



**UNIVERSIDAD  
COMPLUTENSE  
MADRID**

**Proyecto de Innovación  
Convocatoria 2018/2019**

**Nº de proyecto: 49**

**Ampliación y actualización de las prácticas del  
laboratorio de Instrumentación Biomédica  
buscando un aprendizaje y evaluación centrados  
en el estudiante**

**Responsable del proyecto: Margarita Chevalier  
Facultad de Medicina  
Departamento de Radiología, Rehabilitación y  
Fisioterapia**

## **1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto.**

El objetivo global del proyecto presentado era la mejora de la calidad de la enseñanza práctica de la asignatura de Instrumentación Biomédica del Máster de Física Biomédica dependiente de la Facultad de Ciencias Físicas. Se valoró que la consecución de dicha mejora pasaba por el desarrollo de un conjunto de medidas destinadas a favorecer el aprendizaje y evaluación basados en el alumno, que despertasen el interés de los alumnos por la asignatura y que ayuden a adquirir y asentar los conocimientos y destrezas fijados en el plan de estudios. Para conseguir estos objetivos se propuso:

1. Modernizar las prácticas existentes en el laboratorio redefiniendo los objetivos y procedimientos para estimular la participación, creatividad, curiosidad y espíritu crítico del estudiante.
2. Diseñar nuevas prácticas para aumentar la oferta disponible con la finalidad de:
  - Ampliar el soporte experimental de los contenidos de la asignatura.
  - Disminuir el número de alumnos por puesto para que las prácticas sean más dinámicas y participativas.
  - Dar posibilidad al alumno de elegir las prácticas más adecuadas de acuerdo con sus preferencias y así dar la oportunidad al alumno de organizar su aprendizaje práctico lo que redundaría en un mayor aprovechamiento del mismo.
3. Diseñar una nueva metodología docente utilizando como herramienta el "portafolio" en el que el alumno irá integrando las actividades que realice a lo largo del curso.
4. Diseñar un nuevo método de evaluación para que tanto el profesor como el alumno puedan valorar el progreso en el aprendizaje. Este método se apoyará en las actividades que integran el portafolio y en una definición de "rúbricas".

## **2. Objetivos alcanzados**

En el momento en que se solicitó este proyecto, el laboratorio de Instrumentación Biomédica contaba con 6 puestos de prácticas y 4 alumnos por puesto que es un número excesivamente alto. La falta de financiación al proyecto presentado cerró la posibilidad de aumentar el número de puestos y, con ello, la posibilidad de una participación mayor de los alumnos en el desarrollo de las prácticas. A continuación, se describen los objetivos alcanzados:

### **OBJETIVO 1**

Como se indicaba en la solicitud de este proyecto, las prácticas de IBM se agrupan en tres bloques con un total de 6 puestos: I. Medidas de muestras biológicas con técnicas de microscopía y holografía (2); II. Análisis bioquímico con técnicas espectrométricas (1); III. Medidas de variables fisiológicas (electrocardiograma, pulsioximetría y electromiograma).

Los guiones de estas prácticas fueron revisados y ampliados, sobre todo los correspondientes al bloque III. Además, se procuró que cada práctica estuviera acompañada de bibliografía específica de apoyo para una mejor comprensión de los fundamentos físicos de la instrumentación o para ampliar las posibilidades de obtención de un mayor número de parámetros a partir de las medidas directas.

El modelo marco que se estableció previamente para las prácticas de medidas fisiológicas contempla la división de la práctica en dos partes. En la Parte I se describe la instrumentación, el montaje del experimento y los procedimientos para la toma de medidas directas en el laboratorio (ver Anexo I). La Parte II tiene como objetivo favorecer la participación de todos los alumnos de forma directa tratando de compensar la situación del laboratorio en la que es complicada la implicación de todos los estudiantes (ver Anexo II). En esta parte se proponen ejercicios a llevar a cabo fuera del laboratorio con las medidas tomadas que implican:

- a) Lectura de bibliografía (uno o dos artículos) en los que se presentan resultados obtenidos en el ámbito clínico con una instrumentación basada en los mismos principios de medida que los utilizados en el laboratorio.
- b) Procesado de los datos obtenidos en el laboratorio o extraídos de bases de datos utilizando scripts desarrollados en el entorno MatLab por los profesores participantes en este proyecto.

