



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## Práctica Profesional Supervisada

Métodos computacionales para el análisis de registros  
de electroencefalografía. Aplicaciones para el diagnóstico.

### **Autor**

Moreno Sánchez Ángel Andrés

### **Profesor**

Erin Christy McKiernan

Facultad de Ciencias

Ciudad de México, 17 de agosto de 2021

# Resumen

*A lo largo de los últimos 5 meses, se realizó la investigación bibliográfica, implementación y discusión de dos métodos de análisis para señales de electroencefalografía en el lenguaje de programación Python 3 empleando datos proporcionados por el Instituto de Fisiología, UNAM. El trabajo se presenta en forma de scripts del entorno Jupyter Notebooks donde se realiza la descripción teórica de los métodos a la par que su implementación en el lenguaje de programación. Los dos métodos revisados son: Transformada Continua Wavelet (CWT) y Análisis de Espectro Singular (SSA), el primero de ellos permite la representación espectro temporal de la señal mientras que el segundo ofrece una alternativa para remoción de artefactos y extracción de componentes periódicos.*

## Introducción

El registro obtenido por electroencefalografía (EEG) refleja el nivel de actividad en el cerebro como resultado del funcionamiento de las múltiples neuronas en un determinado intervalo de tiempo en distintas zonas de la corteza, es por ello que del EEG se obtienen señales complejas que cuentan con variabilidad espacial y temporal lo que permite que puedan revelar gran cantidad de información acerca del estado mental y cognitivo del paciente. Debido a esta naturaleza compleja de las señales, surge la necesidad de generar métodos de análisis adecuados las propiedades de las señales de EEG; de manera general, los métodos de análisis se pueden clasificar en 4 grandes grupos clásicos: paramétricos, no paramétricos, tiempo-frecuencia y vectores propios (Siuly, Yan Yanchun, 2016)[1], el objetivo de este proyecto es la revisión de dos métodos computacionales de análisis de registros de EEG para el desarrollo de herramientas que permitan extraer las características significativas de las señales, como lo son los ritmos de oscilación, que puedan ser empleadas en el quehacer científico e investigación como una manera de descripción cuantitativa de la actividad cerebral adquirida por esta técnica. Los dos métodos revisados corresponden a un método tiempo-frecuencia y a otro basado en vectores propios: *Transformada Wavelet Continua (CWT)* y *Análisis de espectro singular (SSA)*, respectivamente, los cuales se implementaron en scripts generados en el entorno informático de Jupyter Notebook donde se detallan explícitamente los aspectos técnicos y teóricos para su aplicación. Dichos scripts son de código abierto y se encuentran publicados en el repositorio público de Github [https://github.com/AndresMSE/PP-EEG\\_Analysis](https://github.com/AndresMSE/PP-EEG_Analysis). Adicionalmente, los scripts se pondrán a disposición de los alumnos de la licenciatura de Física Biomédica como un material educativo suplementario.

## Productos Entregables

El producto final del presente trabajo es un conjunto de 5 cuadernos o notebooks de Jupyter, los cuales son un entorno de desarrollo informático basado en la web que permite crear y compartir documentos que contengan código en vivo, ecuaciones, visualizaciones y texto narrativo. El formato elegido para la redacción de los notebooks es el de una guía auto-contenida enfocada hacia la enseñanza y la portabilidad de las técnicas hacia diferentes aplicaciones ya que el contenido se encuentra distribuido en partes o capítulos numerados donde el lector puede seguir la descripción teórica de la técnica mientras aprende a implementarla para posteriormente exportar las funciones generadas como paquetearías que enriquezcan su librería de algoritmos de análisis.

## Instrucciones de uso

Debido a que los notebooks se encuentran publicados en un repositorio público de Github, el lector no necesita tener instalado ningún entorno de desarrollo informático para su visualización, lo cual los hace convenientes para su consulta y distribución. Sin embargo, si el lector lo considera pertinente puede descargar los notebooks de forma libre, ejecutar, compartir e incluso modificar los scripts ya que éstos se encuentran publicados bajo la licencia de código abierto.

