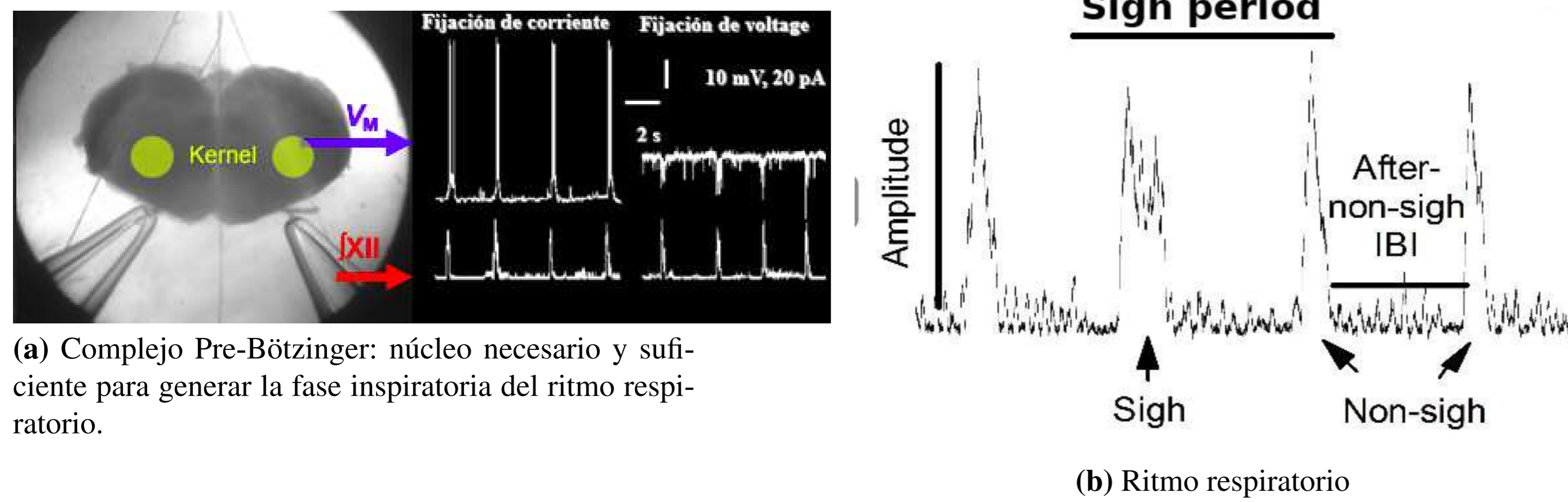


Introducción

La función principal de la respiración es proporcionar oxígeno a los órganos del cuerpo y eliminar el dióxido de carbono del mismo [6]. La respiración es generada por una red neuronal localizada en el tallo cerebral ventrolateral, esta región se conoce como el Complejo preBötzing [3]. Los suspiros son perturbaciones de la respiración espontánea normal que actúan como un restablecedor general del sistema respiratorio y restablece varias propiedades mecánicas y químicas [1]. La aplicación local de fármacos al Complejo preBötzing afecta el ritmo respiratorio [4]. En este proyecto analizaremos registros de respiración in vitro en una rebanada de tallo cerebral que contiene el Complejo preBötzing para clasificar los patrones de respiración y ver si el péptido bombesina incrementa de manera estable el ritmo respiratorio.

Metodología

Se obtuvieron dos series de tiempo correspondientes al ritmo respiratorio basal (control) y cuando la rebanada fue expuesta a bombesina.



(a) Complejo Pre-Bötzing: núcleo necesario y suficiente para generar la fase inspiratoria del ritmo respiratorio.

(b) Ritmo respiratorio

Análisis De Fluctuaciones Sin Tendencias (DFA)

Para series de tiempo no estacionarias se introduce el análisis de fluctuaciones sin tendencia (DFA). Nos permite la detección de la auto-similitud intrínseca en series de tiempo aparentemente no estacionarias. Este método consiste en calcular fluctuación cuadrática media $F(n)$ dada por: [2]

$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [y(k) - y_n(k)]^2} \quad (1)$$

Donde N es el dominio de la serie de tiempo. En general $F(n)$ incrementa con el tamaño de n . La fluctuación se caracteriza por un exponente α de la forma $F(n) \sim n^\alpha$, donde α es la pendiente del ajuste lineal del registro $\log(F(n))$ con el $\log(n)$. Para $\alpha = 0,5$ la serie es aleatoria y para $\alpha > 0,5$ existen correlaciones de largo alcance.