Los guiones de las prácticas dedicados a las medidas fisiológicas fueron discutidos con la profesora del Departamento de Fisiología de la Facultad de Medicina que participó en el proyecto para depurar posibles errores de interpretación.

### **OBJETIVO 2**

La falta de dotación económica imposibilitó la consecución de este objetivo

### **OBJETIVO 3**

El portafolio quedó finalmente integrado por los siguientes elementos:

- Tareas individuales. A cada alumno se le asigna una tarea individual consistente en un pequeño ejercicio acompañado de tres frases que el alumno debe calificar como verdadero o falso justificando la respuesta.
- Trabajo de grupo: presentación de un trabajo tomando como referencia un artículo científico que describa un dispositivo de medida o un principio de medida novedoso. Los alumnos deben incorporar una valoración de la viabilidad de fabricación y uso del dispositivo incluyendo costes de producción del dispositivo. El número de participantes se fija en función del nº total de alumnos matriculados de forma que no se supere el máximo de 5. La presentación se hace entre uno o dos miembros del grupo como máximo. Las preguntas se dirigirán en primer lugar al resto de miembros del grupo que no han participado en la exposición del tema.
- Informe de la práctica del laboratorio: es único para cada práctica, es decir, uno por cada subgrupo de estudiantes que trabajan juntos. Ha de reflejar los resultados obtenidos en las medidas, los errores asociados, la interpretación de dichos resultados y los posibles problemas que hayan surgido. Además, ha de incluir las respuestas a las preguntas planteadas en el guion de la práctica.
- Trabajo individual-práctica de laboratorio: Resolución de los ejercicios propuestos en la práctica. Este elemento tiene como objetivo poder discriminar el nivel de aprendizaje de cada uno de los estudiantes integrados en los distintos subgrupos.
- Informe-práctica individual: sobre una de las prácticas de laboratorio que el alumno elige. Ha de ser redactado en forma de artículo científico (ver Anexo III) incluyendo los siguientes apartados: introducción, material y métodos, resultados, conclusiones y referencias.

#### **OBJETIVO 4**

El sistema de rúbricas para calificar las actividades contempladas en el portafolio quedó establecido como sigue:

##### A) Tareas individuales:

*ENTENDIDO:* Bajo (1) / Medio (2) / Alto (3)

*BIEN EXPLICADO:*

Bajo (1): Se limita al cálculo poniendo las fórmulas

Medio (2): Explica el significado de las relaciones utilizadas

Alto (3): Explica el significado de las relaciones utilizadas e interpreta y justifica los resultados

*ERRORES:* Ninguno (3) / Alguno (2) / Muchos (1)

*JUSTIFICA BIEN LAS PREGUNTAS DE VERDADERO O FALSO:*

Bajo (1) / Medio (2) / Alto (3)

##### B) Trabajo de grupo (se valora el contenido de la presentación):

*ENTENDIDO:* Bajo (1) / Medio (2) / Alto (3)

*BIEN EXPLICADO:*

Bajo (1): Se limita a describir el artículo

Medio (2): Explica el contenido del artículo con claridad

Alto (3): Muestra capacidad de síntesis para resumir los aspectos relevantes del artículo comentado.

*ERRORES:* Ninguno (3) / Alguno (2) / Muchos (1)

*PROFUNDIDAD:* Limitado al artículo, completado con apuntes de clase, complementado mucho más.

*RESPONDE BIEN LAS PREGUNTAS:* (Este ítem se valora de forma individual):  
Bajo (1) / Medio (2) / Alto (3)

C) Informe colectivo de prácticas:

*ENTENDIDO:* Bajo (1) / Medio (2) / Alto (3)

*BIEN EXPLICADO:*

Bajo (1): Se limita a repetir el enunciado del guion y añadir resultados sin comentar

Medio (2): Aporta los resultados de las medidas de forma estructurada y sin ningún comentario

Alto (3): Comenta y justifica los resultados. Explica problemas encontrados y su solución.

*ERRORES:* Ninguno (3) / Alguno (2) / Muchos (1)

*PRESENTACIÓN DE RESULTADOS:*

Bajo (1): Tablas con columnas o filas mal rotuladas o gráficos con nombres de eje o unidades inadecuados y no aporta errores

Medio (2): Tablas con columnas o filas bien rotuladas y gráficos con nombres de eje o unidades adecuados y no aporta errores

Alto (3): Añade los errores de las medidas a las tablas y gráficos presentadas como en 2 y realiza los ajustes de datos necesarios

D) Informe-práctica individual (modo artículo)

*ENTENDIDO:* Bajo (1) / Medio (2) / Alto (3)

*BIEN EXPLICADO:* Bajo (1) / Medio (2) / Alto (3)

*ESTRUCTURA DEL ARTÍCULO:* Bajo (1) / Medio (2) / Alto (3)

*ERRORES:* Ninguno (3) / Alguno (2) / Muchos (1)

*PROFUNDIDAD:*

Bajo (1): Limitado al guion de la práctica

Medio (2): Completado con apuntes de clase

Alto (3): Complementado con bibliografía externa

### 3. Metodología empleada en el proyecto

Se ha seguido parcialmente la metodología propuesta en el proyecto que estaba agrupada en tareas.

Las tareas 1 y 2 se desarrollaron al completo. Se revisaron los programas de máster de Ingeniería Biomédica de distintas universidades para extraer información sobre posibles alternativas para mejorar las prácticas disponibles en el laboratorio. Asimismo, se hizo una revisión bibliográfica de artículos científicos de investigación o artículos que explican experiencias didácticas. Algunas de estas publicaciones o sitios web fueron:

- The Physics Teacher (AAPT Physics Education)
- Óptica Pura y Aplicada
- IEEE Reviews in Biomedical Engineering
- Current Cardiology Reviews
- Springer Plus
- American Journal of Physics
- Biomedical Optics
- Physiological Measurement
- The American Biology Teacher
- <https://www.youtube.com/watch?v=lcOgcT4QuVU>
- <https://www.jove.com/science-education/10473/acquisition-and-analysis-of-an-ecg-electrocardiography-signal>
- <https://www.jove.com/science-education-library/34/bioengineering>

El técnico del laboratorio participante en el proyecto revisó de forma exhaustiva la instrumentación utilizada en las prácticas, pero, sobre todo, las dedicadas a medidas fisiológicas. Estas prácticas están basadas en el uso de circuitos electrónicos y conexiones a electrodos muy susceptibles de deteriorarse con el uso.

El siguiente paso fue la adopción del modelo de guion a utilizar en las prácticas cuya descripción se ha hecho en el apartado anterior. Como se ha comentado, se decidió complementar las prácticas con tareas para hacer fuera del laboratorio o en el laboratorio una vez finalizadas las medidas. Para ello, se desarrollaron scripts en MatLab.

Como paso final se discutió y definió el portafolio y la definición de rúbricas para cada uno de los elementos considerados.

#### **4. Recursos humanos**

*Facultad de CC. Físicas (Departamento de Óptica)*

Tatiana Alieva (CU)

Oscar Martínez Matos (TU)

José Augusto Rodrigo Martín Romo (

Héctor Canabal Boutureira (Técnico del laboratorio).

Juan Manuel Soto Rueda (Doctorando)

Mercedes Angulo Curto (Doctorando)

*Facultad de Medicina:*

1. Dpto. de Radiología, Rehabilitación y Fisioterapia

Margarita Chevalier del Rio (TU). Responsable del proyecto

María Castillo (Colaborador Honorífico)

2. Departamento de Fisiología

Maria Dolores Comas (CD)

## 5. Desarrollo de las actividades

### - Reestructuración y mejora de los guiones de prácticas:

Redacción detallada del procedimiento de colocación de los electrodos para el registro de la señal.

Redacción de ejercicios *para casa* consistentes en el análisis de las señales medidas en el laboratorio u obtenidas en bases de datos

Búsqueda de bases con registros de electrocardiografía y electromiografía: Physiobank-Physionet (<https://archive.physionet.org/physiobank/>).