El contenido dentro de los notebooks está dirigido para estudiantes de licenciatura con conocimientos previos en álgebra lineal y transformadas integrales, así como conocimientos básicos en programación. El orden sugerido para el estudio y consulta de los notebooks es el siguiente:

1. Los datos y su visualización - [La-electroencefalografia.ipynb](#)

A.1 La transformada Continua Wavelet (CWT) - [CWTP1-Fundamentos.ipynb](#)

A.2 Espectrograma - Análisis tiempo frecuencia - [CWTP2-Espectrograma.ipynb](#)

B.1 El Análisis de Espectro Singular (SSA) - [SSAp1-Fundamentos.ipynb](#)

B.2 Remoción de artefactos y extracción de ritmos en una señal de EEG mediante SSA - [SSAp2-Extracciondecomponentes.ipynb](#)

A pesar de ello, es importante destacar que el primer módulo es opcional en caso de que se cuente con conocimiento previo acerca de la técnica de EEG y la visualización de datos en Python 3; asimismo, los módulos A y B son intercambiables en cuanto su orden de estudio dejándolo a consideración del lector.

## Módulo 1: Los datos y su visualización

En este notebook se realiza una breve introducción acerca de la técnica de electroencefalografía y el concepto general sobre la misma. Este módulo es una buena introducción para aquellos que tal vez conozcan los fundamentos sobre la técnica de EEG pero deseen conocer acerca de la importación, visualización y representación temporal y espectral de señales. Adicionalmente, se introducen la gran mayoría de paqueterías a utilizar en los demás notebooks.

- \* **Conceptos clave:** electroencefalografía, visualización de datos, importación de datos, representación temporal, representación espectral
- \* **Paqueterías nuevas utilizadas:** *pandas, scipy, numpy, matplotlib, os*
- \* **Objetivo:** Extraer y visualizar registros EEG provenientes de distintos tipos de archivos.
- \* **Herramientas generadas:** Visualización temporal y frecuencial de los datos.

## Módulo A.1: La transformada Continua Wavelet (CWT)

Aquí se plantean los fundamentos teóricos para la implementación de la CWT, se discute brevemente acerca de su utilidad y el surgimiento de su necesidad sobre otros métodos convencionales como la Transformada Corta de Fourier (STFT) a raíz de la estacionariedad de las señales biomédicas como lo es la del EEG. Se describen las operaciones fundamentales para

la CWT así como su fácil implementación como funciones en Python. De manera relevante, se enuncia el teorema de la convolución y su importancia para una visualización alternativa y más intuitiva de la CWT. Posteriormente se introduce al lector hacia la wavelet a utilizar, sus características, parámetros y justificación para finalmente cerrar englobando los conceptos a manera de resumen para definir la CWT como una serie de 3 pasos.

- \* **Conceptos clave:** estacionariedad, dominio tiempo-frecuencia, producto interior, convolución en el tiempo, teorema de la convolución, wavelets, wavelet de Morlet, espectrograma
- \* **Paqueterías nuevas utilizadas:** *datetime*, *re*
- \* **Objetivo:** Conocer, definir y conceptualizar la transformada continua wavelet para señales no estacionarias.
- \* **Herramientas generadas:** Producto punto, Convolución eficiente y convencional, Wavelets de Morlet.

## Módulo A.2: Espectrograma - Análisis tiempo frecuencia

Una vez revisados los fundamentos teóricos para la implementación de CWT, en este notebook se plantea la generación de la representación espectro-temporal de una señal de EEG mediante CWT; para ello se define el principio de incertidumbre de Gabor, se discute la necesidad de la representación espectro-temporal para señales no estacionarias, así como la definición teórica del espectrograma. Posteriormente, se describe a detalle el análisis multiresolución y las ventajas que ofrece sobre los demás tipos de representaciones temporal, espectral y espectro-temporal para así detallar acerca de los parámetros en la wavelet de Morlet y su impacto para lograr dicho análisis multiresolución haciendo uso de conceptos como la anchura a media altura FWHM. Finalmente, se implementa la técnica para la generación de 3 espectrogramas variando los parámetros de la wavelet para ejemplificar su impacto en relación a la incertidumbre tiempo-frecuencia y cómo estos resultados pueden corroborarse con lo esperado de acuerdo al experimento de Berger para la identificación de ondas alfa en la señal de EEG.

- \* **Conceptos clave:** estacionariedad, dominio tiempo-frecuencia, producto interior, incertidumbre de Gabor, análisis multiresolución, Wavelet de Morlet, FWHM espectrograma
- \* **Paqueterías nuevas utilizadas:** Ninguna.
- \* **Objetivo:** Implementar y utilizar la Transformada Continua Wavelet con un kernel madre de Morlet, para análisis multiresolución tiempo-frecuencia generando un espectrograma en potencia.
- \* **Herramientas generadas:** Wavelets, análisis multiresolución tiempo-frecuencia, espectrograma.

