

## **Título: Desarrollo y evaluación del modelo de aprendizaje inverso (“flipped classroom”) en la docencia de la asignatura “Tratamiento de Señales Biomédicas”.**

Jesús Poza Crespo\*, María García Gadañón\*, Carlos Gómez Peña\*, Roberto Hornero Sánchez\*, Fernando Vaquerizo Villar\*, Gonzalo C. Gutiérrez Tobal\*, Javier Gómez Pilar\*, Daniel Álvarez González\*

\*Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones e Ingeniería Telemática, E.T.S. de Ingenieros de Telecomunicación, \*Servicio de Neumología, Hospital Universitario Río Hortega

jesus.poza@tel.uva.es

### **ANEXO II**

El documento adjuntado en este Anexo se corresponde con el guión de las cuatro sesiones de la Práctica 2 de laboratorio de la asignatura “Tratamiento de Señales Biomédicas” para el curso 2018/2019, que ha sido abordada utilizando el modelo de aprendizaje inverso.



**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**  
**E.T.S. INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN**



# **TRATAMIENTO DE SEÑALES BIOMÉDICAS**

**Práctica 2. Análisis espectral y no lineal**

**CURSO 2018/2019**

# ÍNDICE

<b>1. OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
<b>2. TEMPORIZACIÓN</b>	<b>3</b>
<b>3. SEÑALES SINTÉTICAS</b>	<b>6</b>
3.1. Trabajo previo a la sesión de laboratorio	6
3.2. Sesión de laboratorio sobre señales sintéticas	6
<b>4. ESTIMACIÓN ESPECTRAL Y REPRESENTACIONES TIEMPO-FRECUENCIA</b>	<b>7</b>
4.1. Trabajo previo a la sesión de laboratorio	7
4.2. Sesión de laboratorio sobre métodos de estimación espectral y representaciones tiempo-frecuencia	7
<b>5. PARÁMETROS ESPECTRALES</b>	<b>10</b>
5.1. Trabajo previo a la sesión de laboratorio	10
5.2. Sesión de laboratorio sobre parámetros espectrales	10
<b>6. PARÁMETROS NO LINEALES</b>	<b>11</b>
6.1. Trabajo previo a la sesión de laboratorio	11
6.2. Sesión de laboratorio sobre parámetros no lineales	11
<b>7. EVALUACIÓN</b>	<b>13</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>13</b>

## 1. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

En esta segunda práctica se van a analizar varios de los métodos estudiados para realizar el análisis espectral y el análisis no lineal de señales biomédicas. Para ello, se utilizarán diversos registros biomédicos reales, tales como electrocardiogramas (ECG), magnetoencefalogramas (MEG), electroencefalogramas (EEG) y potenciales relacionados con eventos (ERP, *event-related potentials*), así como señales sintéticas. Con cada una de estas señales ilustrarán diferentes situaciones donde los análisis espectral y no lineal pueden ser útiles para extraer información de diversa naturaleza. Los objetivos de la práctica consistirán en:

- (i) Familiarizarse con las características de varias señales biomédicas, como el ECG, el MEG, el EEG y los ERPs.
- (ii) Familiarizarse con el uso de señales sintéticas para caracterizar las propiedades de los métodos empleados.
- (iii) Comprender la implicación de modificar los diversos parámetros de las diferentes técnicas de análisis espectral, en términos de la resolución en frecuencia y del manchado espectral.
- (iv) Comprender la implicación de modificar los diversos parámetros de los diferentes parámetros no lineales.
- (v) Identificar las ventajas e inconvenientes de las diferentes técnicas de análisis espectral y no lineal.
- (vi) Identificar cuándo es adecuado aplicar cada técnica de análisis espectral y no lineal, en función de la información que se quiere extraer y de las diferentes señales biomédicas.

