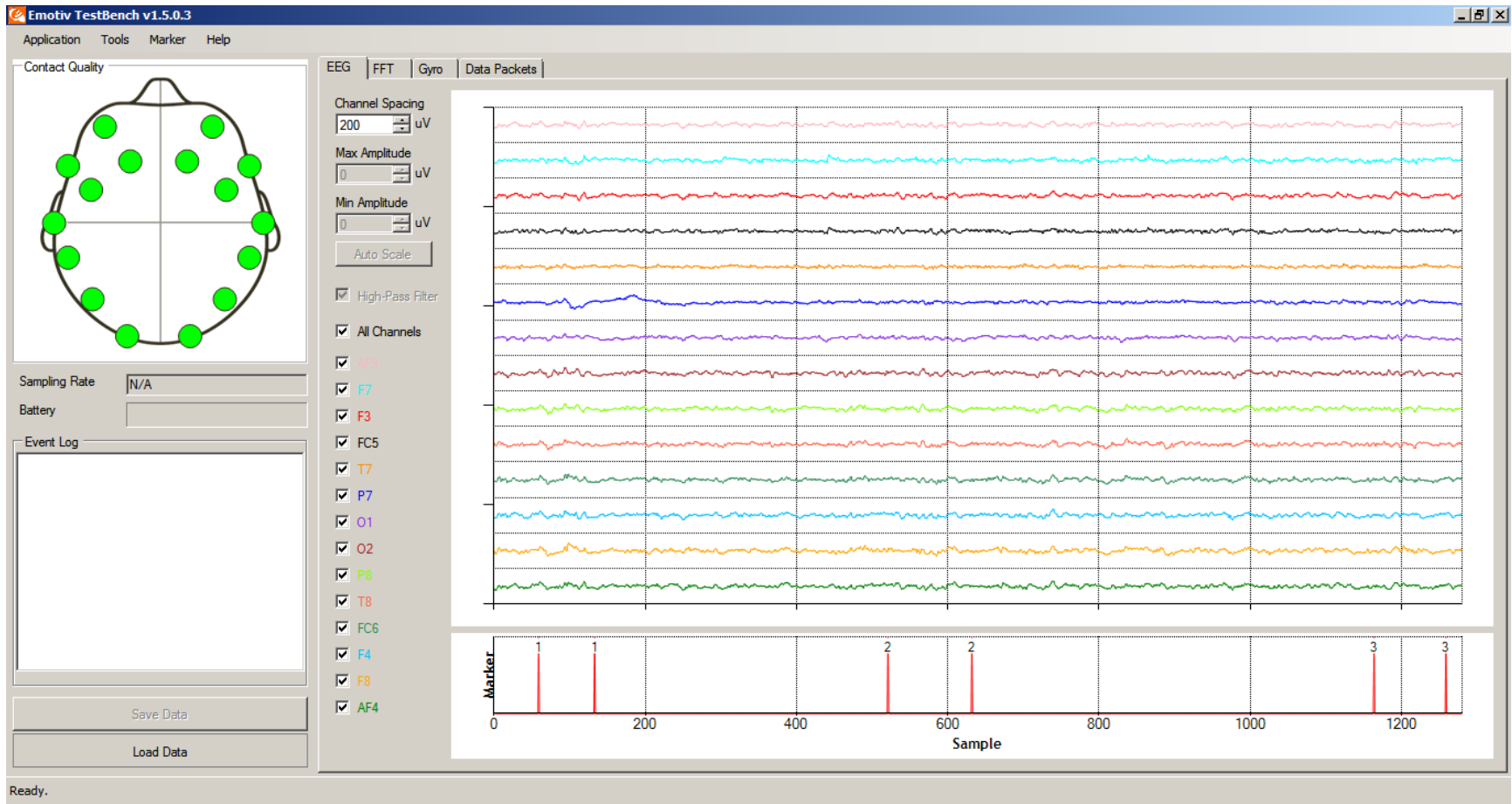
(Lopez-Espejel, 2015)



