

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

Detección de epilepsia en EEG utilizando MF-DFA para Centro Integral de Neurociencias Aplicadas

Autor:
Valentin Barco

Tutora:
Dra. Natalia Revollo

Instructor:
Dr. Gustavo Gasaneo

**Informe de pasantía profesional para obtención de título de grado
de ingeniería electrónica**

Bahia Blanca, Buenos Aires, Argentina.
8 de diciembre de 2022

Índice

1. Resumen.	3
2. Introducción.	3
3. Marco Teórico	3
3.1. Epiléptica.	3
3.2. Electroencefalografía.	3
3.3. Análisis Multifractal de Fluctuaciones sin tendencia.	4
4. Desarrollo.	6
5. Resultados.	10
6. Conclusiones.	11
7. Código y Excel del trabajo	12
8. Bibliografía	12

1. Resumen.

Esta investigación se realizó en calidad de pasantía profesional supervisada para el Centro Integral de Neurociencias Aplicadas.

Se estudiaron diferentes muestras electroencefalográficas de pacientes neurotípicos y epilépticos brindados por la institución para encontrar patrones distintivos mediante el análisis multifractal de fluctuaciones, esto con el fin de una futura clasificación con modelos de machine learning.

2. Introducción.

En la actualidad, entre 4 y 10 de cada 1000 personas en el mundo poseen epilepsia, pudiendo ser diagnosticada por un médico mediante un estudio denominado electroencefalografía, el cual debe ser evaluado para determinar si el paciente posee la enfermedad. Esto requiere capacitación, insume tiempo y declina en una toma de decisión la cual está sujeta a un porcentaje de error.

La idea de este trabajo es buscar posibles alternativas aprovechando los avances tecnológicos en lo que es procesamiento de señales mediante software, tratando de encontrar un método que permita realizar un pre-procesamiento de los datos, para luego poder determinar la patología del paciente de forma más acertada y en un menor tiempo. Una solución a esto, es utilizando técnicas de MF-DFA ya que se ha comprobado que cuando las personas presentan algún tipo de patología ya sea cardiacas, pulmonares, acv, entre otras, se observa una reducción de la complejidad en sus señales biológicas y esto se ve reflejado en este tipo de análisis.

Los datos que se utilizaron en este estudio fueron recopilaciones de señales electroencefalográficas de pacientes con epilepsia y se utilizó análisis multifractal de fluctuaciones sin tendencia un método de procesamiento que se aplica en señales biológicas, ya que estas contienen una componente estocástica, la cual complica el análisis de este tipo de señales con otros métodos.

3. Marco Teórico

3.1. Epiléptica.

La epilepsia es una enfermedad crónica en la que las neuronas se descargan repentinamente y lleva al cerebro a tener una disfunción corta. La epilepsia puede provocar deterioro cognitivo, convulsiones, lesiones o incluso la muerte. De acuerdo con el grado de afectación de las áreas cerebrales en el ataque epiléptico, la epilepsia se puede dividir en dos clases, convulsiones generalizadas y convulsiones parciales. Las convulsiones generalizadas afectan a los hemisferios cerebrales bilaterales, mientras que las convulsiones parciales se originan en neuronas parciales de un hemisferio.

Se puede detectar mediante:

- Un examen físico general y exploración neurológica
- Tomografía computarizada craneal
- Resonancia magnética craneal
- Electroencefalograma

Como mencionamos anteriormente en este trabajo se utilizaran Electroencefalografías.

3.2. Electroencefalografía.

Un electroencefalograma es la grabación de actividades eléctricas en el cerebro. Es un método de detección que actúa como un papel principal en el diagnóstico de enfermedades neurológicas. EEG tiene dos categorías según la ubicación de los electrodos en el cerebro. El primero es llamado EEG del cuero cabelludo, lo que significa que los electrodos de los aparatos se colocan en la superficie de la cabeza. El segundo es EEG intracraneal, que se obtiene mediante electrodos especiales implantados en el cerebro mediante una cirugía.

3.3. Análisis Multifractal de Fluctuaciones sin tendencia.

Este tipo de análisis se utiliza para estudiar series que presentan una estructura fractal desconocida, ya que, muestra menos sesgo y tiene menos probabilidad de dar un resultado positivo falso. Está diseñado para datos de longitud finita, N , y trata los datos como una línea unidimensional otorgando nuevos valores a cada porción de la serie de tiempo.