Análisis De Fluctuaciones Sin Tendencias Multifractal (MFDFA)

Una forma para detectar multifractalidad en una serie de tiempo es con el MFDFA, este análisis se basa en el DFA para calcular la fluctuación de orden q -ésimo:

$$F_q(s) = \left\{ \frac{1}{2N_s} \sum_{v=1}^{2N_s} [F^2(s, v)]^{\frac{q}{2}} \right\}^{\frac{2}{q}}, \quad (2)$$

donde $F^2(s, v)$ es la varianza dada por:

$$F^2(s, v) = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \{Y[(v-1)s+i] - y_v(i)\}^2, \quad (3)$$

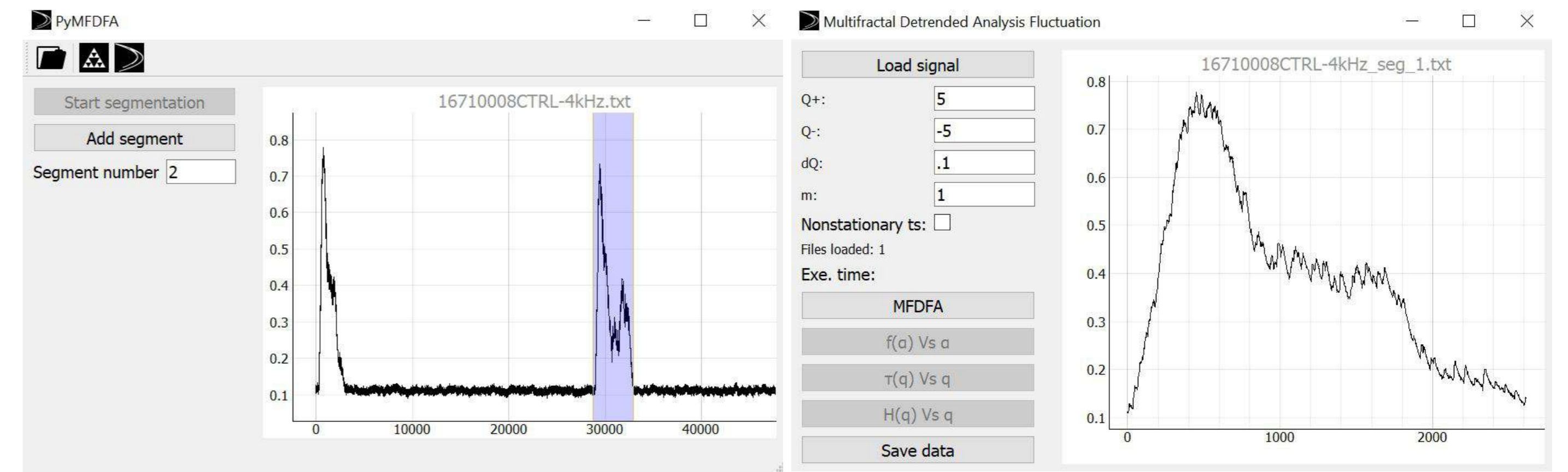
para cada segmento v , $v = 1, \dots, N_s$. Aquí $y_v(i)$ es el polinomio de ajuste en el segmento v . La variable q puede tomar cualquier valor real, excepto cero. $F_q(s)$ incrementa al aumentar s , entonces $F_q(s)$ sigue una ley de potencia como [7]:

$$F_q(s) \propto s^{h_q} \quad (4)$$

El valor h_q se denomina exponente de Hurst generalizado debido a la equivalencia entre h_2 y el exponente de Hurst para series estacionarias, lo que lleva a considerar el DFA en un caso particular del MFDFA para $q = 2$. Los exponentes $h(q)$ se relacionan con los exponentes ya conocidos de la multifractalidad $\tau(q) = qh(q) - 1$ y mediante una transformación de Legendre se obtiene el espectro multifractal $f(\alpha) = q\alpha - \tau(q)$ [5].

1. Interfaz

Se implementó una interfaz gráfica en Python con la librería PyQT5 para el análisis fractal y multifractal de series de tiempo.