# Blinky: identificador de comandos



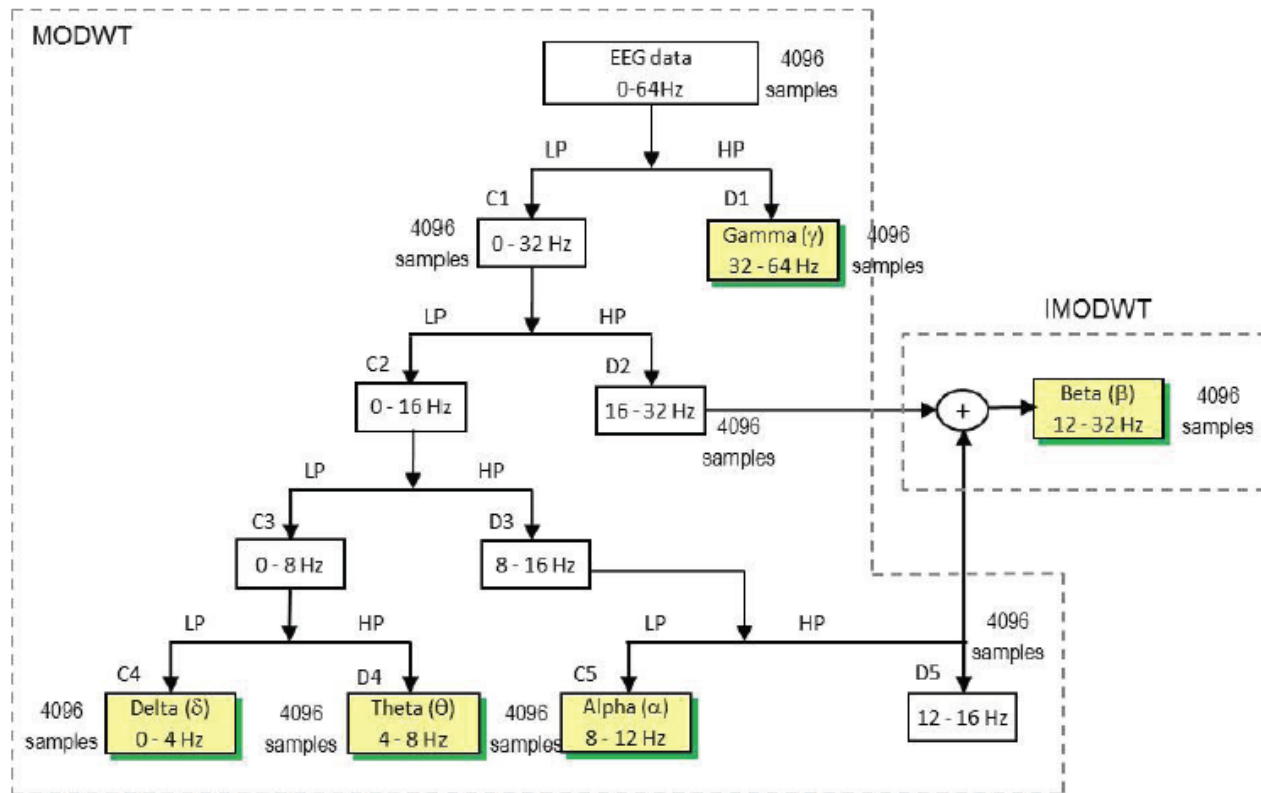
# Sensado usando EMOTIV



[Ramírez-Cortés et al. 2010]