Primer paso: construir tendencia $y(i)$:

$$\dagger(i) = \sum_{t=1}^i (x(t) - \bar{x}), i = 1, 2, 3, 4, n. \quad (1)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x(t) \quad (2)$$

Después se divide la serie $y(i)$ en segmentos no superpuestos con la misma longitud s . Para los s puntos en cada segmento $v(v=1, 2, \dots, m)$, se utiliza el método de mínimos cuadrados para el ajuste de polinomios. Resultará en $k(k=1, 2, \dots)$ polinomios de ajuste, que se denotan como

$$y_{v,k}(j)(j = 1, 2, \dots, s). \quad (3)$$

Para cada segmento, calculamos la varianza de la tendencia polinomial de ajuste $y_{v,k}$ y $y(i)$:

$$F(v, s) = \frac{1}{s} \sum_{j=1}^s \sqrt{(y[(v-1)s + j] - y_{v,k}(j))^2} \quad (4)$$

Luego se calcula el valor medio de la función de onda de orden q

$$F_q(s) = \left(\frac{1}{s} \sum_{j=1}^s [F(v, s)^q] \right)^{\frac{1}{q}} \quad (5)$$

La siguiente figura muestra la relación exponencial entre F_q y s cuando los valores de q son -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6.

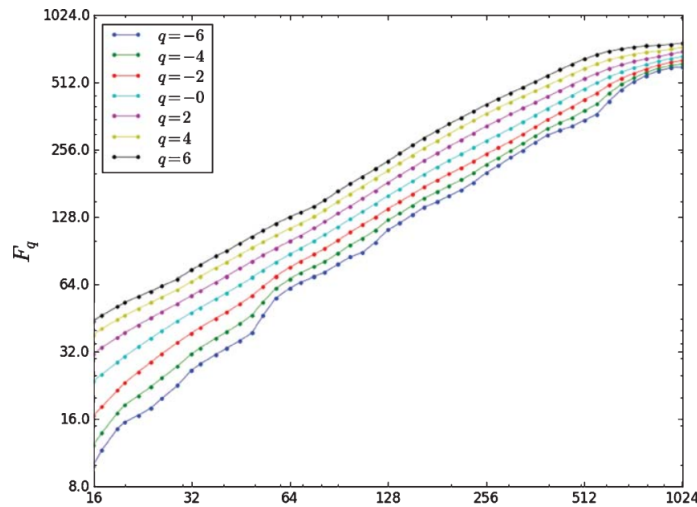


Figura 1: Relación de F_q y s

En la siguiente ecuación se puede ver la relación que hay entre $F_q(s)$ y el índice de Hurst $h(q)$, siendo en este caso el índice de Hurst generalizado. También existe $h(2)$ que es el índice de Hurst clásico y que será utilizado en este estudio. Cuando q es mayor a cero, $F_q(s)$ refleja grandes fluctuaciones de series de tiempo mientras que pequeñas fluctuaciones cuando q es menor que cero.

En el siguiente gráfico podemos ver el coeficiente de $h(q)$ en función de q

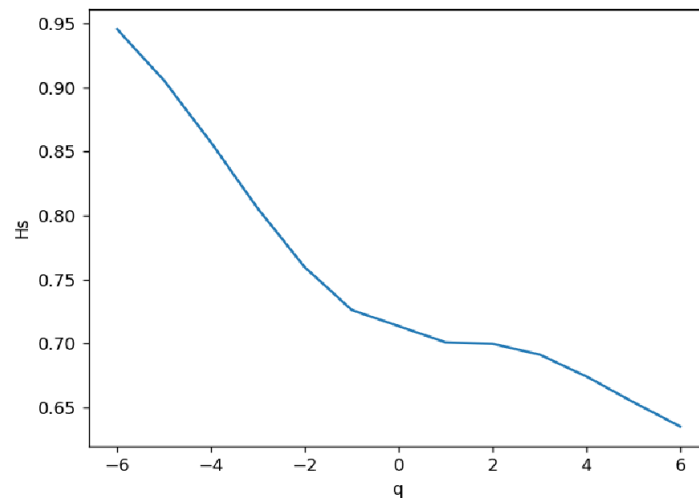


Figura 2: Relacion de H y q

Si extendemos el q de -30 a 30 obtenemos mas información acerca de las fluctuaciones mas pequeñas y grandes