El modelo pedagógico que se va a seguir en esta práctica se basa en el modelo de aprendizaje inverso (*flipped classroom*), combinado con diversas técnicas didácticas (aprendizaje colaborativo, aprendizaje basado en problemas, *Just-in-time Teaching* e instrucción entre pares). El objetivo que se persigue es proporcionar a los alumnos oportunidades de experimentar su aprendizaje de forma más autónoma, autodirigida y autorregulada. Gracias a ello se pretende reforzar la implicación de los alumnos en su propio aprendizaje con una metodología híbrida inductiva-deductiva que sea útil para:

- Promover la implicación activa de todos los estudiantes en su propio proceso de aprendizaje.
- Fomentar el trabajo en equipo.
- Confiar en el compañero con el propósito común de cumplir los objetivos y no tanto para un éxito personal.
- Fomentar las capacidades de búsqueda y selección de la información utilizando todo tipo de recursos educativos.
- Conocer y respetar diferentes puntos de vista sobre un mismo tema.
- Potenciar la capacidad de autoevaluación de cada alumno, de modo que se promueva la reflexión sobre el propio trabajo y sobre la interacción con sus compañeros.
- Lograr una mayor conexión de la situación de aprendizaje con el mundo real y profesional.

## 2. TEMPORIZACIÓN

Las sesiones prácticas se llevarán a cabo en el laboratorio **2L003** los días **6, 13 y 20 de marzo, y 3 de abril de 2019** en las horas de clase (18:00-20:00). Se distribuirán de la siguiente forma durante las 8 horas de duración de la práctica:

### Sesión del 6 de marzo de 2019 (2 h. presenciales) – Señales sintéticas

Trabajo previo en casa:

1. Cuestionario sobre conocimientos previos.
2. Lectura de artículos sobre señales sintéticas.

Trabajo en el laboratorio:

- 3. Cuestionario de evaluación de la Práctica 1 (30').**
4. Presentación de la sesión y dudas sobre las lecturas previas (15').
5. Implementación en Matlab® de las señales sintéticas I (15').
6. Descanso (5').
7. Implementación en Matlab® de las señales sintéticas II (40').
8. Análisis y discusión de los resultados (10').
9. Consideraciones finales y cuestionario sobre conocimientos adquiridos (5').

### Sesión del 13 de marzo de 2019 (2 h. presenciales) – Estimación espectral

Trabajo previo en casa:

1. Cuestionario sobre conocimientos previos.
2. Lectura de artículos y recursos sobre estimación espectral no paramétrica y representaciones tiempo-frecuencia.

Trabajo en el laboratorio:

3. Presentación de la sesión y dudas sobre las lecturas previas (15').
4. Implementación en Matlab® de tres métodos de estimación espectral (20').
5. Aplicación de los métodos programados a señales biomédicas reales (10').
6. Exposición de las ventajas e inconvenientes de cada uno (15').
7. Descanso (5').
8. Discusión en grupo sobre las ventajas e inconvenientes de la STFT y de la CWT (10').
9. Implementación en Matlab® de la STFT y de la CWT y aplicación a señales biomédicas reales (30').
10. Exposición y discusión de resultados (10').
11. Consideraciones finales y cuestionario sobre conocimientos adquiridos (5').

### Sesión del 20 de marzo de 2019 (2 h. presenciales) – Parámetros espectrales

Trabajo previo en casa:

1. Cuestionario sobre conocimientos previos.
2. Lectura de artículos sobre parámetros espectrales.

Trabajo en el laboratorio:

3. Presentación de la sesión y dudas sobre las lecturas previas (15').
4. Implementación en Matlab® de tres parámetros espectrales (20').
5. Aplicación de los métodos espectrales a señales sintéticas (25').
6. Descanso (5').

7. Exposición y discusión de los resultados (15').
8. Aplicación de los parámetros espectrales a señales biomédicas reales (20').
9. Exposición e interpretación de resultados (15').
10. Consideraciones finales y cuestionario sobre conocimientos adquiridos (5').

Sesión del 3 de abril de 2019 (2 h. presenciales) – Parámetros no lineales

Trabajo previo en casa:

1. Cuestionario sobre conocimientos previos.
2. Lectura de artículos sobre parámetros no lineales.

Trabajo en el laboratorio:

3. Presentación de la sesión y dudas sobre las lecturas previas (15').
4. Puesta en común de los conceptos principales asociados a los parámetros no lineales estudiados (10').
5. Aplicación de un parámetro no lineal a señales sintéticas (15').
6. Discusión en grupo de los resultados (10').
7. Implementación en Matlab<sup>®</sup> de dos parámetros no lineales I (10').
8. Descanso (5').
9. Implementación en Matlab<sup>®</sup> de dos parámetros no lineales II (25').
10. Aplicación de parámetros no lineales a señales biomédicas reales (15').
11. Exposición e interpretación de resultados (10').
12. Consideraciones finales y cuestionario sobre conocimientos adquiridos (5').