(c) P. Gómez, INAOE 2015  
pgomez@inaoep.mx

# Extracción de características usando análisis wavelet

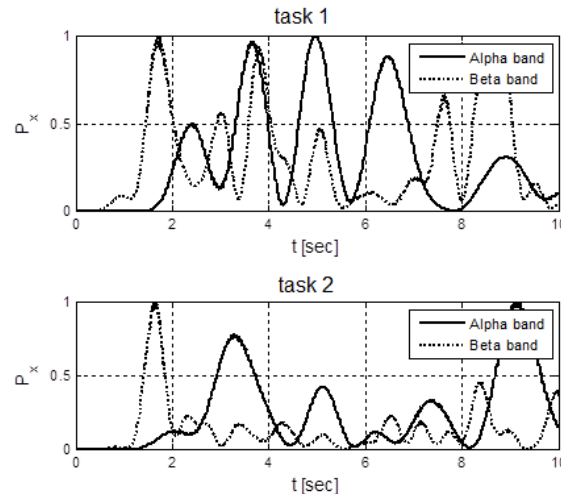
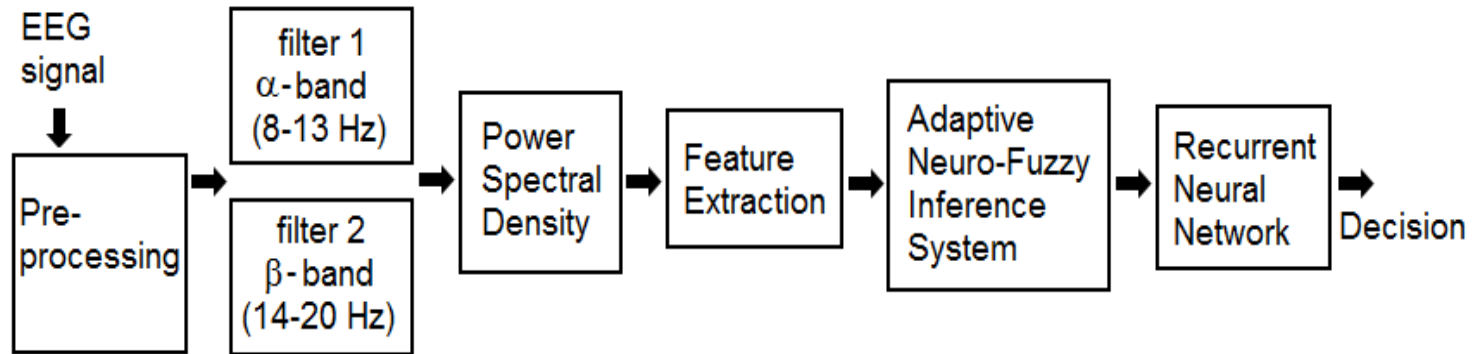


(Juarez-Guerra, 2014)