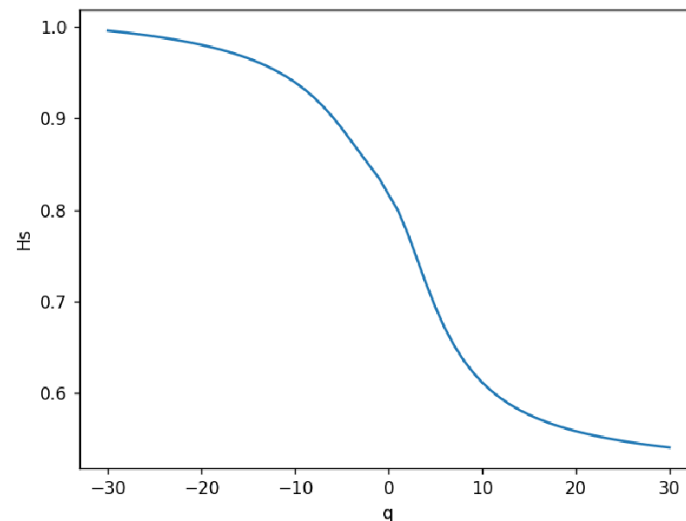


Figura 3: Analisis multifractal

4. Desarrollo.

Para realizar este trabajo se utilizaron estudios de electroencefalogramas de pacientes de edad media. Los estudios fueron brindados por el centro integral de neurociencias aplicadas, con el fin de realizar un programa que permita sistematizar, cuantificar y minimizar el tiempo de la evaluación de pacientes con epilepsia. Los archivos fueron brindados en archivos .edf y fueron procesados utilizando técnicas de análisis multifractal con Python.

En el inicio de este trabajo se trato de estudiar los casos a través del índice de Hurst generalizado, ya que se sospechaba de que la perdida de complejidad causada por la epilepsia, se podía ver reflejada en el espectro multifractal. Una vez procesadas las diferentes señales de los distintos pacientes, se analizaron cada canal uno de sus canales y se buscaron patrones que nos permitan diferenciar los casos.

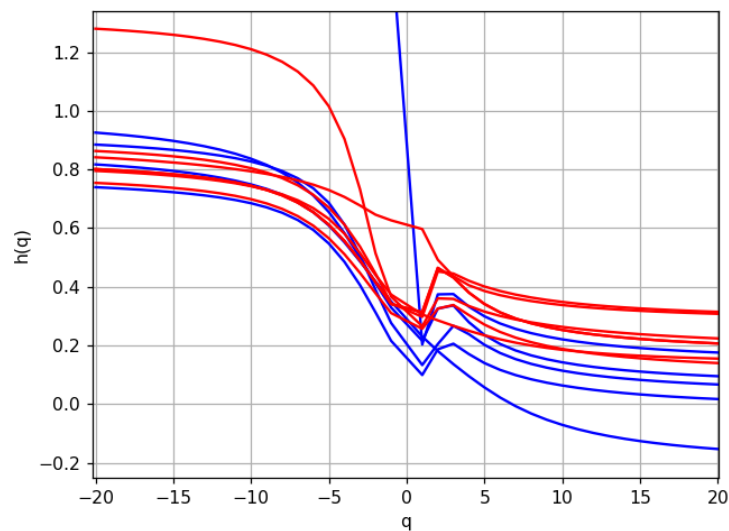


Figura 4: Analisis multifractal con irregularidades

Podemos notar en la figura 4, que los casos epilépticos (rojo) se separan de los no epilépticos (azul) para valores de q mayores a 5, pero el comportamiento de las curvas no es correcto, debido a la irregularidad que se observa cercana al cero, este problema aparece en multiples canales, por lo que se debe buscar otro tipo de análisis.

Debido a que el espectro multifractal no nos da una información considerable y sumado a los errores que presenta. Se procedió a calcular entonces el índice de Hurst clásico $H(2)$ en diferentes escalas para los distintos canales y realizando un promedio de estos, se obtuvieron resultados muy interesantes.

A continuación, se presentaran diferentes figuras, donde se grafica la evolución de el índice de Hurst a diferentes escalas de casos epilépticos y no epilépticos.