## 3. SEÑALES SINTÉTICAS

### 3.1. Trabajo previo a la sesión de laboratorio

En primer lugar, realice el cuestionario de conocimientos previos disponible en el curso Moodle del Campus Virtual de la UVa (“Cuestionario de conocimientos previos de la sesión 1 de la Práctica 2 – Señales sintéticas”).

Tras realizar el cuestionario, lea los artículos de Hornero *et ál.* (Hornero *et ál.* 2005) y de Aboy *et ál.* (Aboy *et ál.* 2006). Ambos están disponibles en la carpeta “Recursos del Apartado 3.1” de la sección del curso Moodle correspondiente a la primera sesión de laboratorio de la Práctica 2. Estos artículos introducen y analizan la aplicación de señales sintéticas para caracterizar el comportamiento de dos parámetros no lineales. No es necesario leer todo el contenido de los artículos, sino las partes sombreadas, prestando especial atención a la forma de generar las señales sintéticas.

### 3.2. Sesión de laboratorio sobre señales sintéticas

Como habrá leído en los artículos, las señales sintéticas son registros generados de manera controlada, cuyas características son conocidas. Suelen ser útiles para comprender cómo se comporta un método de análisis ante una situación controlada. Normalmente para caracterizar las propiedades de un método, p.ej. de análisis no lineal, se utilizan varias señales sintéticas que ilustran sus propiedades frente a cambios en amplitud, frecuencia y nivel de ruido.

- Antes de implementar diversas señales sintéticas, ponga en común con el resto de los compañeros y el profesor las dudas que tenga sobre los artículos consultados.
- Implemente en Matlab® las siguientes señales sintéticas y visualícelas en el dominio del tiempo y en el plano tiempo-frecuencia. Para ello, le pueden resultar útiles las funciones `specgram` o `spectrogram`.
  - **Sinusoide de amplitud constante**, con las siguientes características:
    - Longitud ( $L$ ) de 40 s.
    - Amplitud ( $A$ ) de 1.
    - Frecuencia de muestreo ( $f_s$ ) de 100 Hz.
    - Frecuencia de oscilación ( $f$ ) de 2 Hz.
  - **Señal *chirp* de amplitud constante**, con las siguientes características:
    - Longitud ( $L$ ) de 40 s.
    - Amplitud ( $A$ ) de 1.
    - Frecuencia de muestreo ( $f_s$ ) de 100 Hz.
    - Frecuencia inicial ( $f_i$ ) de 0.5 Hz.
    - Frecuencia final ( $f_f$ ) de 5 Hz.
  - **Señal *chirp* modulada en amplitud (AM)**, con las siguientes características:
    - Señal portadora: señal *chirp* anterior.

- Señal moduladora sinusoidal:
  - Longitud ( $L$ ) de 40 s.
  - Amplitud ( $A_m$ ) de 0.25.
  - Frecuencia ( $f_m$ ) de 0.05 Hz.
- **Ruido blanco gaussiano**, con las siguientes características:
  - Longitud ( $L$ ) de 40 s.
  - Frecuencia de muestreo ( $f_s$ ) de 100 Hz.
- Analice los resultados obtenidos tras visualizar las señales sintéticas y discútalos con sus compañeros.
- Para finalizar la sesión, realice el cuestionario de conocimientos adquiridos disponible en el curso Moodle del Campus Virtual de la UVa (“*Cuestionario de conocimientos adquiridos de la sesión 1 de la Práctica 2 – Señales sintéticas*”).

## 4. ESTIMACIÓN ESPECTRAL Y REPRESENTACIONES TIEMPO-FRECUENCIA

### 4.1. Trabajo previo a la sesión de laboratorio

En primer lugar, realice el cuestionario de conocimientos previos disponible en el curso Moodle del Campus Virtual de la UVa (“*Cuestionario de conocimientos previos de la sesión 2 de la Práctica 2 – Estimación espectral y TFRs*”).