# Comandos al robot

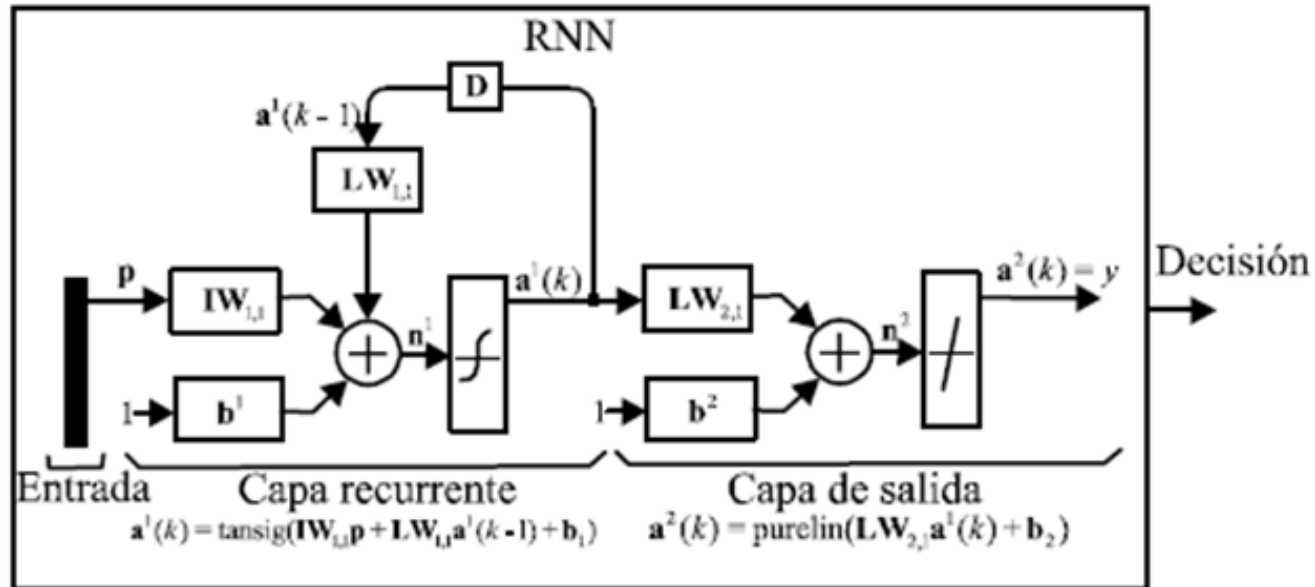


# Detección de ERD/ERS en tareas mentales a través de Redes Neuronales Recurrentes



(Morales-Flores et al. 2013)

# Recurrent Neural Network



Emmanuel Morales-Flores, Juan Manuel Ramírez-Cortés, Pilar Gómez-Gil, Vicente Alarcón-Aquino, "Mental Tasks Temporal Classification Using an Architecture Based on ANFIS and Recurrent Neural Networks", in Recent Advances on Hybrid Intelligent Systems, Springer Berlin/Heidelberg, Vol. 451, pp. 135-146, 2013.



# Publicaciones escogidas – BCI

- ▶ 2015. López-Espejel, Jessica N. “Control de movimiento de objetos a través del uso de electro-encefalogramas y redes neuronales artificiales con equipo de bajo costo.” Tesis para obtener el título de Licenciada en Ingeniería en Ciencias de la Computación. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla– Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Puebla. México. *To be published*
- ▶ 2013. Morales-Flores E Ramírez-Cortés JM, Gómez-Gil P, Alarcón-Aquino V. “Brain Computer Interface Development Based on Recurrent Neural Networks and ANFIS Systems”. *Soft Computing Applications in Optimization, Control, and Recognition*, Vol. 294, pp. 215–236, Edited by Melin, P and Castillo, O, doi=10.1007/978-3-642-35323-9\_9. Springer Berlin Heidelberg.
- ▶ 2013. Rosas-Cholula G, Ramirez-Cortes JM, Rangel-Magdaleno J, Gomez-Gil P, Alarcon-Aquino V. “Head movement artifact removal in EEG signals using Empirical Mode Decomposition and Pearson Correlation” The 2013 International Conference on Artificial Intelligence (ICAI 2013). July 22–25, 2013. Las Vegas, Nevada USA
- ▶ 2012. Obed Carrera León, Juan Manuel Ramirez Cortés, Vicente Alarcón-Aquino, Mary Baker, David D´Croz-Baron, Pilar Gomez-Gil, “A Motor Imagery BCI Experiment using Wavelet Analysis and Spatial Patterns Feature Extraction”, 2012 IEEE Workshop on Engineering Applications, Bogotá, Colombia, May 2–4, 2012.

# Conclusiones y perspectivas

- ▶ El uso práctico de BCI es una realidad actual, sin embargo se requiere de usuario entrenados, dispositivos confiables y excelentes técnicas de procesamiento y clasificación
- ▶ Hay una gran cantidad de investigación a realizarse alrededor de estos temas
- ▶ Es necesaria una preparación sólida en matemáticas para implementar adecuadamente estas técnicas en productos terminados.



Muchas gracias por su  
atención!