## Módulo B.1: El Análisis de Espectro Singular (SSA)

El contenido de este notebook se centra en la definición de la técnica, así como sus conceptos básicos y beneficios. Se detalla con detalle la metodología teórica y práctica para la implementación de un análisis de SSA unidimensional básico en sus 2 fases: descomposición y reconstrucción con sus dos pasos respectivos en cada una describiendo los parámetros a utilizar. Además se presentan el diagrama de dispersión *Scree Diagram* de los valores singulares y la matriz de correlación como técnicas para la generación de información suplementaria para la elección de parámetros y una mejor aplicación de la técnica.

- \* **Conceptos clave:** separabilidad, periodicidad, componentes independientes, encamado, *Single Value Decomposition*, agrupamiento, promediación diagonal, *Scree Diagram*, matriz de correlación
- \* **Paqueterías nuevas utilizadas:** *linalg*, *math*
- \* **Objetivo:** Conocer, definir y conceptualizar el análisis de espectro singular.
- \* **Herramientas generadas:** Scree Diagram, SSA.

## Módulo B.2: Remoción de artefactos y extracción de ritmos en una señal de EEG mediante SSA

En este notebook se presenta una aplicación a la metodología de SSA básica en la cual hace uso de los parámetros de la técnica para la remoción de artefactos de la señal de EEG y la extracción de componentes oscilatorias conocidas como ritmos característicos de la señal. Se presentan algunos antecedentes en la literatura que hayan realizado una aplicación similar de la técnica y se utiliza un artículo científico publicado por Hu, H., Guo, S., Liu, R., Wang, P. (2017) como guía para la implementación y definición de la regla de agrupamiento propuesta por los autores. Se describe la elección de parámetros para SSA y la justificación de los mismos de acuerdo a la naturaleza de la señal- Se discute la regla de agrupamiento propuesta y su implementación englobando la aplicación de la técnica. Como resultado se obtiene la extracción de los ritmos: alfa, beta y gama de la señal EEG libres de artefactos concluyendo con un análisis de los resultados obtenidos de acuerdo a su interpretabilidad y condiciones fisiológicas de la señal obtenida.

- \* **Conceptos clave:** separabilidad, componentes periódicas, agrupamiento, ritmos de EEG, *Scree Diagram*, matriz de correlación
- \* **Paqueterías nuevas utilizadas:** Ninguna
- \* **Objetivo:** Implementar el análisis de espectro singular para la remoción de artefactos y la extracción de componentes de la señal EEG
- \* **Herramientas generadas:** Remoción de artefactos/extracción de ritmos por SSA.

## Conclusiones

La investigación, implementación y divulgación de 2 métodos de análisis de señales de EEG fue lograda ofreciendo una publicación alternativa de fácil acceso, difusión y edición de resultados para futuras actualizaciones. En particular, ambas técnicas permiten la generación de información altamente relevante para el análisis y estudio de señales de EEG y series de tiempo en general como lo es el espectrograma y su representación espectro-temporal y las componentes independientes presentes dentro de la señal. Adicionalmente, la implementación propia de ambas metodologías permite un bajo coste computacional y de implementación ya que son altamente editables y personalizables a las necesidades del usuario; además, es importante mencionar que ofrece un ejercicio educativo formidable tanto para el autor como para el lector ya que ambos no solo se familiarizan con los conceptos teóricos sino que también desarrollan sus habilidades como desarrolladores informáticos, su capacidad de abstracción y resolución de problemas. Para finalizar, algunas de las áreas de oportunidad dentro del proyecto recaen en la profundización de los detalles teóricos de ambas técnicas así como una mayor variedad de aplicaciones de las mismas o como una combinación entre ellas u otro tipo de metodologías de análisis como lo podría ser la inteligencia artificial (IA) y aprendizaje profundo (DL) en las cuales, el preprocesamiento de los datos y la extracción de características es relevante para su aplicación, elementos en los cuales ambas técnicas presentadas son formidables.

## Agradecimientos

El presente trabajo pudo ser realizado gracias a la supervisión, asesoría y retroalimentación de la Dra. Erin Christy McKiernan cuyas observaciones fueron de vital relevancia para el desarrollo del proyecto. Adicionalmente, se agradece la participación del Dr. Francisco Fernández de Miguel y el Maestro. Bruno Méndez Ambrosio miembros del laboratorio 304 del Departamento de Neurociencia Cognitiva del Instituto de Fisiología de la UNAM por proporcionar los datos empleados en el proyecto, así como sus fructíferos comentarios y sugerencias.