Tras realizar el cuestionario, consulte el recurso web disponible en (Lleida-Solano *et al.* 2019): <http://physionet.cps.unizar.es/~eduardo/docencia/tds/librohtml/noparam.htm>, en el que se describen diversos métodos no paramétricos de estimación espectral. Asimismo, lea el artículo de Rioul y Vetterli (Rioul & Vetterli 1991), disponible en la carpeta “Recursos del Apartado 4.1” de la sección del curso Moodle correspondiente a la segunda sesión de laboratorio de la Práctica 2. Este artículo describe las diferentes formulaciones de la transformada *wavelet* y la compara con la transformada corta de Fourier. No es necesario leer todo el contenido del artículo, sino las partes sombreadas, prestando especial atención a la forma de generar la transformada *wavelet* continua.

### 4.2. Sesión de laboratorio sobre métodos de estimación espectral y representaciones tiempo-frecuencia

En esta sesión, se van a analizar las técnicas analizadas en clase para estimar la densidad espectral de potencia (PSD, *Power Spectral Density*), concretamente: el método de Blackman-Tukey, el periodograma y el método de Welch. Estudiaremos las diferencias y similitudes de cada método a la hora de estimar la PSD, así como el efecto de modificar los parámetros de cada uno.

- En primer lugar, ponga en común con el resto de los compañeros y el profesor las dudas que tenga sobre los recursos consultados.
- A continuación, implemente en Matlab® uno de los tres métodos de estimación espectral indicados. Para evaluarlos, vamos a analizar la actividad electrocardiográfica mediante un registro ECG. El ECG muestra la actividad rítmica del corazón. Por tanto, deberían aparecer diferentes picos en el espectro,



correspondientes a la frecuencia fundamental y a los diferentes armónicos. Descargue en su directorio de trabajo la señal ECG disponible en el apartado correspondiente a la Práctica 2 del curso Moodle de la asignatura (“Apartado4-2\_ECG.mat”). La señal ECG que analizaremos corresponde a una mujer de 63 años que padece el síndrome de la apnea obstructiva del sueño (SAOS), con un índice de masa corporal de  $34 \text{ Kg/m}^2$  (i.e. con obesidad leve, intervalo  $(30 \text{ } 35] \text{ Kg/m}^2$ ) y un índice de apnea-hipoapnea de 101 eventos/hora (i.e. SAOS severo,  $\geq 30$  eventos/hora). El registro se ha realizado en reposo y con una frecuencia de muestreo de 512 Hz. La pregunta de investigación que debe responder es: *¿es capaz de distinguir la frecuencia fundamental de latido en el dominio del tiempo y en el de la frecuencia?*

- **Método de Blackman-Tukey.** Para estimar la PSD, puede resultarle útil el comando de Matlab® `xcorr`. Consulte la ayuda de Matlab® sobre el mismo, para analizar las diferentes opciones de cálculo. Visualice en una misma figura, en diferentes ejes, la señal ECG en tiempo y las diversas estimaciones de la PSD con el método de Blackman-Tukey, implementadas a través del comando `xcorr`. Tenga en cuenta que al utilizar el comando `xcorr` se está calculando la función de autocorrelación y, por lo tanto, el número de muestras es diferente al de la señal original. ¿Qué ocurre si disminuye el tamaño de la ventana utilizada para calcular la autocorrelación?
- **Periodograma.** Consulte detenidamente la ayuda de Matlab® sobre el comando `periodogram`, para analizar las diferentes opciones de cálculo. Finalmente, visualice en una misma figura, en diferentes ejes, la señal ECG en tiempo y diversas estimaciones de la PSD mediante el periodograma, variando la ventana (periodograma modificado) y la longitud de segmento.
- **Método de Welch.** Consulte detenidamente la ayuda de Matlab® sobre el comando `pwelch`. Visualice en una misma figura, en diferentes ejes, la señal ECG en tiempo y las diversas estimaciones de la PSD mediante el método de Welch, variando la ventana, el solapamiento y la longitud de segmento.
- Analice los resultados obtenidos, elabore una breve presentación (1-2 diapositivas) y discuta con sus compañeros las ventajas e inconvenientes de cada método de estimación espectral.

Los métodos anteriores de estimación de la PSD se basan en la suposición de que el registro biomédico analizado es estacionario en la ventana de análisis (Sörnmo & Laguna 2005). Sin embargo, en muchas situaciones las propiedades del registro biomédico analizado dependen del instante analizado (señal no estacionaria). Es en estas situaciones cuando hay que recurrir al análisis tiempo-frecuencia (TFR, *time-frequency representation*). Como se ha estudiado en clase, existen diversos tipos de representaciones tiempo-frecuencia (o tiempo-escala). A continuación, estudiaremos dos de ellas ampliamente utilizadas para la caracterización de las propiedades dinámicas de los registros biomédicos: la transformada corta de Fourier (STFT) y la transformada *wavelet* continua (CWT).

La STFT es una extensión del análisis de Fourier, en la que la señal de interés se divide en diferentes segmentos mediante la técnica de ventana deslizante. La STFT se basa en la división de la señal original en segmentos suficientemente pequeños, para que sean estacionarios. De esa manera, es posible aplicar la transformada de Fourier en cada uno de ellos sin pérdida de información. El problema de la STFT estriba en que ofrece una resolución fija en el plano tiempo-frecuencia, una vez que se ha fijado la ventana de análisis. Sin embargo, las señales biomédicas normalmente presentan simultáneamente oscilaciones rápidas en intervalos cortos y variaciones lentas en intervalos largos. Por lo tanto, sería más adecuado realizar un análisis espectral, de manera que su resolución en el plano tiempo-frecuencia fuera variable. La transformada *wavelet* permite realizar este tipo de análisis. De hecho, proporciona una buena resolución temporal para oscilaciones rápidas y una buena resolución en frecuencia para oscilaciones lentas. Hay que tener en cuenta que nos podemos encontrar diferentes variantes de la transformada *wavelet*, como la CWT (Rangayyan 2002).

- En primer lugar, ponga en común con el resto de los compañeros y el profesor las dudas que tenga sobre las dos TFR anteriores, discutiendo sus ventajas e inconvenientes.
- A continuación, implemente en Matlab® las dos TFR indicadas: STFT y CWT. Para ilustrar su funcionamiento vamos a utilizar señales ERPs, similares a las empleadas en la Práctica 1, en las que se quiere evocar la onda P300. Descargue en su directorio de trabajo las señales ERP disponibles en el apartado correspondiente a la Práctica 2 del curso Moodle de la asignatura (“Apartado4-2\_ERP-P300.zip”). Las señales ERP que analizaremos corresponden al electrodo Pz, fueron registradas con una frecuencia de muestreo de 250 Hz y se aplicó un filtro paso banda con ventana de Hamming entre 1 y 70 Hz. Las unidades de las señales P300 son mV y cada época representa la respuesta a un estímulo individual (es decir, a la presentación de un tono). En este sentido, las épocas contienen la actividad cerebral entre -300 ms, antes de la presentación del estímulo, hasta 700 ms, después de la aparición del estímulo (i.e. 250 muestras por época). Las preguntas de investigación que debe responder son: **(i) ¿es posible distinguir en el plano tiempo-frecuencia la onda P300?, (ii) ¿qué diferencias aparecen al comparar el ERP del sujeto de control y del enfermo con esquizofrenia?**
  - Cada columna de la matriz de datos del sujeto de control y del enfermo con esquizofrenia representa una época y las épocas con artefactos han sido eliminadas, rellenando la columna correspondiente con NaNs. Calcule el promedio de todas las épocas para cada sujeto mediante el comando de Matlab® `nanmean`. Represente en una misma figura, en dos ejes diferentes el promedio de todas las épocas para el sujeto de control y del esquizofrénico. Etiquete convenientemente los ejes.
  - Calcule y visualice el espectrograma de las señales P300 promedio, a partir de la STFT, para el sujeto de control y el esquizofrénico. Para ello, puede resultarle útil el comando de Matlab® `specgram` o `spectrogram`.
  - Calcule y visualice la CWT de las señales P300 promedio para el sujeto de control y el esquizofrénico. Para ello, puede resultarle útil el

comando de Matlab® `cwt`. Consulte detenidamente la ayuda de Matlab®. Utilice como función *wavelet* madre la “*wavelet* del sombrero mejicano”. Utilice una escala máxima de descomposición de 200. A partir de la representación tiempo-escala anterior calcule el escalograma, para ello puede utilizar la función `wscalogram` o utilizar los coeficiente de la CWT y calcular su módulo al cuadrado. Represente el escalograma para el sujeto de control y el esquizofrénico, etiquetando convenientemente los ejes. Repita la visualización anterior cambiando las escalas por las pseudo-frecuencias correspondientes. Para ello, le puede resultar útil el comando `scal2frq`.

- Analice los resultados obtenidos con la STFT y la CWT, y discútalos con sus compañeros.
- Para finalizar la sesión, realice el cuestionario de conocimientos adquiridos disponible en el curso Moodle del Campus Virtual de la UVa (“*Cuestionario de conocimientos adquiridos de la sesión 2 de la Práctica 2 – Estimación espectral y TFRs*”).

## 5. PARÁMETROS ESPECTRALES

### 5.1. Trabajo previo a la sesión de laboratorio

En primer lugar, realice el cuestionario de conocimientos previos disponible en el curso Moodle del Campus Virtual de la UVa (“*Cuestionario de conocimientos previos de la sesión 3 de la Práctica 2 – Parámetros espectrales*”).

Tras realizar el cuestionario, lea los artículos de Poza *et ál.* (Poza *et ál.* 2007, 2013). Ambos están disponibles en la carpeta “Recursos del Apartado 5.1” de la sección del curso Moodle correspondiente a la tercera sesión de laboratorio de la Práctica 2. Estos artículos introducen y analizan varios parámetros espectrales. No es necesario leer todo el contenido de los artículos, sino las partes sombreadas.

### 5.2. Sesión de laboratorio sobre parámetros espectrales

En el presente apartado se pretende ilustrar la utilidad de diferentes tipos de parámetros espectrales que se pueden calcular de la PSD para extraer diversa información de la misma. Para ello, se va a realizar una actividad cooperativa en la que cada alumno va estudiar un parámetro espectral diferente, que finalmente explicará al resto de la clase.

- En primer lugar, ponga en común con el resto de los compañeros y el profesor las dudas que tenga sobre los recursos consultados.
- A continuación, implemente en Matlab® uno de los siguientes parámetros espectrales: frecuencia mediana (*MF*, *median frequency*), frecuencia límite al 95% (*SEF95*, *spectral edge frequency 95%*) y entropía espectral (*H<sub>S</sub>*).
- Para ilustrar el funcionamiento de los parámetros espectrales, aplique el parámetro asignado a las señales sintéticas generadas en el Apartado 3.2. Utilice una ventana deslizante de 10 s, con un solapamiento del 90%. Represente cada señal en una escala temporal (entre 0 y 40 s) y muestre el resultado obtenido tras aplicar el parámetro espectral asignado. Interprete los resultados obtenidos.

- Analice los resultados obtenidos y discútalos con sus compañeros.
- Para evaluar los parámetros espectrales en un escenario clínico real, vamos a analizar la actividad MEG registrada en una sala aislada magnéticamente, mientras los sujetos permanecían tumbados, relajados, despiertos y con los ojos cerrados. Como consecuencia, cabe esperar que las oscilaciones dominantes en la actividad neuronal sean las ondas alfa (8-13 Hz). Si calculamos el espectro, o la densidad espectral, tendría entonces que aparecer un pico en el rango de frecuencias de 8 a 10 Hz. Descargue en su directorio de trabajo las señales MEG disponibles en el apartado correspondiente a la Práctica 2 del curso Moodle de la asignatura (“Apartado5-2\_MEG.mat”). El archivo está formado por tres estructuras que contienen registros MEG de 10 s de duración, muestreados a 169.55 Hz y con un filtrado paso banda con ventana de Hamming entre 1 y 65 Hz. La amplitud está expresada en femtoTeslas (fT) y se corresponden con: (i) un sujeto sano de control de edad avanzada; (ii) un sujeto con deterioro cognitivo leve; y (iii) un enfermo de Alzheimer. Las preguntas de investigación que debe responder son: (i) *¿son diferentes los parámetros espectrales entre los grupos analizados?*; y (ii) *¿qué implican en términos fisiológicos los cambios observados?*
- Analice e interprete los resultados obtenidos, elabore una breve presentación con dos diapositivas (la primera para explicar el método implementado y la segunda para explicar e interpretar los resultados obtenidos) y discuta con sus compañeros sus hallazgos.
- Para finalizar la sesión, realice el cuestionario de conocimientos adquiridos disponible en el curso Moodle del Campus Virtual de la UVa (“Cuestionario de conocimientos adquiridos de la sesión 3 de la Práctica 2 – Parámetros espectrales”).

## 6. PARÁMETROS NO LINEALES

### 6.1. Trabajo previo a la sesión de laboratorio

En primer lugar, realice el cuestionario de conocimientos previos disponible en el curso Moodle del Campus Virtual de la UVa (“Cuestionario de conocimientos previos de la sesión 4 de la Práctica 2 – Parámetros no lineales”).

Tras realizar el cuestionario, lea los artículos de Escudero *et ál.* (Escudero *et ál.* 2006), Álvarez *et ál.* (Álvarez *et ál.* 2007), Hornero *et ál.* (Hornero *et ál.* 2009), Maturana-Candelas *et ál.* (Maturana-Candelas *et ál.* 2018). Todos ellos están disponibles en la carpeta “Recursos del Apartado 6.1” de la sección del curso Moodle correspondiente a la cuarta sesión de laboratorio de la Práctica 2. Estos artículos introducen y analizan varios parámetros no lineales. No es necesario leer todo el contenido de los artículos, sino las partes sombreadas.

### 6.2. Sesión de laboratorio sobre parámetros no lineales

En esta sesión de laboratorio se pretende ilustrar la utilidad de diferentes parámetros no lineales. Para ello, se va a realizar una actividad cooperativa en la que se van a analizar en grupo el comportamiento de tres parámetros no lineales: (i) entropía

aproximada (*SampEn*, *sample entropy*); (ii) medida de la tendencia central (*CTM*, *central tendency measure*); y (iii) entropía de múltiples escalas basada en la entropía de Shannon (*MSSE*, *multiscale spectral entropy*).

- En primer lugar, ponga en común con el resto de los compañeros y el profesor las dudas que tenga sobre los recursos consultados.
- Para ilustrar el funcionamiento de un parámetro no lineal, aplique la *ApEn* a las señales sintéticas generadas en el Apartado 3.2. El *script* de Matlab® que implementa la *SampEn* se encuentra disponible en la sección correspondiente a la Práctica 2 del curso Moodle de la asignatura (“*sampen.m*”). Para ello, utilice una ventana deslizante de 10 s, con un solapamiento del 90%. Represente cada señal en una escala temporal (entre 0 y 40 s) y muestre el resultado obtenido tras aplicar la *SampEn* con parámetros:  $m = 1$ ,  $r = 0.25 \cdot \text{SD}$  de la serie temporal original, y *dist\_type* = ‘chebychev’.
- Interprete los resultados obtenidos y discútalos con el resto de los compañeros.
- A continuación, implemente en Matlab® los siguientes parámetros no lineales: *CTM* y *MSSE*.
- De manera similar a la actividad realizada en el Apartado 5.2 con los parámetros espectrales, vamos a evaluar los parámetros no lineales en un escenario clínico real. Concretamente vamos a analizar la actividad EEG registrada mientras los sujetos permanecían tumbados, relajados, despiertos y con los ojos cerrados. Descargue en su directorio de trabajo las señales EEG disponibles en el apartado correspondiente a la Práctica 2 del curso Moodle de la asignatura (“*Apartado6-2\_EEG.mat*”). El archivo está formado por cinco estructuras que contienen registros EEG de 10 s de duración, muestreados a 500 Hz y con un filtrado paso banda con ventana de Hamming entre 0.4 y 98 Hz. La amplitud está expresada en microVoltios ( $\mu\text{V}$ ) y se corresponden con: (i) un sujeto sano de control de edad avanzada; (ii) un sujeto con deterioro cognitivo leve; (iii) un enfermo de Alzheimer con demencia leve; (iv) un enfermo de Alzheimer con demencia moderada; y (v) un enfermo de Alzheimer con demencia severa. Las preguntas de investigación que debe responder en este caso son: (i) ***¿son diferentes los parámetros no lineales entre los grupos analizados?***; (ii) ***¿qué implican en términos fisiológicos los cambios observados?***; y (iii) ***¿ofrecen los parámetros no lineales información complementaria a la obtenida con los parámetros espectrales?***
- Analice e interprete los resultados obtenidos, elabore una breve presentación con dos diapositivas (la primera para explicar el *CTM* y la *MSSE*, y la segunda para explicar e interpretar los resultados obtenidos) y discuta con sus compañeros sus hallazgos.
- Para finalizar la sesión, realice el cuestionario de conocimientos adquiridos disponible en el curso Moodle del Campus Virtual de la UVa (“*Cuestionario de conocimientos adquiridos de la sesión 4 de la Práctica 2 – Parámetros no lineales*”).

## 7. EVALUACIÓN

La evaluación de la sesión práctica será el día **10 de abril de 2019** mediante un cuestionario sobre diversos aspectos vistos durante la sesión práctica, que se realizará durante los primeros 30 minutos del laboratorio (18:00-18:20).

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- M. Aboy, R. Hornero, D. Abásolo, D. Álvarez, “Interpretation of the Lempel-Ziv complexity measure in the context of biomedical signal analysis”, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 53 (11), pp. 2282-2288, 2006.
- D. Álvarez, R. Hornero, M. García, F. del Campo, C. Zamarrón, “Improving diagnostic ability of blood oxygen saturation from overnight pulse oximetry in obstructive sleep apnea detection by means of Central Tendency Measure”, *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 41 (1), pp. 13-24, 2007.
- J. Escudero, D. Abásolo, R. Hornero, P. Espino, M. López-Coronado, “Analysis of electroencephalograms in Alzheimer's disease patients with multiscale entropy”, *Physiological Measurement*, vol. 27 (11), pp. 1091-1106, 2006.
- R. Hornero, M. Aboy, D. Abásolo, J. McNames, B. Goldstein, “Interpretation of Approximate Entropy. Case studies in the Analysis of Intracranial Pressure During Acute Elevations in Traumatic Brain Injury”, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 53 (10), pp. 1671-1680, 2005.
- R. Hornero, D. Abásolo, J. Escudero, C. Gómez, “Non-linear analysis of EEG and MEG in patients with Alzheimer's disease”, *Philosophical Transactions of The Royal Society A-Mathematical Physical and Engineering Sciences*, vol. 367 (1887), pp. 317-36, 2009.
- E. Lleida-Solano & S. Olmos-Gassó. Tratamiento Digital de la Señal. <http://physionet.cps.unizar.es/~eduardo/docencia/tds/librohtml/noparam.htm>. Último acceso: 26 de febrero de 2109.
- A. Maturana-Candelas, C. Gómez, J. Poza, S. J. Ruiz-Gómez, M. Rodríguez, M. Figueruelo, N. Pinto, S. Martins, A. M. Lopes, I. Gomes, R. Hornero, “Analysis of Spontaneous EEG Activity in Alzheimer's Disease Patients by Means of Multiscale Spectral Entropy”, *International Conference on NeuroRehabilitation*, pp. 579-583, Pisa (Italia), 2018.
- J. Poza, R. Hornero, D. Abásolo, A. Fernández, M. García, “Extraction of spectral based measures from MEG background oscillations in Alzheimer's disease”, *Medical Engineering & Physics*, vol. 29 (10), pp. 1073-1083, 2007.
- J. Poza, C. Gómez, M. García, A. Bachiller, A. Fernández, R. Hornero, “Analysis of MEG Activity across the Life Span Using Statistical Complexity”, *XIII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing*, pp. 583-586, Sevilla (España), 2013.
- R. M. Rangayyan, *Biomedical Signal Analysis: A Case-Study Approach*, IEEE Press and Wiley, 2002.
- O. Rioul & M. Vetterli, “Wavelets and signal processing”, *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 8 (4), pp. 14-38, 1991.
- L. Sörnmo & P. Laguna, *Bioelectrical Signal Processing in Cardiac and Neurological Applications*, Academic Press, 2005.