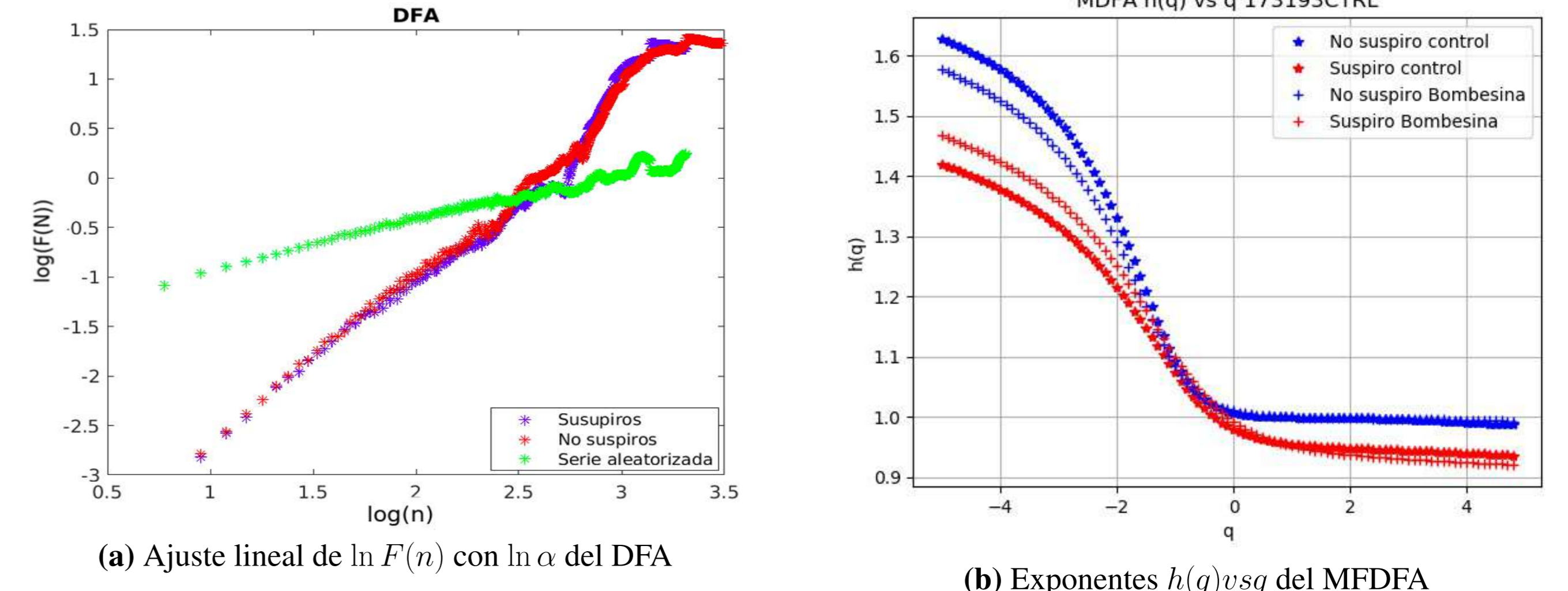
(a) La interfaz cuenta con una herramienta para segmentar señales, lo que permite ver, seleccionar y cortar los potenciales de los registros completos (b) Herramienta para realizar el MFDFA y se definen los parámetros $Q+$, $Q-$, dQ , el grado del ajuste m y se define si nuestras series de tiempo son o no estacionarias.

Figura 2: Clasificando los potenciales del registro de respiración utilizando como parámetros el exponente de Hurst y las fluctuaciones máximas de cada potencial

La interfaz de la figura 2a tiene dos módulos, **DFA**, donde se calculan las fluctuaciones $F(n)$ y el exponente de Hurst y **MFDFA**, donde se calculan los exponentes $h(q)$ y $\tau(q)$ así como el espectro multifractal $f(\alpha)$ vs α .

Resultados

Al realizar el DFA y MFDFA sobre los potenciales de respiración se obtienen los siguientes exponentes de h y $h(q)$:

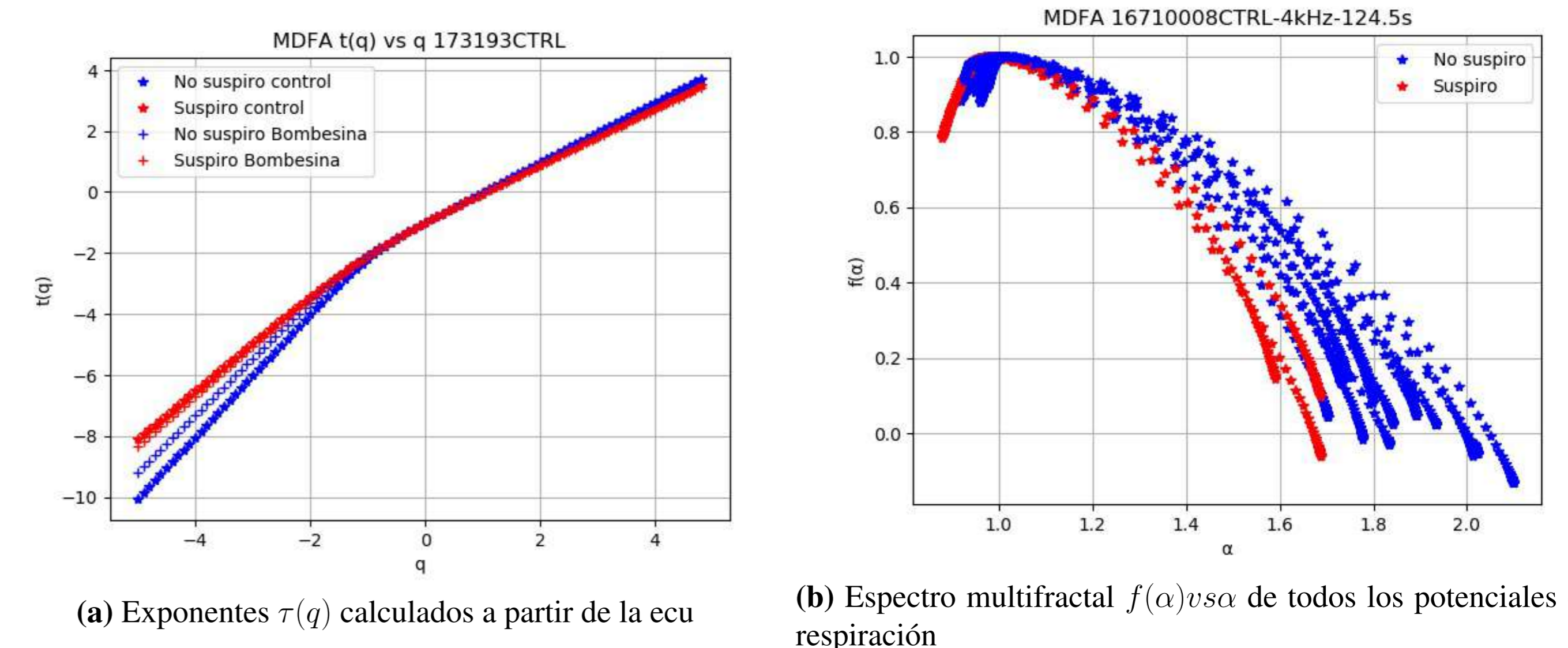


(a) Ajuste lineal de $\ln F(n)$ con $\ln \alpha$ del DFA

(b) Exponentes $h(q)$ vs q del MFDFA

Figura 3: Clasificando los potenciales del registro de respiración utilizando como parámetros el exponente de Hurst y las fluctuaciones máximas de cada potencial

Con el MFDFA se obtuvieron los siguientes exponentes $h(q)$ y $t(q)$:



(a) Exponentes $\tau(q)$ calculados a partir de la ecu

(b) Espectro multifractal $f(\alpha)$ vs α de todos los potenciales de respiración

Figura 4: Clasificando los potenciales del registro de respiración utilizando como parámetros el exponente de Hurst y las fluctuaciones máximas de cada potencial

Conclusiones y trabajo futuro

- El espectro multifractal indica que los no suspiros presentan mayor correlación de largo alcance que los suspiros, midiendo así su fuerza multifractal.
- El péptido bombesina, además de incrementar el ritmo respiratorio, modifica los potenciales de inspiración de tal forma que tanto a los suspiros, como no suspiros, tienen las mismas características multifractales entre sí.
- Las cantidades multifractales de los potenciales de inspiración se midieron a partir de una función de partición en el ensamble canónico. Entonces, podemos relacionar las cantidades: α , $f(\alpha)$ y $\tau(q)$ como: energía, entropía y energía libre respectivamente, donde los no suspiros tienen mayor energía y entropía que los suspiros, con respecto a una función de partición.

Referencias

- L. P. C. Morgado. Sighing: an inspiration with larger amplitude or longer duration. 2017.
- A. G. C. Peng, J. Hausdor. Fractal mechanisms in neural control: Human heartbeat and gait dynamics in health and disease. *Self-Organized Biological Dynamics and Nonlinear Control: Toward Understanding Complexity, Chaos and Emergent Function in Living Systems*, 2000.
- C. M. L. Parrazal. Central mechanisms for respiratory rhythm generation. *Rev Med UV, Volumen Especial 2012*, 2012.
- C. M. L. Parrazal. Complejo pre-bötzing: generación y modulación del ritmo respiratorio. *Neurología*, 2016.
- E. B. S. H. A. B. H. S. W. Kantelhardt, A. Zschigner. Multifractal detrended fluctuation analysis of nonstationary time series. *Physica A*, 2002.
- M. Walter. Neurogenesis of patterns of automatic ventilator activity. *Progress in Neurobiology*, 1998.
- Q. Wang. Multifractal characterization of air polluted time series in china. *Physica A*, 2019.