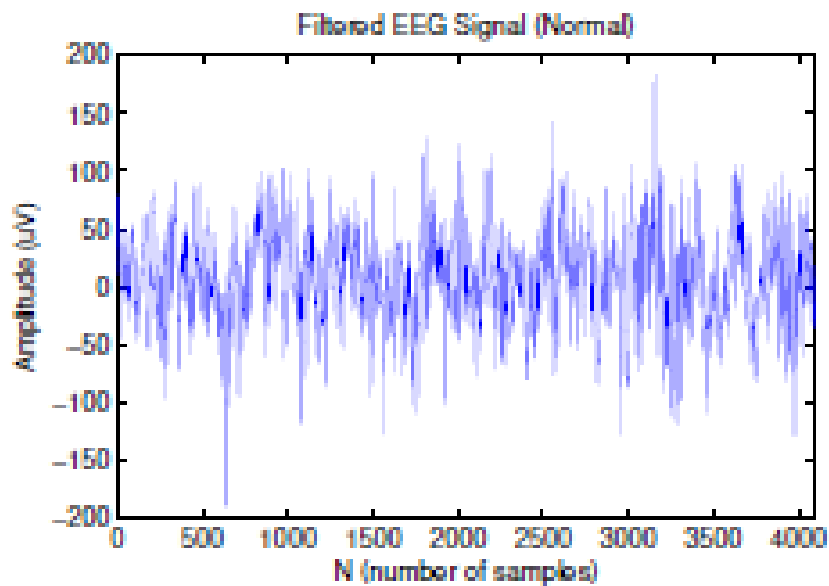
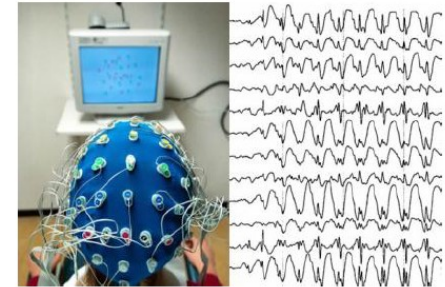
[pgomez@inaoep.mx](mailto:pgomez@inaoep.mx)

[ccc.inaoep.mx/~pgomez](http://ccc.inaoep.mx/~pgomez)

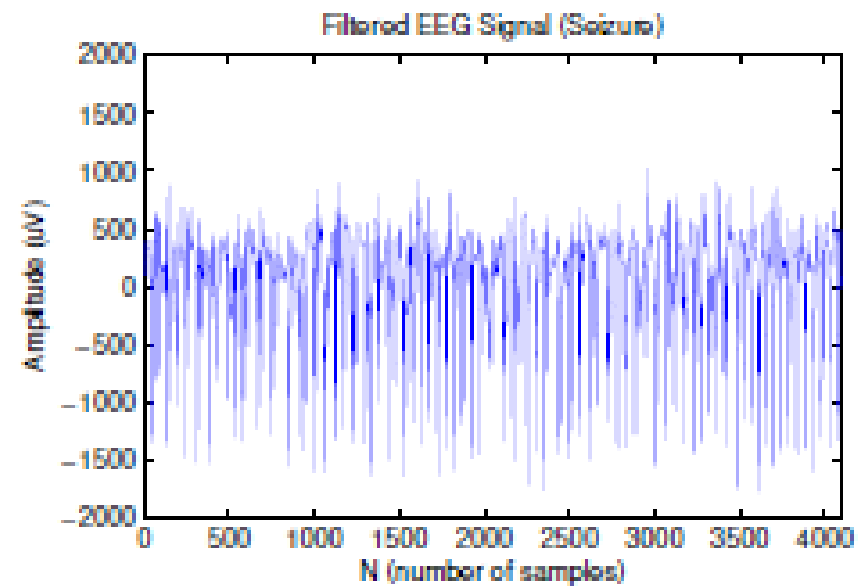
*Esta presentación está disponible en:*

*<http://ccc.inaoep.mx/~pgomez/conferences/PggITP15.pdf>*

# Clasificación de epilepsia

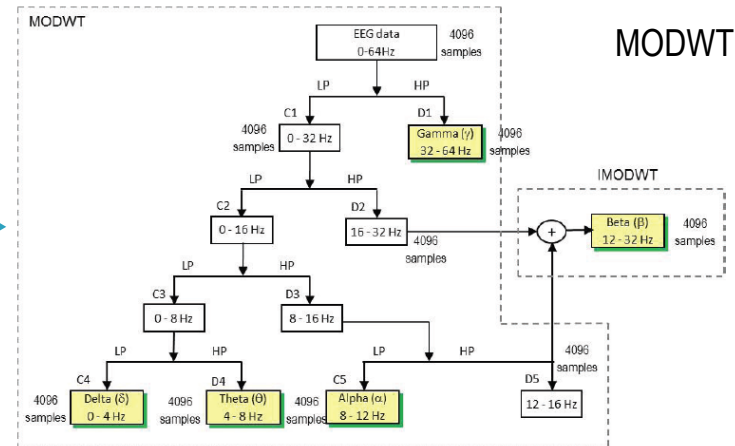
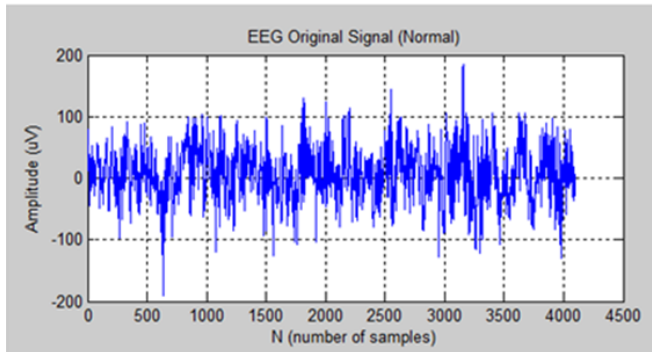


Healthy patient



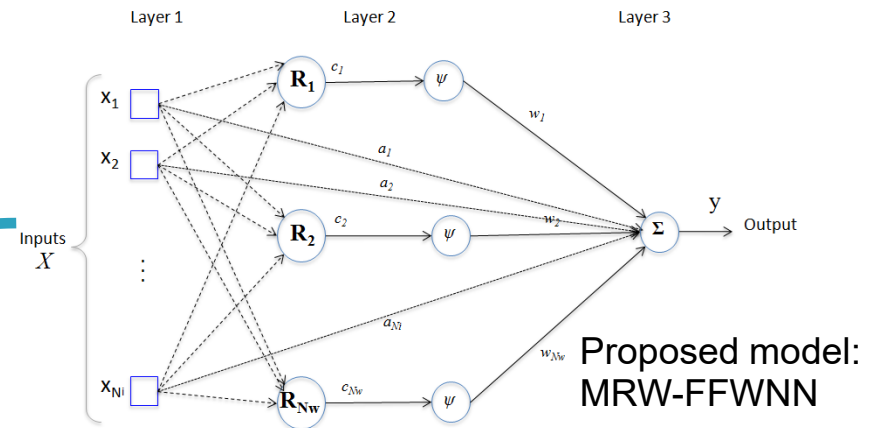
During an ictal event

# Biomedical Signal Processing Using Wavelet Based –Neural Networks

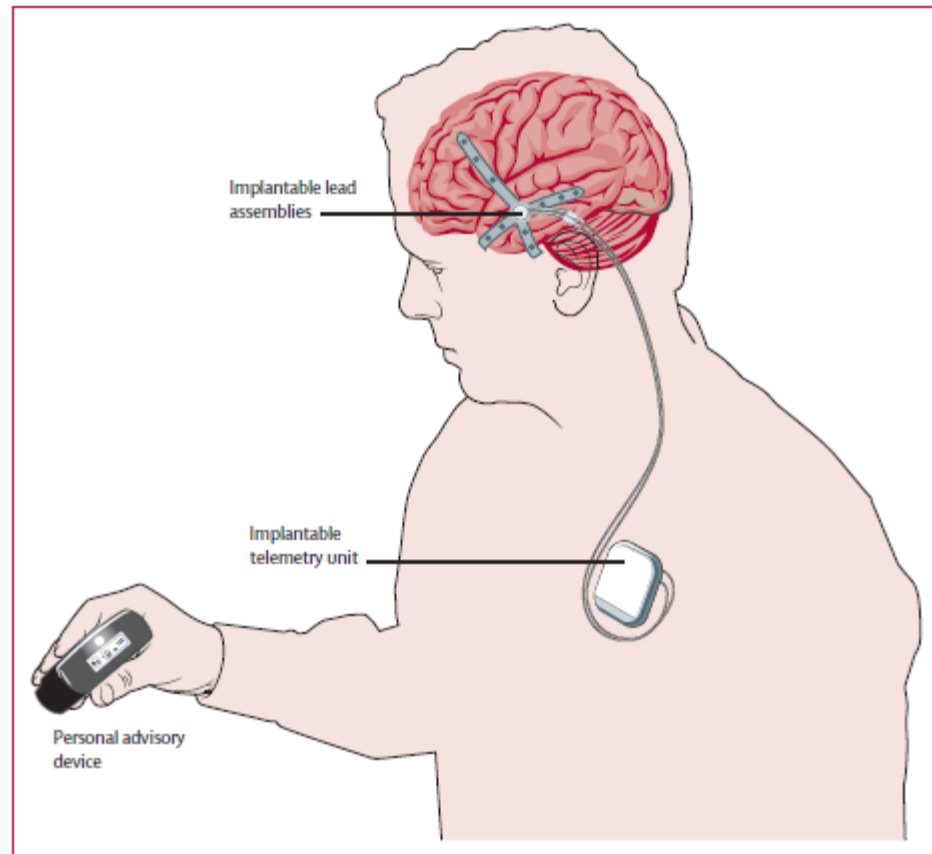


(Juarez-Guerra, 2014)

MRW_SRWNN (% Accuracy)					
total	Ictal	Inter	Healthy	Indeter	Total
3.11	64.44	77.06	98.42	16.44	83.56
5.56	77.24	87.62	92.00	13.78	<b>86.22</b>



# Predicción de eventos epilépticos: estado del arte



(Cook et al. 2013)

**Figure 1: Major components of seizure advisory system**

Intracranial electrode arrays (location shown by grey areas) were used to collect intracranial electroencephalogram (EEG) data on the cortical surface. Leads were connected to a subclavicularly placed implanted telemetry unit, which wirelessly transmitted data to an external, hand-held personal advisory device. The external device received the telemetered EEG, applied an algorithm to the data, and displayed the resultant information as a series of advisory lights—blue (low), white (moderate), or red (high) indicators—in addition to an audible tone or vibration, or both. The hand-held device could be worn on the belt or carried in a bag.

# Selected publications – epilepsy

- ▶ 2015. Juárez-Guerra E, Alarcon-Aquino V and Gomez-Gil P. “Epilepsy Seizure Detection in EEG Signals Using Wavelet Transforms and Neural Networks.” New Trends in Networking, Computing, E-learning, Systems Sciences, and Engineering Lecture Notes in Electrical Engineering. Eds: K. Elleithy, T. Sobh. Vol 312, 2015, pp 261–269. DOI: 10.1007/978-3-319-06764-3\_33 . (Nota: This work was presented in the : “Virtual International Joint Conferences on Computer, Information and Systems Sciences and Engineering” (CISSE 2013). Dec. 12–14, 2013)
- ▶ 2014. Gómez-Gil P, Juárez-Guerra E, Alarcón-Aquino V, Ramírez-Cortés M, Rangel-Magdaleno J. Identification of Epilepsy Seizures Using Multi-resolution Analysis and Artificial Neural Networks. Recent Advances on Hybrid Approaches for Designing. Intelligent Systems, Studies in Computational Intelligence 547, O Castillo et al. (eds.), DOI: 10.1007/978-3-319-05170-3\_23, Springer International Publishing Switzerland 2014
- ▶ 2014. Juárez Guerra, E. “Biomedical Signal Processing Using Wavelet Based –Neural Networks”. Doctoral program in computer science, technical report. Nov. 14, 2014. Cholula, Puebla.