Desarrollo de scripts en MatLab para el análisis de las señales: 11 scripts, 4 para analizar las señales obtenidas en la medida del electrocardiograma (ECG) y 7 para las señales del electromiograma (EMG).

En el caso del ECG, los scripts se diseñaron para buscar los puntos máximos y mínimos de la señal para obtener el perfil y extraer el complejo QRS así como para analizar la señal en el espacio temporal también con el objetivo de analizar dicho complejo clave en el diagnóstico de patologías. Asimismo se preparó un script para obtener el espectro de frecuencias de la señal. Además, se proporcionaron dos señales de prueba ("senal1.mat" y "senal2.mat") que corresponden a un ECG real ruidoso.

En el caso del EMG, los scripts se diseñaron para obtener propiedades estadísticas del espectro de las señales proporcionadas y medidas. Las señales del banco que se dan a los estudiantes corresponden a individuos sanos y a individuos con alguna patología.

Valoración y discusión del contenido de los guiones con la profesora de Fisiología integrada en el proyecto.

### - Definición del portafolio

El portafolio inicial incluía los siguientes elementos:

- Entregable (uno por cada estudiante) que incluye la resolución de un total de 10 problemas: Individual
- Memoria de la práctica: incluye los resultados de las medidas hechas en el laboratorio y la resolución de los ejercicios propuestos hechos fuera del laboratorio. Se entrega una por cada estudiante.
- Informe-práctica modo artículo: Individual.

### - Definición de las rúbricas

1. Entregable. Las rúbricas fueron indicadas en el apartado 2. Objetivo 4.
2. Informe de la práctica del laboratorio junto ejercicios fuera del laboratorio: uno por cada estudiante.

Los ítems valorados para ambos elementos fueron:

#### ENTENDIDO

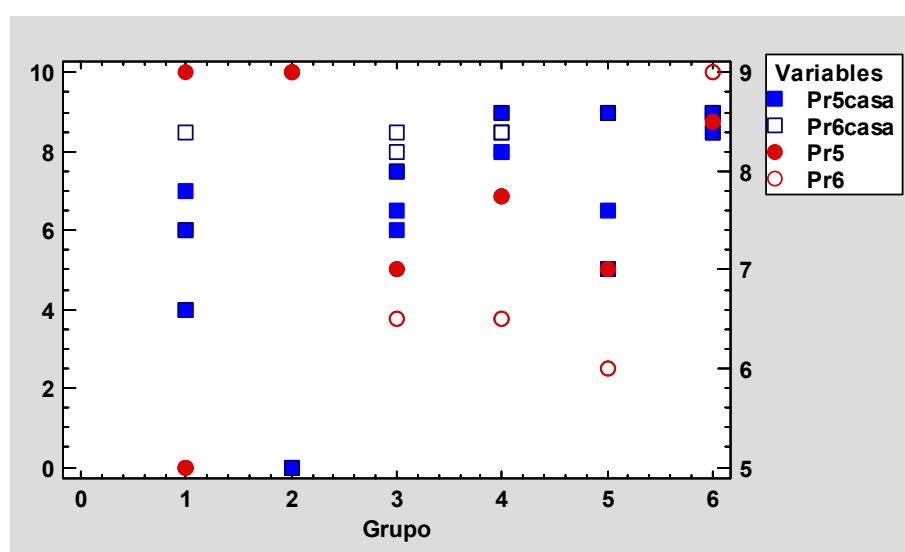
BIEN EXPLICADO: Bajo (1): Repite enunciados del guion y añade resultados dispersos y sin comentar. No hace los problemas para casa; Medio (2): Incluye únicamente los resultados de las medidas y de los problemas para casa sin ningún comentario; Alto (3): Incluye y justifica los resultados y explica los posibles problemas encontrados.

ERRORES: Ninguno (3); Alguno (2); Muchos (1)

3. Informe-práctica individual (modo artículo). Las rúbricas fueron indicadas en el apartado 2. Objetivo 4.

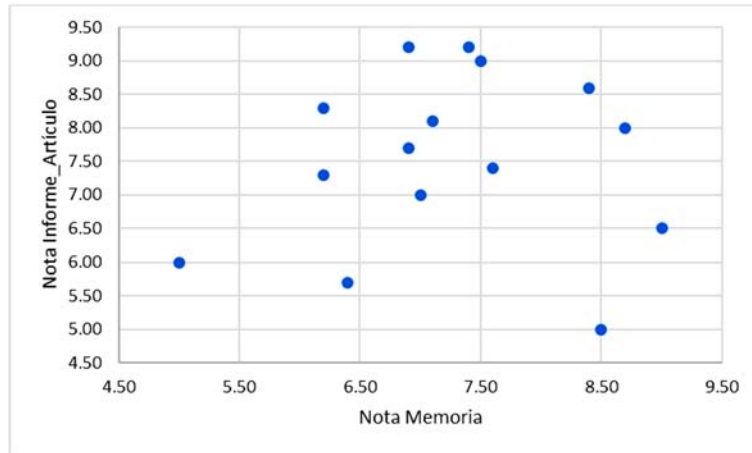
- Análisis de resultados: Se valoró la idoneidad de los elementos definidos en el portafolio y en las rúbricas para el seguimiento del aprendizaje de los estudiantes. En este curso se formaron 6 grupos con 3 alumnos cada uno a excepción de un grupo que eran 2.

En el caso de la Memoria de la práctica (elemento 2 del portafolio) se decidió calificar por separado el informe correspondiente a los resultados de las medidas (Pri) y los resultados de los ejercicios propuestos para hacer fuera del laboratorio de forma individual (Pricasa). En la gráfica se representan dichas calificaciones para las dos prácticas con una mayor proporción de ejercicios. Puede observarse como para cada grupo se obtiene una dispersión importante para la nota de los ejercicios. Por tanto, concluimos que este apartado de la práctica debía considerarse como un elemento separado en el portafolio ya que aporta información relevante sobre el desempeño y el nivel de aprendizaje del estudiante.



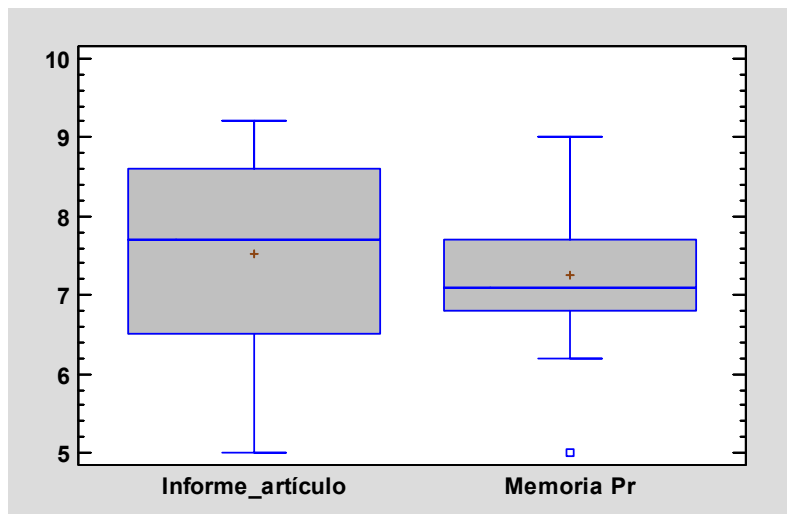
**Figura 1.** Comparación de las notas parciales obtenidas en el elemento 2 del portafolio (Memoria Práctica)

El elemento 3 del portafolio corresponde al informe que cada estudiante debía presentar sobre una práctica redactada en forma de artículo científico. Cada estudiante eligió una de las 6 prácticas ofertadas de forma que no coincidiese con la elegida por los otros componentes del grupo. En la figura 2 se han representado las calificaciones que los estudiantes han obtenido en dicho Informe frente a la nota obtenida por el grupo para la Memoria correspondiente a la práctica elegida. Como puede observarse, no existe ninguna correlación entre ambos resultados, siendo en general las notas del informe superiores a la de la memoria. Las notas medias del Informe y de la Memoria fueron respectivamente 7.5 y 7.3 con unas desviaciones estándar de 1.3 y 1.1.