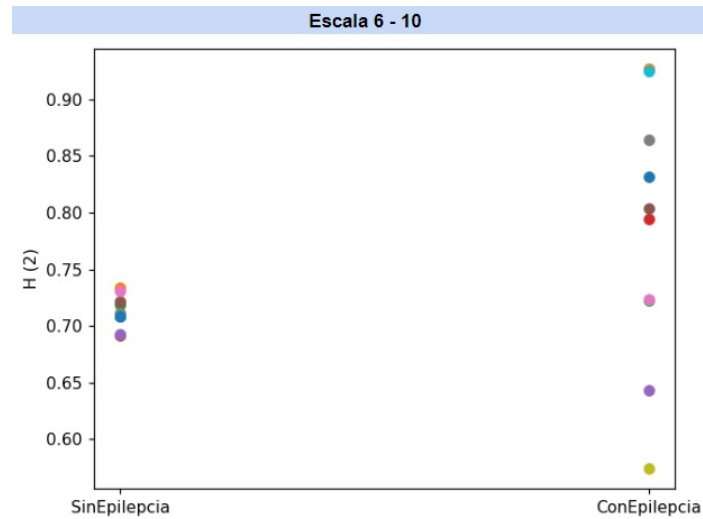


Figura 5: Índice de hurst para escala 6 - 10

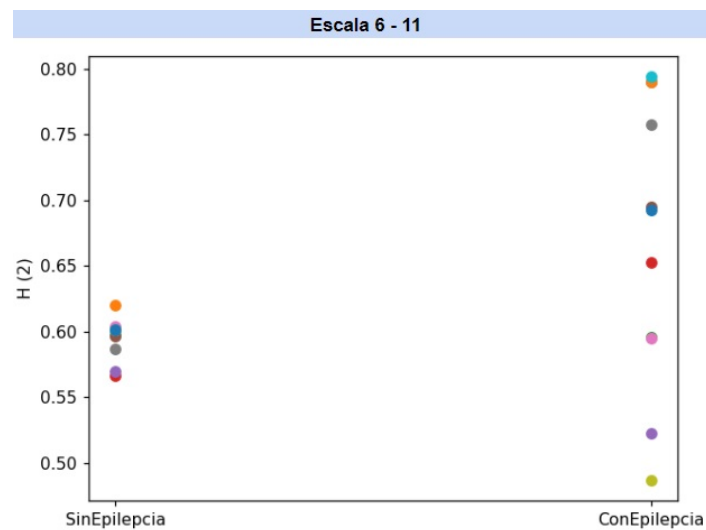


Figura 6: Índice de hurst para escala 6 - 11

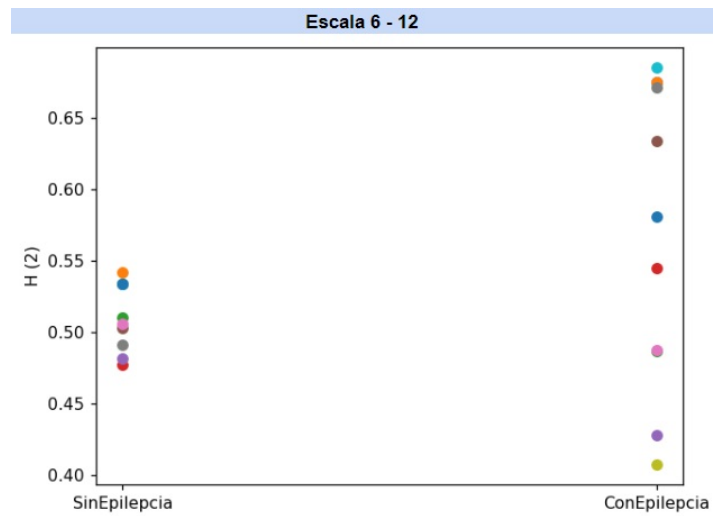


Figura 7: Indice de hurst para escala 6 - 12

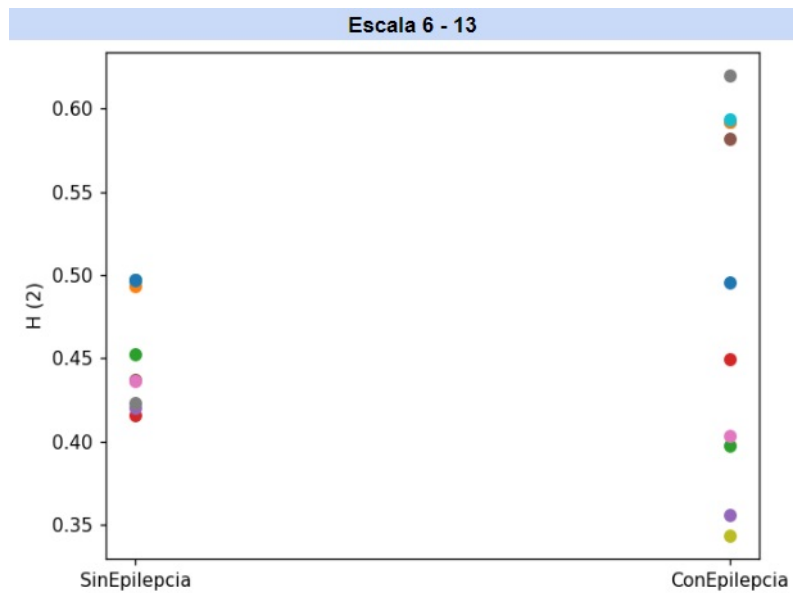


Figura 8: Indice de hurst para escala 6 - 13

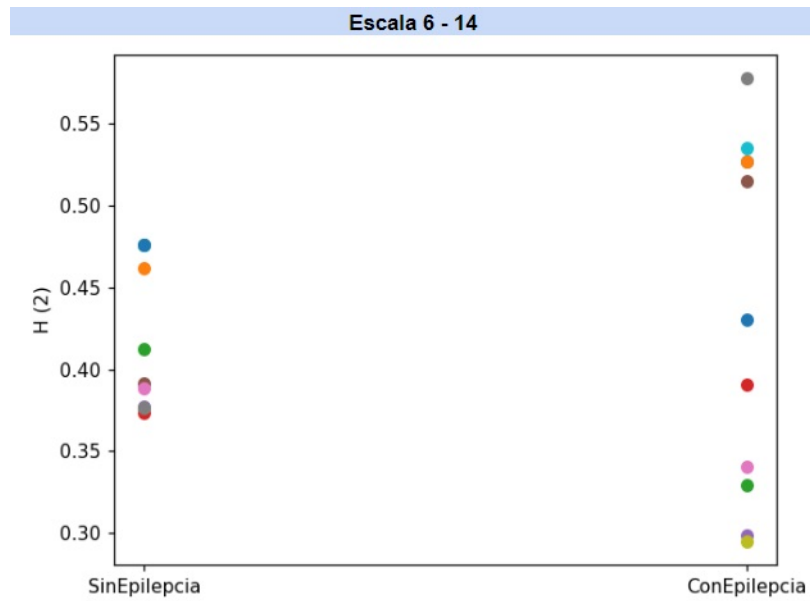


Figura 9: Indice de hurst para escala 6 - 14

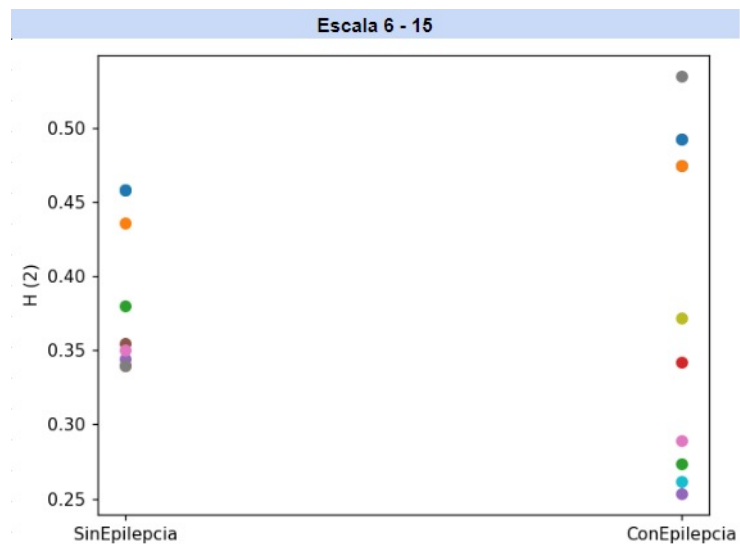


Figura 10: Indice de hurst para escala 6 - 15

5. Resultados.

En las figuras 5, 6, 7, 8 y 9 vemos que la dispersión de los índices de Hurst en los casos neurotípicos es mucho menor a la de los casos epilépticos pero a medida que agregamos escalas, la dispersión de los casos no epilépticos aumenta, mientras que en los epilépticos disminuye. Realizando un gráfico de dispersión vs escala y comparando ambos casos, se puede ver claramente la diferencia.

En la figura 10 se observa en rojo la variación de la dispersión de los casos epilépticos y en azul la de no epilépticos, así como también la diferencia de escala que hay entre la dispersión de un caso y otro. Esta diferencia no es solo de escala, sino de comportamiento.

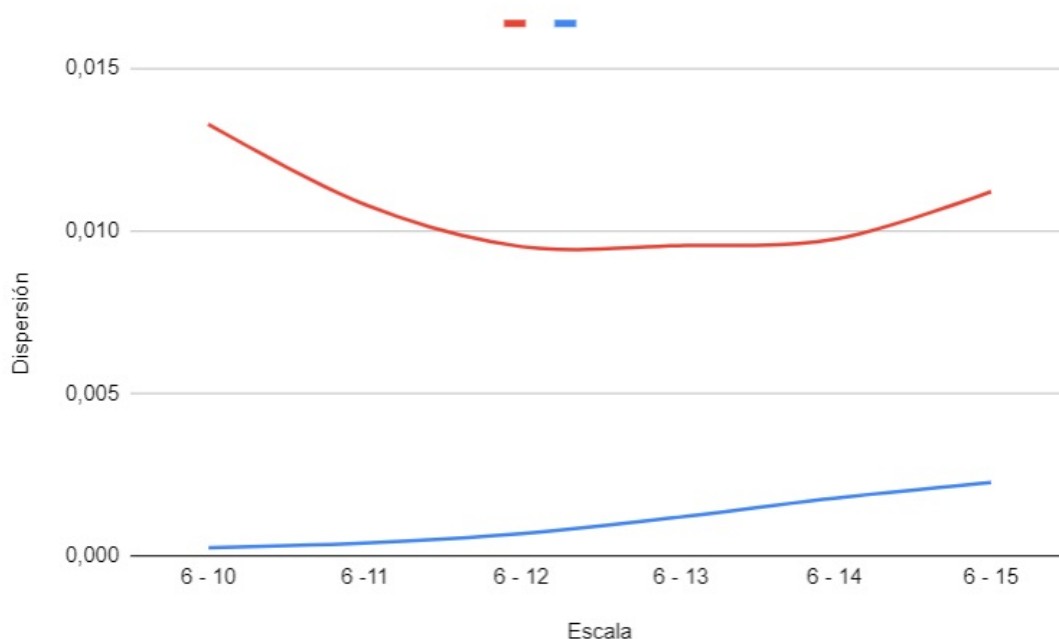


Figura 11: Gráfico de dispersión de epilepticos y no epilepticos

El comportamiento de ambas curvas de la figura 10 es bien distintivo, el problema de esto es que se no sirve para identificar los casos epilépticos de forma aislada, ya que el análisis que se hizo fue sobre el conjunto de señales, pero este análisis nos da pauta de que existe una correlación entre la epilepsia y el índice de Hurts clásico.

Teniendo estos datos, se realizó un análisis de cada señal en particular, calculando el índice de Hurst para cada una y analizando su comportamiento a medida que se agregan escalas. En la figura 11, se puede ver de forma clara que el índice se comporta de manera muy diferente en casos epilépticos y no epilépticos. En los casos donde el paciente presenta la patología, la pendiente de la variación del índice es mucho más abrupta y generalmente tiene un valor inicial mayor, mientras que en los pacientes donde no se presenta la patología, el índice arranca en un punto y se dispersan con una pendiente menor.