**Figura 2.** Nota del Informe de la práctica redactada en forma de artículo frente a la nota de la memoria de resultados correspondiente a dicha práctica.

Las gráficas de caja y bigotes de la figura 3 muestran la mayor dispersión de valores de las notas del Informe. Por tanto, concluimos que este elemento del portafolio debía mantenerse ya que permite discriminar el nivel de comprensión y capacidad para presentar los resultados obtenidos, así como explicar con claridad la metodología seguida en el experimento.



**6. Figura 3.** Grafica de caja y bigotes para las distribuciones de notas obtenidas por los estudiantes en el Informe en forma de artículo científico de una de las prácticas y la obtenida en la Memoria presentada para la misma práctica

## ANEXO I

### Detección y análisis de las señales musculares: electromiograma (EMG)

El presente documento es una guía para la realización de la práctica que tiene como objetivo la detección y análisis de las señales producidas por grupos musculares (electromiografía).

Para poder llevar a cabo alguna de las medidas propuestas en esta práctica hay que estar familiarizado con el funcionamiento del osciloscopio analógico Diligent. Para ello se propone resolver los ejercicios propuestos en el guion "*Osciloscopio integrado Analog Discovery\_Manejo*" que se encuentra en la misma carpeta que los ficheros relacionados con la práctica.<sup>1</sup>

#### Objetivos

El objetivo fundamental de la práctica es familiarizarse con la adquisición y análisis de señales de electromiografía (EMG). Además:

- Utilización de software de desarrollador para adquisición de señales de EMG superficial (Arduino, sensores de Sparkfun y Gravity, osciloscopio Diligent).
- Análisis y procesamiento digital de la señal adquirida (filtrado, análisis frecuencial y temporal).
- Análisis de señales EMG pertenecientes a una base de datos empleando MATLAB.

#### Desarrollo de la práctica

La práctica tendrá una duración de 3 horas en el laboratorio. Los hitos a cumplir en su desarrollo son:

- Utilización adecuada del osciloscopio.
- Utilización de la plataforma electrónica Arduino.
- Adquisición de la señal EMG mediante los sensores Sparkfun y Gravity.
- Procesamiento digital en MATLAB de la señal adquirida y de otras señales reales procedentes de bases de datos científicas.

#### Medida de la respuesta muscular (electromiografía)

Los electromiógrafos constan de un dispositivo que alberga la electrónica (microchips, amplificadores, filtros, etc) de registro y almacenamiento de la señal que proporcionan los electrodos. Estos últimos pueden ser superficiales o de aguja cuando lo que se pretende es aplicar un estímulo (diferencia de potencial) al músculo (ver Apéndice 1).

## ANEXO II

### EJERCICIOS PARA CASA: ANÁLISIS DE SEÑAL EMG RUIDOSA REAL

Tiene como objetivo procesar señales *reales* de EMG utilizando scripts de MATLAB. En concreto, se analizarán dos señales de la base de datos Physionet (<https://www.physionet.org/physiobank/database/>) procedente de varios artículos científicos y que han sido obtenidas con electrodos de aguja a diferencia de lo hecho en la práctica. Concretamente nos centraremos en señales EMG estudiadas en el artículo "An EMG-based feature extraction method using a normalized weight vertical visibility algorithm for myopathy and neuropathy detection" de P.Artameeyanant et al [Ref.2] que se encuentra en la carpeta de la práctica.

La figura siguiente muestra fragmentos de las dos señales de Physionet con las que se trabajará:

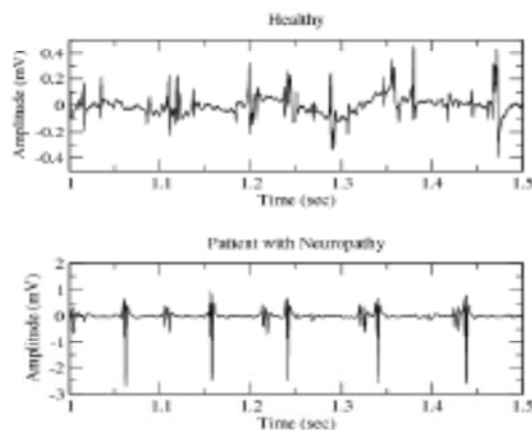


Figura 5. EMG paciente sano y EMG de paciente con una neuropatía

La primera señal corresponde a un paciente de 44 años sin ninguna patología neuromuscular. La siguiente se asocia a un hombre de 62 años con dolor lumbar crónico debido a una neuropatía asociada a una radiculopatía de la L5 (más conocida como ciática). Los datos se registraron a 50 KHz pero se les aplicó un decimado hasta los 4 KHz (que será lo que consideremos como frecuencia de muestreo), ya que de esta manera se cumple sobradamente el límite de Nyquist (debemos muestrear como mínimo al doble de la máxima frecuencia que contiene nuestra señal si queremos reconstruirla adecuadamente). Durante el registro de los datos se emplearon dos filtros analógicos: un filtro paso baja ( $f_c=20$  Hz) y uno paso alta ( $f_c=5$  KHz).

#### EJERCICIO 1

Los parámetros que se analizarán de las señales EMG en el dominio espectral y en el temporal se definen a continuación. Se recomienda la lectura de la [Ref.3; pág.1-3] para comprender el significado y utilidad de estas definiciones:

- Momentos del espectro de potencia de orden "n", definidos como:

$$M_n = \sum_{l=0}^{l_{\max}} \text{power density}_l \times (\text{frequency}_l)^n$$

## ANEXO III

### Guía para redactar el informe de la práctica

Frecuentemente se considera que se ha hecho ciencia en el momento en el que se han obtenido unos resultados experimentales, numéricos o teóricos. Sin embargo, esto es incorrecto. Tan importante es la obtención de resultados concluyentes como la comunicación de dichos resultados a la comunidad científica.

De esa forma, los experimentos hechos en el laboratorio no finalizan hasta que se redacta el informe que resume los resultados obtenidos. Para guardar la máxima fidelidad con el proceso de ciencia original, el informe se redactará en forma de artículo para la revista *Optics Letters* utilizando las instrucciones de la Sociedad Estadounidense de Óptica (Optical Society of America, OSA, por sus siglas en inglés) que se pueden encontrar en [su página web](#).

Además en la preparación del informe se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Puede redactarse en inglés o español.
- No debe exceder cuatro páginas manteniendo el estilo final de la revista (incluyendo título, resumen y bibliografía) marcado en la plantilla.
- Se deben evitar en lo posible las valoraciones subjetivas como “los resultados son buenos” o “las condiciones de medida fueron excelentes”. Intenta reemplazarlas por expresiones más neutras (y científicas): “los resultados experimentales son cualitativamente similares a los teóricos” o “las condiciones de medida fueron las adecuadas”.
- Todo resultado científico debe poder ser reproducido por otro grupo de investigación competente. Por ello, hay que asegurar que se incluye toda la información necesaria para que alguien pueda repetir el experimento y obtener resultados análogos. En la mayoría de situaciones el artículo se dividirá en las secciones que se describen a continuación [1]:

1. **Introducción.** Sirve para introducir al lector en el tema que trata el artículo. Para escribir esta sección es útil pensar para qué se usa el método que se propone o qué problema resuelve. También se deben incluir los conceptos más básicos que se van a emplear en las siguientes secciones para desarrollar la experiencia.

2. **Métodos.** Aquí se incluye toda la información relativa al experimento: el sistema experimental que se utiliza (en caso de que se utilice uno), los pasos a seguir para reproducir los resultados obtenidos, así como información concreta sobre los parámetros del experimento (longitud de onda, cámara utilizada para la captura de intensidad, potencia de las lentes, etc.).

3. **Resultados.** Se utiliza para presentar los resultados de la forma más conveniente. En el caso ideal, el lector debe ser capaz de extraer de ellos la conclusión que defenderás más adelante. Discute brevemente los resultados.

4. **Conclusiones.** Es la justificación del artículo. Aquí se tiene que convencer al lector de que lo que se ha hecho, descrito y presentado es importante. No te limites a discutir los resultados (para eso está la sección anterior).

### Referencias

[1] R.A. Day and B. Gastel, How to write and publish a scientific paper, (Greenwood Press, London, 2006).