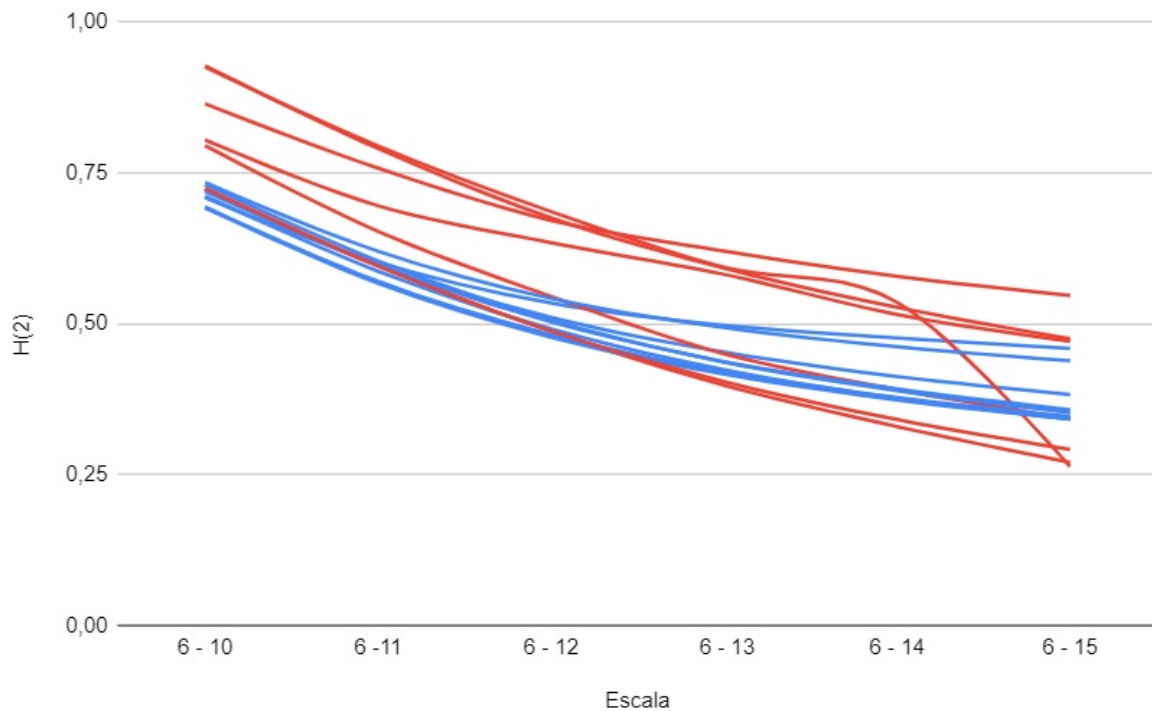


Figura 12: Gráfico comportamiento de índice de Hurst vs escala

6. Conclusiones.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos con el análisis, podemos decir que es perfectamente posible distinguir casos epilépticos y no epilépticos utilizando este método. En los casos patológicos el índice de Hurst se encuentra por encima de los no patológicos, esto refleja una mayor reincidencia de información en la señal ante cambios de escala. Teniendo reuniones con gente del campo de la neurociencia, se llegó a la conclusión de que estos resultados se relacionan con lo esperado.

A partir de la extracción de características exitosa que se realiza con este método, con los resultados de las curvas de la figura 11, es posible entrenar modelos de Machine Learning que permita finalmente la clasificación de cada caso. Para ello es necesario conseguir más casos de neurotípicos y epilépticos, de manera tal de tener un conjunto que permita entrenar de manera óptima los modelos.

En el caso de no realizar la extracción de características propuesta en este trabajo, no sería posible implementar modelos de machine learning para lograr la clasificación; esto es debido a la gran complejidad que presentan las señales biológicas del cerebro. Para lograr un software de clasificación sería necesario el uso de una red neuronal que permita el procesamiento de series temporales y una gran cantidad de datos para entrenarla. Con el pre procesamiento implementado en este trabajo, se puede lograr la clasificación con una considerable menor cantidad de datos y modelos de machine learning, los cuales son mucho más simples y requieren una menor capacidad de cómputo que una red neuronal.

Debido a esta investigación, el CINA y neurólogos están recopilando información sobre más pacientes para lograr conseguir un conjunto de datos mayor y desarrollar el programa de detección de epilepsia.

7. Codigo y Excel del trabajo

Codigo: <https://github.com/ValentinBarco/Deteccion-de-Epilepcia-con-MF-DFA>

8. Bibliografia

- Bruce J. West, Fisiología fractal y el cálculo fraccionario: una perspectiva. DOI: 10.3389/fphys.2010.00012
- Leonardo Rydin. MFDFA: Efficient multifractal detrended fluctuation analysis in python. DOI:10.1016/j.jcpc.2021.108254
- Fernando Maureira Cid, El exponente de Hurst como parámetro de análisis de señales de EEG. En Revista Electrónica de Psicología Iztacala.
- <https://cinfasalud.cinfa.com/p/epilepsia/>.
- <https://www.topdoctors.mx/articulos-medicos/epilepsia-como-se-detecta#>
- <https://www.salud.mapfre.es/pruebas-diagnosticas/neurologicas-pruebas-diagnosticas/electroencefalograma>.

: