



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS



**Dinámica Fractal de niños con trastornos en el
aprendizaje en México, bajo el pensamiento de
Sistemas Posmodernista**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN
INGENIERÍA DE SISTEMAS**

PRESENTA

Ixchel Lina Reyes

Directores:

Dr. Oswaldo Morales Matamoros

Dra. Teresa Ivonne Contreras Troya

Ciudad de México, enero de 2019.

Resumen

Dinámica fractal de niños con trastornos en el aprendizaje en México, bajo el Pensamiento de Sistemas Posmodernista

La generación de conocimiento a través del aprendizaje en los seres humanos es realizado por el cerebro a través de interrelaciones no lineales de varias capas y tipos de neuronas, de lo cual emergen comportamientos colectivos en forma de combinación de procesos fisiológicos y cognitivos que permiten la interacción con el medio ambiente y mantener estabilidad física y cognitiva. Ya que las conexiones en las neuronas son variables entre las personas, las estructuras para aprender también lo son, lo que hace a su vez complejo la identificación y el origen cuando dichas interrelaciones no son funcionales y traen consigo dificultades para aprender.

El tratar de conocer la etiología de este trastorno ha sido motivo de estudio entre distintas ramas del conocimiento, ya sea haciendo alusión al componente fisiológico o cognitivo con la realización de estudios que proveen datos que son tratados con herramientas cualitativas y cuantitativas lineales, buscando obtener un comportamiento promedio determinado y la causalidad del mismo. Sin embargo, los sistemas vivos no obedecen a cuestiones lineales; las acciones que de ellos emergen poseen características complejas, cuya explicación o entendimiento está lejos de poder ser representado a partir de sus componentes y su proceder individual, por lo que su estudio y comprensión requiere del uso en conjunto de distintos enfoques científicos y artilugios no lineales.

Este trabajo de investigación se enfoca a la caracterización cuantitativa no lineal de los trastornos del aprendizaje el caso específico de la adquisición de la lectura, para ello se requiere en primer lugar, de establecer las características del sistema, esto a partir de las perspectivas: fisiológica, psicológica y sistémica, las dos primeras se refieren a todas las implicaciones físicas relacionadas a los procesos cognitivos que permiten la detección del trastorno y el segundo para establecer inclusión entre distintos marcos teóricos y metodológicos. Con base en lo anterior, se determina por medio de la metametodología de Intervención Total de Sistemas, el contexto (complejidad-tipo de relaciones) complejo coercitivo para las dificultades en el aprendizaje (lectura) y de esta manera se selecciona el pensamiento de sistemas postmoderno, enfoque donde se sitúa la teoría de la Geometría Fractal para usarse como herramienta cuantitativa no lineal en el procesamiento de la cuantificación de las ondas cerebrales (EEG).

Con la información cerebral se caracteriza la dinámica de fluctuaciones de series de tiempo de niños con trastornos de aprendizaje específicamente con problemas de lectura, aplicando la geometría fractal y la teoría del crecimiento de interfaces rugosas. A partir de EEG de niños diagnosticados, se construyeron series de tiempo desviaciones estándar $v(t, \tau)$ para cada uno de los diecinueve canales distribuidos en diferentes regiones de la corteza cerebral. La auto-afinidad de las series de tiempo $v(t, \tau)$ (tratadas como interfaces en movimiento) se caracterizó por el escalamiento dinámico de la estructuras de función: (i) $\sigma \propto (\delta_t)^\zeta$, con ζ como el exponente local, y (ii) $\sigma \propto (\tau)^\beta$, con β como el exponente de crecimiento de fluctuaciones. En este trabajo se halló que el comportamiento de niños evaluados con problemas de lecto-escritura, es semejante al escalamiento dinámico de Family-Vicsek para la cinética de rugosidad de una interface en movimiento. Por consiguiente, sería posible emplear las herramientas de la teoría de la rugosidad cinética para caracterizar y modelar las fluctuaciones de series de tiempo de procesos cognitivos que emergen del cerebro humano.

Abstract

Fractal dynamics of children with learning disorders in Mexico, under the Postmodernist Systems Thought

The generation of knowledge through learning in humans is carried out by the brain through non-linear interrelations of several layers and types of neurons, from which collective behaviors emerge in the form of a combination of physiological and cognitive processes that allow interaction with the environment and maintain physical and cognitive stability. Since the connections in neurons are variable among people, the structures for learning are also variable, which in turn makes identification and origin complex when these interrelationships are not functional and bring about difficulties in learning

Trying to know the etiology of this disorder has been the subject of study between different branches of knowledge, whether it is referring to the physiological or cognitive component with the performance of studies that provide data that are treated with qualitative and quantitative linear tools, seeking to obtain an average behavior determined and the causality of it. However, living systems do not obey linear issues; the actions that emerge from them have complex characteristics, whose explanation or understanding is far from being able to be represented from their components and their individual behavior, so their study and understanding requires the joint use of different scientific approaches and non-linear devices.

This research work focuses on the non-linear quantitative characterization of learning disorders in the specific case of the acquisition of reading, for it is required in the first place, to establish the characteristics of the system, this from the perspectives: physiological, psychological and systemic, the first refers to all the physical implications related to the cognitive processes that allow the detection of the disorder and the second to establish inclusion between different theoretical and methodological frameworks. Based on the above, it is determined through the methodology of Total Systems Intervention, the complex context (complexity-type of relationships) of coercive difficulties in learning (reading) and in this way the postmodern systems thinking is selected, approach where the theory of Fractal Geometry is placed to be used as a non-linear quantitative tool in the processing of brain wave quantification (EEG).

Brain information characterizes the dynamics of time series fluctuations of children with learning disorders in Mexico, specifically with reading problems, by applying fractal geometry and roughness interface growth theory. From the EEG of children diagnosed were built time series of standard deviation $v(t, \tau)$ for each of the 19 channels distributed in different regions of the cerebral cortex. The self-affinity of the time series $v(t, \tau)$ (treated as interfaces in motion) is characterized by the scaling behavior of the structure functions by one hand $\sigma \propto (\delta_t)^\zeta$, with ζ as the local exponent, and the other hand $\sigma \propto (\tau)^\beta$, with β as the fluctuation growth exponent. It was found that the behavior of children with reading problems is similar to the Family-Vicsek scaling dynamic for a kinetic roughening of moving interface. Therefore it would be possible to characterize and model the studied time series $v(t, \tau)$ by using the tools from the theory of kinetic roughening.

Índice

Resumen	iii
Abstract	iv
Índice de Figuras	1
Índice de Tablas	4
Glosario de términos	5
Introducción	8
Contexto	8
Planteamiento del problema	8
Estado del arte	9
Justificación	20
Objetivo General	21
Objetivos Particulares	21
Capítulo 1: Marco Teórico – Conceptual	22
1.1 Ciencia de Sistemas	22
1.1.1 Sistemas, propiedades y principios	23
1.2 Complejidad	24
1.2.1 Clasificación de Complejidad	25
1.2.2 Sistemas Complejos Adaptativos	26
1.3 Trastornos del aprendizaje	27
1.3.1 Dificultades en el aprendizaje de la lectura	31
1.3.2 Electroencefalografía	34
1.4 Definición del Sistema objeto de estudio	38
1.4.1 Esquema del sistema objeto de estudio	39
1.5 Metametodología de Intervención Total de Sistemas (ITS)	39
Capítulo 2: Teoría de Fractales	45
2.1 Teoría de fractales	45
2.1.1 Fractales determinísticos	46
2.1.2 Fractales auto-afines	47
2.2 Caracterización de sistema complejo a partir de fractales	48
2.3 Cinética del crecimiento de interfaces rugosas	49
Capítulo 3: Caracterización fractal del trastorno de lectura en niños de primaria	53
3.1 Recopilación de datos	53

3.2	Construcción de Series de tiempo de fluctuaciones.....	56
3.2.1	Series de tiempo de fluctuaciones para grupo experimental	57
3.2.2	Series de tiempo de fluctuaciones para grupo de control.....	67
	Capítulo 4: Dinámica fractal del trastorno de lectura.....	77
4.1	Caracterización fractal del trastorno de lectura	77
4.1.1	Escalamiento dinámico de la función de estructura para grupo experimental ...	79
4.2	Análisis y Discusión de Resultados	85
	Conclusiones.....	86
	Recomendaciones y trabajos a futuro.....	88
	Referencias	89
	Anexo 1. Cerebro Humano	98
A.1.1	Enfoque fisiológico.....	98
A.1.2	Enfoque neurológico.....	103
A.1.3	Enfoque psicológico.....	104
	Anexo 2. Producción Científica	105
A.2.1	Enfoques lineal y no lineal en estudios en procesos cognitivos.....	105
A.2.2	Toward fractal properties of cognitive process in the human brain under Complexity Science approach	106
A.2.3.	Dinámica fractal de niños con trastornos en el aprendizaje en México	107
A2.4.	Dynamic scaling of EEG fluctuations of patients with learning disorders based on Artificial Intelligence	108

Índice de Figuras

Figura	Nombre	Página
1.1	Principios de Sistemas	23
1.2	Factores que intervienen en el logro del aprendizaje escolar	28
1.3	Definición operacional de las dificultades en el aprendizaje	29
1.4	Exploración neuropsicológica en las dificultades en la lectura	33
1.5	Convención de polaridades para un electroencefalograma	36
1.6	Sistema Internacional 10 - 20	36
1.7	Electroencefalograma de niño de 8 años en estado somnoliento	38
1.8	Esquema del sistema objeto de estudio	39
1.9	Esquema de la Metametodología ITS	43
2.1	Ejemplos de sistemas regulares con dimensiones $d = 1$, $d = 2$ y $d = 3$	46
2.2	Dimensión fractal de la curva de Koch $d_f = \log 4 / \log 3$	46
2.3	Modelo determinístico de un fractal auto afín	47
2.4	Función rescalada auto-afín	50
2.5	Crecimiento de la interfaz con el tiempo para un sistema de tamaño L . Hay dos regímenes característicos: (i) crecimiento ley de potencia, que aparece como una línea recta en la gráfica log-log, y (ii) saturación	51
3.1	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_{P1} con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_{P1} con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	57
3.2	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_{P2} con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_{P2} con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	58
3.3	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_3 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_3 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	58
3.4	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_4 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_4 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	59
3.5	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal C_3 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal C_3 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	59
3.6	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal C_4 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal C_4 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	60
3.7	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal P_3 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal P_3 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	60
3.8	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal P_4 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal P_4 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	61
3.9	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal O_1 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal O_1 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	61
3.10	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal O_2 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal O_2 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	62
3.11	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_7 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_7 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	62
3.12	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_8 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_8 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	63
3.13	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal T_3 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal T_3 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	63
3.14	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal T_4 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal T_4 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	64
3.15	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal T_5 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal T_5 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	64
3.16	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal T_6 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal T_6 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	65
3.17	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_2 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_2 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	65
3.18	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal C_2 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal C_2 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	66
3.19	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal P_2 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal P_2 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	66
3.20	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_{P1} con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_{P1} con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	67
3.21	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_{P2} con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_{P2} con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	68
3.22	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_3 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_3 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	68
3.23	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_4 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_4 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	69
3.24	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal C_3 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal C_3 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	69
3.25	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal C_4 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal C_4 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	70
3.26	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal P_3 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal P_3 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	70
3.27	(a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal O_1 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal O_1 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$	71

Índice de Tablas

Tabla	Nombre	Página
1	Estudios de procesos cognitivos bajo una perspectiva de análisis lineal	11
2	Estado del arte de estudios de procesos fisiológicos aplicando la geometría fractal	17
1.1	Fases del desarrollo del ser humano	28
1.2	Factores que intervienen en el logro del aprendizaje de la lectura	32
1.3	Métodos neurales correlacionales	35
1.4	Tabla de ejemplos de Metáforas de Sistemas	40
1.5	Tabla de Agrupación de Contextos Ideales	41
1.6	Tabla de sistema de Metodología de Sistemas	42
1.7	Tabla de relación de Metodologías/Contextos/Metáforas	42
1.8	Tabla de contexto y enfoque de pensamiento para las dificultades en el aprendizaje	44
4.1	Valores de los exponentes de escalamiento ζ y β de las series de fluctuaciones de las desviaciones estándar	78
A1.1	Capas de la neocorteza	101

Glosario de términos

1. *Aferencias*. Neuronas encargadas de la recepción de sensaciones para transmitir las al cerebro (ver, oír, etc.), las vías aferentes nos permiten la percepción del medio ambiente.
2. *Autopoiético*. Condición de un sistema para regenerarse por medio de la auto-reproducción de sus propios elementos y de la red de sus interacciones características. Se construye de forma jerárquica, y es necesario que exista con antelación autopoiesis fisiológica, psicológica, mental y social.
3. *Caracterización*. Descripción cualitativa que puede recurrir a datos o a lo cuantitativo con el fin de profundizar el conocimiento sobre algo. Previamente se deben identificar y organizar los datos, describir estructuradamente y establecer su significado.
4. *Cierre organizacional*. Conservación de estructuras básicas y procesos de una organización a través de la actividad de sus operadores internos.
5. *Complejidad*. se encuentra asociado al tipo de elementos en un sistema y los niveles de jerarquía que posee, desde dos perspectiva una considerando el número de posibles combinaciones de interacciones entre todos los tipos de componentes y el número de componentes de cada tipo contenido dentro de los límites del sistema y otra, que toma en cuenta la naturaleza del proceso, emergencia, evolución y el marco de la termodinámica.
6. *Comportamiento caótico*. Trayectorias que provienen de puntos tan cerca como sea posible en el espacio de fases, alejándose de una forma exponencial una de otra en el tiempo.
7. *Comportamientos colectivos*. Secuencias repetitivas de patrones de acciones y estados resultantes característicos de un sistema específico.
8. *Composición*: propiedad que hace referencia al tipo y cantidad de componentes que tiene el sistema, las características de cada uno determina su potencial de interacción en sus límites.
9. *Criticalidad* (en física). Estado en el cual fluctuaciones espontáneas del parámetro de orden se encuentra en todas las escalas, conduciendo a la divergencia de correlaciones de longitud y a una susceptibilidad del sistema a fuerzas externas.
10. *Criticalidad auto-organizada*. Ocurre cuando las dinámicas del sistema son atraídas espontáneamente, sin ninguna necesidad aparente para ajustar el parámetro hacia un estado crítico con correlaciones de longitud infinita y estadísticos de ley de potencia.
11. *Correlación*. Describe el grado de relación entre dos o más variables. Las correlaciones son vistas debido al impacto de los factores aleatorios, y pueden ser caracterizadas por los métodos de la teoría de probabilidad.
12. *Correlaciones a corto plazo*. Correlaciones que decrecen suficientemente rápido, pueden describirse por una escala de tiempo característica de correlación; por ejemplo, correlaciones que decrecen exponencialmente.
13. *Correlaciones a largo plazo*. Correlaciones que decrecen suficientemente lento por lo que una escala de tiempo característica de correlación no puede definirse; por ejemplo, correlaciones de ley de potencia con un exponente entre 0 y 1.
14. *Crossover*. Punto de cambio en una ley de escalamiento, donde un exponente de escalamiento aplica para parámetros a escala pequeña y otro exponente de escalamiento aplica para parámetros a gran escala.
15. *Dinámica*. Está caracterizada por la sensibilidad de un sistema a un conjunto de condiciones iniciales que interactúan.
16. *Eferencias*. En el sistema nervioso, es el transporte de los impulsos nerviosos fuera del sistema nervioso central hacia los músculos o las glándulas.
17. *Electroencefalograma*. Gráfico en el que se registra la actividad del cerebro, el cual es obtenido por un electroencefalógrafo.
18. *Entropía*. Representa la cantidad de desorden en un sistema que, bajo la segunda ley de la termodinámica, tiende a incrementarse a menos que el sistema sea abierto a recibir negentropía (información).
19. *Epigénesis*. Elaboración estructural progresiva de un sistema por medio de la interacción de algunas reglas dentro de un medio ambiente específico.

20. *Equifinalidad*. Propiedad de un sistema que le permite alcanzar un estado final a partir de diferentes condiciones iniciales y de distintos modos, ésta ópera regulando los bucles de retroalimentación y funciona mejor cuando el sistema tiene mayor variedad.
21. *Escalamiento*. Proceso que conlleva al desarrollo de estructuras auto-similares a diferentes niveles.
22. *Evolución*. Transformación acumulativa de los sistemas que experimentan cambios irreversibles.
23. *Exponente de escalamiento*. Representa el número al que un objeto magnifica o disminuye su tamaño en una ley de potencia.
24. *Fractal*. Objeto geométrico auto-similar y caracterizado por una dimensión efectiva de carácter no entero.
25. *Función de correlación*. Representa la medida cuantitativa para la descripción compacta de las amplias clases de correlación en los sistemas complejos. Cuantifica la manera en que dos variables aleatorias en diferentes posiciones están correlacionadas.
26. *Geometría fractal*. Geometría que modela la recurrencia patrones similares a diferentes escalas que caracteriza a la mayoría de los sistemas naturales.
27. *Homeóstasis*. Conjunto de fenómenos de autorregulación, conducentes al mantenimiento de una relativa constancia en la composición y las propiedades del medio interno de un organismo.
28. *Integridad*: se refiere a que las cosas están compuestas de partes que se interrelacionan unas con otras para formar objetos identificables, cuentan con características especiales de su condición limitante que los diferencian de su medio ambiente.
29. *Ley de escalamiento*. Ley de potencia con un exponente de escalamiento (α) describe el comportamiento de una cantidad F (por ejemplo, fluctuación o potencia espectral) como una función de un parámetro de escala s (escala de tiempo o frecuencia), al menos, asintóticamente $F(s) \sim s^\alpha$.
30. *Morfogénesis*. Crecimiento de la organización estructural y las interrelaciones entre las partes de un sistema, este proceso es sistémico ya que causa la diferenciación de sus elementos.
31. *Multifractal*. Función real no negativa definido en una región geométrica que tiene un espectro de exponentes de escalamiento.
32. *Negentropía*. Medida de la cualidad o grado de energía, representa la disponibilidad de energía utilizable.
33. *Organización externa, sistema y medio ambiente*. El orden en un sistema se suscita y se mantiene aun cuando exista una baja espontánea de entropía en él; para restaurar los niveles, requiere de cierto flujo de entrada de materia, energía e información del exterior y una consecuente salida de estos flujos, dando lugar a un patrón emergente que implica la disipación de la circulación de salidas. El tipo de flujos que el sistema permite está en función de las restricciones implicadas en las condiciones de los límites del sistema y las características del medio ambiente. Las salidas dispersadas del sistema tienen las propiedades en el espacio-tiempo de disiparse, conforme se alejan la fuente, disparando un gradiente que permite diferenciar a un medio ambiente a través de las concentraciones de un flujo de cualquier tipo.
34. *Organización interna y estructura*. Representa la forma en cómo los componentes se unen para formar estructuras e interacciones que producen los aspectos funcionales del sistema; la manera en la que los componentes se unen de forma estable uno con otro dan lugar a patrones que persisten en el tiempo y conducen a funciones o procesos que determinan la organización interna del sistema. La creación de estructuras de mayor envergadura en los sistemas lo determina la fuerza de la conexión (atracción o repulsión) entre elementos, el vigor de la conexión indica además el impacto que tendrá lugar algún cambio experimentado por un componente en otros elementos del sistema.
35. *Organización jerárquica*. Se genera a partir de la propiedad anterior como una abstracción del sistema, permite situar cada descomposición de elementos en un nivel y tener una conceptualización del sistema basado en la realidad de su composición. *Persistencia*. En una serie de tiempo persistente, un valor grande es normalmente (es decir, con alta

preferencia estadística) seguido por un valor grande, y un valor pequeño es seguido por un valor pequeño.

36. *Proceso Cognitivo*. Tipo de crecimiento progresivo de la cognición que enfatiza la percepción, su interconexión, actuar, registrar los resultados ya sean positivos o negativos de dicha acción para futuras referencias, como memorias que permiten ser evocadas en otras situaciones para usar selectivamente en acciones futuras.
37. *Recursividad*. Proceso transversal donde tienen lugar la reproducción de sus elementos o subsistemas y sus interrelaciones características (código genético en los seres vivos). Esta propiedad permite auto-similitud de nivel a nivel, cierre organizacional (isomorfismo multinivel) y cierto grado de predictibilidad en el comportamiento del sistema.
38. *Serie de tiempo*. Arreglo dimensional de números, $i = 1, \dots, N$ que representa valores de una variable observable x , generalmente medida de manera equidistante en el tiempo.
39. *Sistema auto-afín*. Generalización de un sistema fractal, donde las diferentes magnificaciones s y $s' = s^H$ tienen que ser usadas para diferentes direcciones, a fin de obtener una magnificación estadísticamente equivalente. Al exponente H se le llama exponente de Hurst.
40. *Sistema complejo*. Sistema que consta de muchos componentes interactuando de manera no lineal, abierto a su ambiente, que auto-organiza su estructura y su dinámica con nuevas propiedades macroscópicas "emergentes". No puede ser dividido en subsistemas más simples sin corromper las propiedades dinámicas y sus interacciones dan lugar a la emergencia de estructuras jerárquicas.
41. *Sistemas contienen sistemas*. Cada sistema tiene elementos en todas las escalas, los componentes de un sistema tienen, a su vez, subsistemas que, a su vez, poseen integrantes, exponiendo una multiplicidad de subsistemas o niveles en la estructura, donde sus conexiones son menos fuertes que la que muestra el sistema como un todo (subsistema, macrosistema, suprasistema).
42. *Sistema fractal*. Sistema caracterizado por una ley de escalamiento con un exponente fractal, es decir, no entero. Los sistemas fractales son auto-similares, es decir, la magnificación de una parte pequeña es estadísticamente equivalente al conjunto.
43. *Sistema multifractal*. Sistema caracterizado por leyes de escalamiento con un número infinito de diferentes exponentes fractales. Las leyes de escalamiento deben ser válidas para el mismo rango del parámetro de escala.
44. *Subsistema*. Elemento de un sistema más grande que llena las condiciones del sistema en sí mismo, pero también desempeña un rol especializado en la operación del sistema más grande al que pertenece.
45. *Suprasistema*. Sistema de más alto orden en relación con otros sistemas o subsistemas de más bajo orden.
46. *Redes*. Con el fin de conocer las conexiones no triviales y sus características, es necesario la construcción de un modelo conceptual que represente componentes y conexiones a través de la elaboración de mapas de redes basados en entretrejos de componentes y sus interconexiones e interacciones, a través de fuerzas y flujos conectados por líneas.

Introducción

Contexto

El cerebro es un órgano que, con muchos años de evolución, ha permitido a los seres humanos la percepción de estímulos internos y externos, procesarlos y generar comportamientos colectivos regulados por sistemas de control que les permiten conseguir equilibrio homeostático (Campbell *et al.*, 2005) (Squire *et al.*, 2008).

Para ello el cerebro hace uso de los procesos fisiológicos y cognitivos que trabajando en conjunto consiguen la estabilidad física y psicológica, si bien estas funciones son parecidas a las de otros seres vivos la diferencia primordial radica en el progreso de áreas corticales especializadas e interrelacionadas entre sí de forma no lineal que le permitieron diversificar su comportamiento colectivo, habilidades y capacidades cognitivas. Lo que como resultado le da la capacidad para generar, almacenar, recuperar y aplicar conocimiento, desarrollar herramientas, obtener experiencia y, en consecuencia, modificar cualquier ambiente para saciar sus necesidades (Squire *et al.*, 2008).

El conocimiento adquirido es un elemento fundamental para concretar las distintas etapas de crecimiento humano, así como para el desarrollo de la personalidad y el aprendizaje. En cada fase implica que el cerebro obtenga ciertas habilidades y conocimiento, las formas de conseguirlo dependen de las características de cada persona, sin embargo algunas a pesar de los esfuerzos no logran obtenerlas y llega a presentarse que en una determinada edad comiencen a hacerse visibles las dificultades, particularmente cuando se comienza a asistir a la escuela y la persona no le es posible adquirir cuestiones básicas como la lectura, escritura o el cálculo en comparación con sus compañeros de clase y lo esperado a su edad biológica.

Estas discrepancias entre lo esperado y la realidad han generado que ramas del conocimiento busquen explicar los mecanismos y factores que dan lugar a las dificultades en el aprendizaje, realizando estudios por medio del uso de métodos neurales correlacionales que combinados con pruebas psicológicas precisas dan lugar al desarrollo de tecnología, medicamentos, terapias, teorías, conocimiento que, en suma, han logrado diagnosticar y mejorar la calidad de vida de los individuos que padecen de dificultades en el aprendizaje, considerando un enfoque que hace uso de herramientas cualitativas y cuantitativas lineales, así como del uso de pensamiento convergente pero con la carencia de transdisciplina entre distintas ciencias. (Campbell *et al.*, 2005).

Planteamiento del problema

A nivel mundial alrededor del 4 al 7% de los niños están diagnosticados con dificultades en el aprendizaje, es más probable que los varones presenten este padecimiento, ya sea que tengan problemas en la lectura, escritura o al realizar cálculos siempre, con la posibilidad de tener más de una y su grado sea en mayor o menor medida. Debido a que los mecanismos con los que los niños aprenden están relacionados no solo al tipo de instrucción educativa sino también con la forma particular en la que sus neuronas se comportan para conectarse unas a otras y cómo todo ello se relaciona con el medio ambiente que circunda al infante, inferir cuáles son las causas que propician que las interrelaciones no lineales se manifiesten de una forma que permita el aprendizaje o no de alguna habilidad resulta una tarea complicada ya que los datos obtenidos de los niños con dificultades puede ser fácilmente sesgada, dejando fuera la consideración de elementos importantes para el diagnóstico y la creación de una intervención expedita.

Las investigaciones acerca de los problemas de aprendizaje realizadas por enfoques de la neurociencia o la psicología recaban información por medio de técnicas de neuroimagen y pruebas estandarizadas cuyo procesamiento se hace a través de herramientas lineales, su alcance y características permiten obtener promedios que son interpretados con base en la experiencia de las personas que realizan los estudios y/o con el uso del conocimiento de expertos en el tema, que pueden ser ajenos o no a la investigación.

La información recabada busca obtener el mayor conocimiento posible acerca de distintos aspectos de dicho problema a través de herramientas bajo un enfoque netamente lineal. Para entender el todo a partir de la fragmentación de las partes, considerando que las interacciones entre los elementos son lineales y puramente aditivas, lo que generalmente implica que los hallazgos obtenidos de las particiones no puedan ser empleados para obtener información del sistema como un todo, ya que frecuentemente no son compatibles con la dinámica del sistema mayor por la pérdida de propiedades emergentes en la simplificación.

Si bien lo anterior ha permitido avances en distintas áreas del conocimiento, cada una con su propio lenguaje, acorde a preceptos y suposiciones particulares en torno a la dinámica del problema de aprendizaje, la suposición de linealidad mantiene fuera del estudio los medios de coordinación que ayudan a mantener la coherencia como un todo, así como la peculiaridad de que las interrelaciones son no lineales entre las neuronas y que éstas pueden tener una multiplicidad de situaciones iniciales sin que sus parámetros varíen en proporción aritmética.

Con base en lo anterior, es necesario considerar la aplicación de herramientas metodológicas robustas no lineales que permitan caracterizar las dificultades en el aprendizaje haciendo uso de distintas ramas del conocimiento de manera complementaria, inter y transdisciplinaria, llevando a generar conocimiento que tome los límites entre los diversos enfoques no como barreras sino como puentes para entender la dinámica de dichos procesos (Martínez, 2000). En este trabajo de investigación se propone el uso de la Geometría Fractal, teoría matemática creada de forma independiente pero importante para la sistémica (Francois, 2004), como forma complementaria para estudiar la dinámica de las dificultades en el aprendizaje, por lo que se plantean las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿En qué forma la caracterización fractal podría ayudar a complementar el conocimiento ya generado a partir de la aplicación de herramientas lineales?
2. ¿El uso de la geometría fractal podría generar hallazgos que ayuden a complementar el diagnóstico y la intervención de las dificultades en el aprendizaje?
3. ¿La caracterización de las dificultades en el aprendizaje permitiría dilucidar los mecanismos subyacentes al desarrollo del padecimiento?

Estado del arte

Contestar las preguntas anteriores implica, en primera instancia, conocer los estudios más recientes sobre las dificultades en el aprendizaje, la metodología que ocupan, las técnicas para cuantificar y las herramientas para procesar información, sus consecuentes resultados y, por supuesto, sus aportaciones a distintas ramas de la ciencia.

En la Tabla 1 se enlistan quince estudios de las dificultades en el aprendizaje bajo el enfoque lineal.

Tabla 1. Estudios de procesos cognitivos bajo una perspectiva de análisis lineal.

Descripción breve	Aportación	Metodología empleada	Resultados
Sequential prediction of literacy achievement for specific learning disabilities contrasting in impaired levels of language in grades 4 to 9 (Sanders, Berninger & Abbott, 2018).			
Uso de la regresión secuencial para sugerir si los componentes de la memoria operativa relacionados al lenguaje pronostican que un estudiante de cuarto a noveno grado con discapacidades específicas de aprendizaje (considerando el déficit por atención o el trastorno de hiperactividad), logró la consecución de la lectura y escritura más allá del uso de la traducción cognitivo-lingüística.	Cada uno de los predictores está relacionado al logro de la lectura y escritura, sin embargo para la escritura a mano, elección de ortografía y combinación de sentencias, los predictores representaron una varianza notablemente menor que las otras mediciones en escritura. La existencia de menos variación en las mediciones del logro de la escritura a que funciones ejecutivas de alto nivel están inmiscuidas en la escritura y que la traslación cognitiva lingüística no es un predictor de problemas futuros en la escritura a mano. Se sugiere con los resultados de este estudio que debe	<ul style="list-style-type: none"> • Cuantificación de los niveles de impedimento en disgrafía, dislexia o discapacidad del lenguaje oral o escrito a través de pruebas estandarizadas específicas para cada dificultad. • Cuantificación con pruebas estandarizadas y específicas de los predictores tanto para la traducción cognitiva lingüística, los componentes de la memoria de trabajo relacionadas al lenguaje (almacenamiento de palabras y procesamiento de la ortografía morfofonémica, bucles para la integración de código cruzado, atención supervisora). • Cuantificación de las salidas por medio de pruebas estandarizadas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. El conjunto de predictores tienen una relación directa con la salida inclusive si el conjunto comparte varianza con otro conjunto de predictores (regresiones múltiples con entradas simultáneas). 2. Las entradas de predictores secuenciales permiten probar la importancia de la varianza incremental en cada resultado considerada para explicarse por un conjunto de predictores después de haber sido previamente controlado el conjunto de predictores. 3. El grupo con discapacidades del aprendizaje del lenguaje oral y escrito tuvo mediciones más bajas en la traducción cognitivo-lingüística que los del grupo de disgrafía y dislexia.

	<p>considerarse para el diagnóstico de discapacidades del aprendizaje del lenguaje oral y escrito se deben considerar la traslación cognitiva lingüística y dos componentes de la memoria de trabajo (codificación ortográfica y bucle ortográfico).</p> <p>Se sugiere la existencia de un mecanismo de aprendizaje del lenguaje, y se recalca la importancia de evaluar los perfiles de aprendizaje en diferentes niveles de lenguaje para estudiantes con discapacidades en el aprendizaje.</p> <p>Las personas con dislexia tienen más dificultades en tareas de deletreo que las que tienen disgrafía. Las personas que presentan dificultades en el aprendizaje del lenguaje o escrito poseen mayores deficiencias en la escritura de sentencias y la codificación morfológica con respecto a una persona con dislexia cuyos problemas radican principalmente en la codificación ortográfica y fonológica.</p>	<p>específicas para la prueba de aptitud multinivel de lectura y escritura.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regresiones múltiples con entradas simultáneas de predictores que determina el porcentaje de varianza explicada por cada conjunto de predictores. • Regresión lineal con entradas secuenciales de predictores 	<ol style="list-style-type: none"> 4. Las cuantificaciones de la codificación de la forma de la palabra fueron promedio para el grupo de disgrafía. 5. El grupo de dislexia presentó un promedio superior en la codificación fonológica y ortográfica. 6. El grupo con discapacidades del aprendizaje oral y escrito obtuvo más que una desviación estándar por debajo del grupo de dislexia en la codificación morfológica y por debajo en la codificación ortográfica y fonológica con respecto a los grupos con disgrafía y dislexia. 7. El grupo de disgrafía estaba por debajo del promedio solamente para la el bucle ortográfico y ninguno de los grupos estuvo por encima en las cuantificaciones de supervisión de atención. 8. El grupo de dislexia y con discapacidades del aprendizaje oral y escrito obtuvieron un promedio por debajo en ambos bucles de memoria de trabajo y para ambas cuantificaciones en la atención supervisora. 9. El grupo con discapacidades en el aprendizaje obtuvo mediciones más bajas en el logro de la lectura que el comparado con el obtenido por el grupo de dislexia, este grupo a su vez obtuvo mediciones más bajas que el grupo de disgrafía en comprensión de la lectura. 10. En el logro de la consecución de la lectura, los tres grupos presentaron un promedio menor en la escritura a mano, pero solo el grupo con discapacidades del aprendizaje oral y escrito estuvo por debajo del promedio en la medición en dictado y notablemente más bajo que los grupos de dislexia y disgrafía para las tareas de composición escrita a nivel sentencia. 11. Las regresiones mostraron que las cuantificaciones en traslación cognitiva lingüística juntas representaron un promedio del 27% de la varianza en la lectura, un 15% para la escritura y a través de todas las mediciones un promedio de 21%. 12. Juntas las mediciones de la memoria de trabajo para la codificación de las palabras representaron un promedio de 46% en la varianza en lectura, el 34% en la varianza en la y a través de todas las mediciones un promedio de 14%. 13. Juntas las mediciones de la atención supervisora y la memoria de trabajo representaron un promedio de 38% en lectura, un 17% en escritura y a través de todas las mediciones un promedio de 28%.
Descripción breve	Aportación	Metodología empleada	Resultados
Understanding developmental Language disorder – the Helsinki longitudinal SLI study (Hel SLI): a study protocol (Laasonen et al., 2018).			
<p>Proyecto que busca investigar a múltiples niveles de análisis los factores etiológicos que dirigen hacia el trastorno del desarrollo del lenguaje, ya que las características lingüísticas parecen variar con el lenguaje que se habla. Tiene como objetivo hacer posible una predicción confiable y temprana identificación del trastorno por medio del seguimiento del modelo de déficit múltiple de los trastornos.</p>	<p>Incrementar el entendimiento de los múltiples riesgos interactivos y factores protectores que afectan el desarrollo del perfil heterogéneo, cognitivo y comportamental del trastorno del desarrollo del lenguaje, incluyendo factores que afectan el desarrollo del alfabetismo para formar un conocimiento acumulado con una base heurística para el desarrollo de nuevas intervenciones dirigidas a aspectos lingüísticos y no lingüísticos del trastorno del desarrollo del lenguaje.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección de datos a través de: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Muestras de saliva ▪ Electroencefalogramas ▪ Tareas cognitivas computarizadas ▪ Evaluación neurofisiológica de habla y lenguaje ▪ Video – observaciones ▪ Cuestionarios • Análisis de potencia. • Estadística inferencial 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se sugiere que el temperamento de los niños y su interacción con los padres son factores tanto de riesgo como de protección para el desarrollo del lenguaje, siendo el desarrollo del trastorno un factor de riesgo para el bienestar a largo plazo de un niño. 2. Se propone que los niños con antecedentes bilingües tendrán un desempeño más pobre del lenguaje comparado con niños monolingües, pero presentarán un mejor desempeño que los que tienen características de comorbidad. 3. Los niños con trastorno del lenguaje tendrán más dificultades en tareas no verbales de la memoria a corto plazo y aprendizaje artificial de gramática cuando requieran de mantener, separar, manipular y aprender patrones. 4. Se alude que las anomalías epileptiformes en los EEG clínicos están relacionados con la severidad del trastorno en el lenguaje tanto en niños monolingües como bilingües. 5. La habilidad en el lenguaje y más específicamente la memoria a corto

Descripción breve	Aportación	Metodología empleada	plazo está relacionada con el historial genético. Resultados
Electroencephalographic characterization of subgroups of children with learning disorders (Roca et al., 2017).			
Sugerir cuales son las características de las alteraciones electroencefalográficas en sujetos con trastornos del aprendizaje por medio de la observación de niños agrupados con base en los patrones de déficits en sus habilidades cognitivas.	Se encuentran diferencias en la actividad registrada en los EEG en potenciales evocados entre las agrupaciones de niños con trastorno del aprendizaje, lo que está relacionada a las diferencias en el perfil neuropsicológico, lo cual es importante a considerar al momento de la planeación de las intervenciones para los niños con trastornos, ya que podría ayudar como guía a la selección de diferentes estrategias en el tratamiento con diferentes perfiles cognitivos.	<ul style="list-style-type: none"> Transformada de Fourier Corrección geométrica de potencia ANOVA test 	<ol style="list-style-type: none"> El subgrupo G3 tiene una potencia absoluta más alta en frecuencias en los rangos delta y theta en las áreas frontotemporal izquierda que los grupos G1 y G2. El subgrupo G2 tiene una potencia absoluta más alta dentro de la frecuencia alfa que los subgrupos G3 y G1 en el área occipital izquierda. El subgrupo G3 tuvo una potencia absoluta más alta en frecuencias dentro del rango beta que el obtenido por el subgrupo G1 en las áreas parietal y que el subgrupo G2 en las áreas temporales y frontotemporal izquierdas. El subgrupo G1 obtuvo una potencia absoluta más alta dentro de las frecuencias beta que el obtenido por el subgrupo G2 en las áreas frontopolar izquierda. El subgrupo G3 obtuvo una potencia absoluta gamma más baja que en los otros grupos en el hemisferio izquierdo, y la actividad gamma fue más alta en los subgrupos G1 que en el subgrupo G2 en las áreas frontopolar y temporal.
Descripción breve	Aportación	Metodología empleada	Resultados
17q23.2.q23.3 de novo duplication in association with speech and language disorder, learning difficulties, in coordination, motor skill impairment, and behavioral disturbance: a case report (Wessel et al., 2017).			
Las delaciones en 17q23.1q23.2 es un tipo de mutación genética en la que material genético se pierde desde todo un fragmento de cromosoma o un solo par de nucleótidos de DNA, estas las presentan individuos con retraso en el desarrollo y retardo en el crecimiento. Las alteraciones en las dosis de los genes TBX2 y TBX4 localizados en 17q23.1q23.2 han sido sugeridas como los responsables por los fenotipos observados en individuos con delaciones y duplicaciones en 17q23.1q23.2. En esta investigación se presenta el fenotipo clínico de un niño al que previamente no se le había detectado la duplicación en la región distal TBX2 y TBX4 en 17q23.1q23.2.	La región duplicada abarca 16 genes, lo que sugiere que un incremento de dosis en uno o más genes en la región duplicada es responsable del fenotipo observado, uno de esos genes es el gen TANC2 y codifica a uno de los miembros de la familia TANC que incluye a TANC1 y TANC2. Estas proteínas son altamente extraídas en el cerebro y juegan mayores roles en la regulación de la sinapsis. Por lo tanto, se sugiere que el gen TANC2 es el candidato responsable del incremento del fenotipo observado, que exista un aumento en el TANC2 puede alterar la sinapsis entre las neuronas y generar disfunción y el fenotipo neuroconductual presentado por el niño que fue evaluado.	<ul style="list-style-type: none"> Microformación cromosómica Análisis cromosómico Métodos ortogonales para confirmar duplicación (MLPA y qPCR) 	<ol style="list-style-type: none"> Los EEG a la edad de 6.5 años y 7 mostraron ondas en rango theta sin emisiones epileptiformes y una mezcla de actividad alfa y theta con rangos beta superimpuestos en la región frontal, respectivamente. Una duplicación superpuesta de 17q23.1q23.2 se asocia con pie zambo y manifestaciones esqueléticas en ausencias alteraciones cognitivas y comportamiento. TANC2 es un gen que puede estar asociado a las enfermedades humanas, es un candidato a la generación de discapacidad intelectual, al codificar a TANC 1 y 2 se asocia a que estas proteínas tienen varios dominios para la interacción proteína-proteína, su sobre extracción en neuronas cultas parece incrementar la densidad de las espinas dendríticas y la excitación de la sinapsis.
Descripción breve	Aportación	Metodología empleada	Resultados
Neuroanatomy of handwriting and related Reading and writing skills in adults and children with and without learning disabilities: French-American connections (Longcamp et al., 2016).			
Revisión de estudios desde la perspectiva de la neurociencia y la psicología cognitiva que permitan entender el complejo proceso de escritura a través de la identificación de la red neuronal inmersa, las indagaciones fueron hechas a partir de estudios de neuroimagen en adultos y niños. La red neuronal se sugiere que está construida a partir del nivel de pericia del escritor y parte de esta red grafomotora es usada durante la identificación de letras en la lectura.	Sugiere que para entender la organización de la escritura en el cerebro hace necesario considerar la red neuronal y las interconexiones entre regiones del cerebro durante la realización de tareas de escritura a mano, relacionadas a la escritura y de lectura, con ello se podrían llegar a conocer las causas de las dificultades de algunos niños para aprender a escribir. Promueven que la investigación debe hacerse en un nivel de letra, palabra y texto que permita facilitar el desarrollo de la escritura y proveer a los maestros de indicios para su enseñanza, tal	Revisión del estado del arte de estudios que indaguen en las redes neuronales inmersas en el proceso de adquisición de la escritura y la relación que esta guarda con otras habilidades.	<ol style="list-style-type: none"> La pericia en la escritura depende de regiones cerebrales específicas como la región frontal izquierda, las regiones premotoras. Los niños con pobres habilidades en la escritura sobre activan el sistema visual y las regiones extra parietal y cerebelar. En niños con pocas habilidades de escritura y aquellos con una buena presentan una diferencia significativa en la activación de la corteza fusiforme izquierda cuando escriben cartas muy practicadas. El desarrollo de una mayor activación enfocada en la región premotora, parietal y cerebelar mientras se aprenden nuevas formas de letras está asociado con buenas habilidades de escritura mientras que una activación

	como sustituir el adiestramiento de escritura a mano por el de teclado.		<p>más esparcida está asociado a pobres habilidades en la escritura.</p> <ol style="list-style-type: none"> Existen relaciones entre la escritura y otras habilidades del lenguaje, ya que la región fusiforme izquierda en la red neuronal mantiene relación con el procesamiento ortográfico de las palabras, ya que la activación fusiforme es común entre la lectura y dictado y entre la lectura y el teclado de caracteres en un teclado. La escritura tiene que ver con procesos cognitivos como el flujo de ideas y la planeación estratégica para la composición, esto hace diferencia en que los buenos escritores son más eficientes en emplear la memoria de trabajo mientras generan pensamientos. Correlaciones entre la integridad en materia blanca y las conexiones funcionales de la materia gris, es visible en niños de cuarto a noveno grado, en donde aquellos con dislexia o disgrafía difieren con los que no tienen anomalías, ya que tienden a tener más indicadores en la integridad estructural de la materia blanca y menos conexiones funcionales, resultado que coincide es un más eficiente procesamiento en tareas de lenguaje escrito al nivel de subpalabra y nivel palabra. Fueron encontradas conexiones funcionales diferentes en las tareas de escritura de cartas y a nivel palabra, mente errante que subyace al flujo mientras se escribe y con la planificación antes de la composición.
Descripción breve	Aportación	Metodología empleada	Resultados
Even related potential patterns reflect reversed hemispheric activity during visual attention processing in children with dyslexia: A preliminary study (Kang et al., 2016).			
Investigación de niños con dislexia desarrollada a través de dos componentes de los ERP para indagar en la atención espacial y consciente en regiones parietales del cerebro.	El hemisferio derecho actúa como un sistema auxiliar que compensa la lectura pobre en niños con dislexia, que este hemisferio predomina puede reflejar un mecanismo auxiliar que compensa las pobres funciones de lectura que desempeñan las regiones izquierdas.	<ul style="list-style-type: none"> Pruebas de diagnóstico de dislexia del Manuales de diagnóstico y estadística de las enfermedades mentales. Pruebas de inteligencia por medio de Korean –Wechsler Intelligence Scale for Children IV. Pruebas de IQ y visión. Análisis estadístico de la exactitud en la respuesta y el tiempo de reacción. Índice de asimetría lateral. Mann - Whitney U - test. ANOVA. Prueba independiente correctiva de Bonferroni. 	<ol style="list-style-type: none"> P100 región parietal occipital y es el pico más positivo durante el intervalo de 100-150 ms después de que objetivo fue arrancado. P300 región parietal y fue definido como el pico más positivo en el lapso de 300-400 ms una vez que el objetivo fue comenzado. Los niños con dislexia tiene tiempos de reacción más largos y amplitudes P100 más grandes que los niños sin dislexia. El periodo de inactividad de P100 fue significativamente más retardado en el hemisferio derecho en los niños con dislexia. La amplitud de P300 fue más larga en el hemisferio derecho que en el izquierdo. El periodo de inactividad de P300 no tuvo diferencias entre el hemisferio derecho e izquierdo. El índice de asimetría lateral para P100 mostro que el hemisferio derecho predomina, lo que sugiere que esta significativamente correlacionado con la precisión en la detección de la dislexia en niños. Los niños con dislexia requieren de mayor tiempo para cambiar su atención a un objetivo o blanco, lo que puede ser interpretado como que la dislexia causa que se procese la información lentamente.
Descripción breve	Aportación	Metodología empleada	Resultados
Evaluation of a game-based parent education intervention to increase positive parent-child interaction in parents with learning difficulties (Tahir, Sword & Feldman, 2015).			
Con el fin de prevenir o reducir problemas de comportamiento o desórdenes psiquiátricos en niños descendientes de padres con dificultades en el aprendizaje se realiza la evaluación de un intervención dirigida hacia los padres para la educación de los niños con una base de juego de rol (Juego Familiar) que les	Una intervención basada en el juego de roles, diseñada para enseñar a los padres con problemas de aprendizaje, cómo actuar frente a los problemas de comportamiento de sus hijos, que generalmente pueden llegar a tener enfermedades psiquiátricas o comportamiento problemático, es una herramienta con posibilidades de brindar habilidades a los padres de familia	<ol style="list-style-type: none"> Selección de tres habilidades por enseñar a los padres que mejoran la cooperación de los niños: brindar instrucciones claras, aprobar la cooperación infantil en ausencia de un comportamiento problemático y la corrección del niño cuando no es cooperativo. Medición del comportamiento de los niños por medio de la Encuesta de Manejo del Comportamiento Infantil- 	<ol style="list-style-type: none"> Los dos padres que participaron incrementaron sus puntajes durante el entrenamiento del juego y la generalización de cartas cuando cada habilidad fue enseñada de forma secuencial. Uno de ellos puntajes más altos en instrucciones y aprobación generalizada que en las tarjetas de entrenamiento. El hijo de uno de los padres participantes incremento su cooperación de 40% a un 67% pero decayó en la fase post prueba

<p>permita a los adultos obtener estrategias positivas para el manejo del comportamiento infantil problemático, lo que podría mejorar las interacciones entre padres y niños de forma positiva.</p>	<p>para reducir las situaciones de estrés y conflictos con sus descendientes, ya que dependiendo de cada una de las características de las familias es posible determinar cuáles son las necesidades y objetivos problemáticos a atender. Sin embargo, debido a la muestra pequeña de esta indagación se hace hincapié en que es necesario realizar pruebas con un mayor número de participantes en distintos ambientes.</p>	<p>Escala de problemas del comportamiento.</p> <ol style="list-style-type: none"> Medición de los efectos en el estrés de los padres antes y después de la intervención a través del Índice de Estrés de los padres – Forma Corta. Medición de la auto-eficiencia del padre por medio de la Escala de Sentido de Competencia de los Padres y la Escala de Autoeficacia. Una encuesta de satisfacción del entrenamiento hacia los padres que participaron. 	<p>a un 58%. Lo que se vio reflejado en el incremento de los niveles de estrés.</p> <ol style="list-style-type: none"> La hija de uno de los padres participantes incremento su cooperación de un 40% a un 52%, sin embargo en la fase post prueba volvió al 40%. A diferencia del otro participante el padre de esta persona vio un decremento en los niveles de estrés. Ambos padres reportaron que las estrategias de esta intervención ayudo a que sus hijos en lo general tuvieron un mejor comportamiento y tuvieron una mejora en la autoeficacia de 2.5 a 3.38 y de 2.88 a 3.5
Descripción breve	Aportación	Metodología empleada	Resultados
<p>A meta - analysis of functional Reading Systems in typically developing and struggling readers across different alphabetic languages (Pollack, Luk & Christodoulou, 2015).</p>			
<p>Comparación de entre grupo de lectores típicos y un grupo diagnosticado con dislexia evolutiva para obtener un entendimiento en la confluencia interlingüística de las activaciones cerebrales relacionadas a la lectura, por medio del análisis de tareas que involucran hacer rimas, leer una carta o estímulos verbales presentados visualmente en distintos idiomas (inglés, holandés, italiano, francés, noruego y alemán)</p>	<p>La comparación entre el grupo de disléxicos y los lectores típicos muestra que se activan áreas cerebrales en común y otras completamente diferentes cuando la persona se involucra en tareas relacionadas con la lectura, lo cual extiende el conocimiento de los análisis previos que incluyen los análisis interlingüísticos para la escritura alfabética. Esta investigación soporta en sus resultados la universalidad de una estructura distintiva de activación cerebral en la dislexia evolutiva a lo largo de lenguajes alfabéticos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Los datos fueron obtenidos de 13 estudios relacionados con indagaciones en dislexia o dificultad para leer y usando técnicas de fMRI o PET. Software GingerALE que utiliza un algoritmo que se enfoca en distribuciones Gaussianas tridimensionales centradas en las coordenadas reportadas y computa la unión de las probabilidades de activación para cada voxel y obtener los mapas ALE, cada voxel los mapas son comparados con una distribución ALE nula que fue determinada por una prueba de permutación para obtener valores p asociados. Se computa un umbral para el mapa ALE basado en el índice de falso descubrimiento seleccionado. Para crear un umbral se hizo uso un clúster mínimo para cada estudio y para análisis subsecuentes de clúster. Uso del método no aditivo para obtener los resultados que limita los efectos dentro del experimento. 	<ol style="list-style-type: none"> Los lectores típicos al realizar tareas relacionadas con la lectura muestran activación cerebral en la región temporal y frontal izquierda, observándose los clúster más grandes en la circunvolución inferior frontal izquierda y la izquierda precentral, considerando que la mitad de los estudios seleccionados hicieron uso del idioma inglés. Para el caso de los estudios en todos los idiomas considerados se encontró convergencia intralingüística que soporta los procesos relacionados a la lectura en lenguajes alfabéticos. Las regiones convergentes tanto los lectores con problemas y sin problemas fueron la LIFG y la circunvolución frontal superior izquierda. Para otra parte de estudios en los idiomas considerados mostraron diferentes regiones que se activan con la ejecución de tareas relacionadas con la lectura. Para los lectores con dificultades se encontró actividad en las regiones izquierda y derecha frontales, y en las regiones parietal y occipital cuando completaron las tareas de lectura, mientras que los lectores típicos tuvieron activación robusta en la circunvolución fusiforme y en la región frontal inferior. Los lectores con problemas tienen un conjunto de regiones más distribuida que muestra activaciones significativas cuando se realizan tareas relacionadas con la lectura en ambos hemisferios cerebrales en los cuatro lóbulos. Para los lectores con problemas los clústeres más grandes fueron detectados en la insula izquierda y derecha, que fueron de tamaño más pequeño al ser comparados con los que se hallaron para los lectores típicos.
Descripción breve	Aportación	Metodología empleada	Resultados
<p>Preliteracy signatures of poor-reading abilities in resting-state EEG (Schiavone et al., 2014).</p>			
<p>Considerando que la dislexia puede ser hereditaria, en esta investigación se busca en función de las características lectoras de adultos al realizar ciertas pruebas sus hijos sean clasificados ya sea como lectores deficientes o normales. Con base en ello, se busca detectar las correlaciones neurofisiológicas relacionadas a la dislexia por medio de EEG tomados a los niños que están en edad de pre alfabetización.</p>	<p>Los dos grupos de niños considerados para este estudio mostraron diferencias en la amplitud espectral normalizada de los EEG tomados en estado de reposo, para el grupo fluido tiene una menor amplitud en la banda de frecuencia delta y una mayor amplitud en la banda alfa identificadas en varias regiones del cuero cabelludo que las que se encontraron en los niños con dificultades. Estos resultados mostraron correlación con la herencia de sus padres y los puntajes que se obtuvieron al practicarles pruebas de comportamiento, sugiriendo que como un todo puede ayudar a indagar sobre los mecanismos fisiológicos que podrían llevar a detectar una predisposición a que los niños desarrollen discapacidades de lectura.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Medición de las capacidades lectoras de ambos padres por medio de pruebas con tareas de lectura de palabras y de pseudopalabras. Razonamiento verbal con la subprueba de Similitudes en Escala de Inteligencia para adultos de Wechsler. Los niños tuvieron tres mediciones (al inicio y final del segundo grado y en la mitad del tercer grado) con pruebas de listas de una o dos palabras y pseudopalabras. Aunado a aplicación de pruebas cognitivas, dos subpruebas que pertenecen Escala de Inteligencia de Wechsler para niños y pruebas de comportamiento (Tareas automatizadas de nombramiento rápido) para medir las habilidades relacionadas a la lectura. A los EEG se les aplico un Análisis Independiente de Componentes. Los datos obtenidos de los EEG se les aplico el Análisis Espectral y Análisis Estadístico con ANOVA Análisis estadístico con ANOVA para los datos de comportamiento. 	<ol style="list-style-type: none"> El grupo de niños que no poseen fluidez para leer presentan deficiencias en conciencia fonológica, denominación rápida y conocimiento ortográfico. Los grupos no difieren en las subpruebas de inteligencia no verbales. Los niños que son diagnosticados con dislexia tienen bajos puntajes en las pruebas de vocabulario y pobres habilidades verbales. Los niños que tienen riesgo de no desarrollar fluidez en la lectura tienen deficiencias subclínicas de lectura posiblemente como resultado de una responsabilidad más alta. En la región centro-parietal del cuero cabelludo se encontró la banda delta y en la región central y parieto-occipital la banda alfa. Los niños con posibilidades de desarrollar dislexia ya presentan actividad cerebral diferente en los EEG a la edad de 3 años. Las amplitudes relativas de alfa y delta se identifican como biomarcadores de la habilidad futura para leer. Estos tienen

		<ul style="list-style-type: none"> Análisis de Correlaciones para cada canal para las correlaciones entre los datos de comportamiento y los neurofisiológico. 	<p>correlaciones con las pruebas de comportamiento.</p> <p>8. La amplitud relativa delta tiene correlaciones con la fluidez en lectura, conciencia fonológica y con los números de tareas automatizadas de nombramiento rápido. Estas correlaciones aparecen en las regiones frontal, central y pario-temporal. Regiones similares (frontales, centrales, pario-temporales y occipito-parietal) muestran correlaciones con el conocimiento ortográfico.</p> <p>9. La amplitud relativa alfa tiene correlaciones fuertes en sitios centrales y correlaciones con desempeño en tareas ortográficas en la región occipital.</p> <p>10. Correlaciones en sitios occipitales son más evidentes en las tareas ortográficas donde el procesamiento de información visual tiene lugar.</p>
Descripción breve	Aportación	Metodología empleada	Resultados
Children with specific Language impairment and their contribution to the study of Language development (Leonard, 2014).			
<p>Se muestra como los niños con discapacidad específica del lenguaje pueden proveer información importante acerca del desarrollo del lenguaje, comparando las áreas que se superponen entre los niños con discapacidad y aquellos que tienen un desarrollo normal.</p>	<p>Se sugiere que la información obtenida de niños con discapacidad específica puede permitir indagar cómo la tipología del lenguaje tiene su rol en el desarrollo del lenguaje, las edades en las que podría ser mejor que los niños obtengan detalles particulares lingüísticos, la robustez de ser bilingüe y su ventaja para los niños, el rol de las entradas en la adquisición de detalles gramaticales, la influencia involuntaria de las demandas de procesamiento durante la evaluación del lenguaje y el estudio de las diferencias individuales en los niños mientras se desarrolla el lenguaje.</p>	<p>Revisión de áreas que se superponen entre niños con discapacidad específica del lenguaje y aquellos cuyo desarrollo es normal.</p>	<ol style="list-style-type: none"> El lenguaje de niños con discapacidad tienen una importante importancia en las tareas de repetición que no involucran palabras que son despojadas de significado y sintaxis, lo cual sirve para determinar el grado en el cual la tipología interactúa con el desarrollo del lenguaje. Se sugiere que los niños con discapacidad son candidatos para participar en estudios para determinar la edad en la que un niño debido a su edad biológica se encuentre limitado para alcanzar logros lingüísticos particulares. Los niños con discapacidad pueden ser bilingües ya que no tienen una capacidad limitada en cuanto al espacio mental de almacenamiento, el problema parece referirse a las aptitudes para el aprendizaje del lenguaje. El tener discapacidad específica del lenguaje implica que es necesario un mayor tiempo y exposición al lenguaje antes de que el ajuste de parámetros tenga lugar, esto serviría de auxilio a los investigadores para generar hipótesis acerca de la naturaleza de una inapropiada extracción de entradas en el lenguaje. El procesamiento de demandas en el desempeño del lenguaje a través de la determinación de del grado en que el puntaje de los niños en las pruebas de lenguaje refleja el conocimiento que tiene del lenguaje como opuesto a su habilidad de manejar las demandas de procesamiento que las secciones de un prueba solicitan, al mantener en la memoria las características de los objetos y solicitar la interpretación de la sintaxis y el contenido léxico.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la Tabla 1, los estudios presentados usan una mezcla de métodos comportamentales y neurales correlacionales para definir las actividades que permitirán la medición de una determinada variable en las personas bajo estudio. El método comportamental determina la conducta que puede observarse directamente, ya sea el tiempo o la exactitud de una respuesta en los sujetos, persiguiendo extraer conclusiones sobre las representaciones internas y el procesamiento a partir de las respuestas directamente observables, con base en dos cuestiones primordiales: (i) la exactitud con la que los sujetos de estudio realizan una tarea, abordando de esta forma una amplia serie de tipos de procesamiento, (ii) la medición de cuánto tiempo tardan los sujetos en responder cuando han de emitir un juicio, por ejemplo, puede ser cuantificado como las estimaciones de confianza de que un individuo recuerde la información correctamente o como registros acerca de la perspectiva de lo que las personas dicen que están haciendo mientras trabajan en un problema. Sin embargo, este método es incompleto, ya que no proporcionan un cuadro íntegro de los procesos subyacentes, a causa de las compensaciones entre estructura y proceso.

Las compensaciones anteriores hacen necesario que el método comportamental se suplemente con el uso de métodos neurales correlacionales, los cuales permiten a los investigadores demostrar qué zonas concretas del cerebro participan en etapas específicas o dan lugar a representaciones particulares y, con ello, sugerir una idea de cómo es el funcionamiento del cerebro humano. Esta revelación de la actividad mental, que se asocia con el procesamiento de la información, no implica necesariamente que la zona activada registrada sea la que está trabajando o la única involucrada en la tarea que el cuerpo está realizando, ya que las múltiples conexiones en el cerebro podrían propiciar la estimulación de zonas aledañas a las que realmente tienen un papel funcional en el procesamiento (Smith y Kosslyn, 2008). La selección de la técnica de electroencefalografía para las investigaciones de la Tabla 1 responde a que el equipo a pesar de su mala resolución espacial con respecto a otros métodos, es excelente en resolución temporal, aunado a su baja nocividad y costo.

A través de estos estudios, los investigadores han podido: (i) generar opiniones acerca del desempeño de la electroencefalografía y compararla con el resto de las existentes, (ii) sugerir las posibles partes del cerebro involucradas en las dificultades en el aprendizaje y (iii) emplear pruebas que poseen rangos y sirven como parámetro para realizar interpretaciones, junto con el conocimiento generado de la experiencia de los investigadores o expertos en la materia y, con ello, obtener hallazgos.

Para los descubrimientos se utilizan teorías cognitivas que están limitadas por los datos que ha sido posible obtener del cerebro humano; si bien dichas teorías no determinan las suposiciones, si limitan el alcance de lo que puede proponerse, ya que son válidas sólo cuando los investigadores demuestran que regiones diferentes del cerebro llevan a cabo uno o varios procesos cognitivos. En estas teorías se emplean herramientas lineales (análisis estadístico, espectral, tiempo frecuencia, entre otros), cuyos sesgos, si bien permiten su adaptación a procedimientos lineales, sacrifican fidelidad en la representación del mundo real, que pueden dejar de ser fehacientes cerca de umbrales no lineales (Smith y Kosslyn, 2008) (Francois, 2004).

Por lo anterior, se torna pertinente buscar un enfoque distinto y complementario para el estudio de las dificultades en el aprendizaje, cuyo alto nivel de complejidad denota no linealidad (Martínez, 2014), donde es necesario un carácter transdisciplinario que tenga aplicaciones en un amplio rango de campos en cualquier plano del dominio del ser buscando descubrir orden, regularidad, invariancia, etc. (Francois, 2004). En este trabajo de investigación se propone considerar un enfoque (sistémico) de pensamiento posmodernista para abordar la complejidad, complementado con el método analítico y dar forma al pensamiento complejo para entender la integridad del sistema en estudio como un todo. Por ello, en la Tabla 2 se muestran la metodología, resultados y la aportación en la aplicación de la Geometría Fractal para el estudio de diferentes procesos fisiológicos y sistemas del cuerpo humano.

Tabla 2. Estado del arte de estudios de procesos fisiológicos aplicando la Geometría Fractal.

Descripción breve	Aportación	Metodología	Resultados
A high-performance seizure detection algorithm based on Discrete Wavelet Transform and EEG (Cheng, Xiang y Bao, 2017).			
Se detectan ataques epilépticos a través del análisis de EEG por medio del uso de la Transformada Discreta de Ondículas (TDO) cuyos ajustes óptimos se determinan a través de un algoritmo, permitiendo mejorar la exactitud y disminuir el costo de detección, al remover las redundancias en las series de tiempo analizadas.	Guía para la construcción de un algoritmo de alto rendimiento para la detección con una alta exactitud de convulsiones a un bajo costo computacional basado en TDO y EEG. La exactitud de este método, en la detección de las convulsiones, es sensible al nivel de descomposición en cualquier caso de ondícula madre al clasificar algunas señales complejas de EEG, de otro modo no se ve influenciado. Se considera que, debido a las diferencias entre las estructuras de los conjuntos de datos de los EEG, distintas características y bandas de frecuencia tienen variados significados en la detección de las convulsiones.	<ol style="list-style-type: none"> Método de análisis generalizado asistido por computadora de los EEG para la detección con exactitud y a bajo costo de convulsiones. El método se basa en la búsqueda de la óptima combinación de cuatro factores: ondícula madre, nivel de descomposición, banda de frecuencia y coeficiente característico de TDO. El método fue aplicado a dos conjuntos de datos provenientes del MIT y del UBonn. Los resultados de la aplicación fueron comparados con los resultados obtenidos del empleo de los algoritmos existentes, basado en ondículas a los conjuntos de datos del MIT y UBonn. 	<ol style="list-style-type: none"> Las ondículas madre deben ser seleccionadas de acuerdo a las propiedades de los registros de EEG de cada paciente, ya que una frecuencia de banda específica corresponde a un cierto ritmo de EEG. Seleccionar su nivel de descomposición adecuado muestra el efecto de la ondícula madre. La selección de la banda característica y el apropiado nivel de descomposición permiten mejorar la exactitud con la que son detectadas las convulsiones y remover la redundancia característica. En los datos del MIT el nivel de descomposición afectó notablemente en la exactitud, hecho que fue independiente de las ondículas madre. El mejor elemento de cada familia y su nivel óptimo de descomposición fueron utilizados para la selección de la banda característica (Ondícula coif 3 utiliza 7 características de 3 bandas). En el conjunto de UBonn, el más alto nivel de exactitud se logra a un nivel de descomposición bajo, por lo que la

			<p>ondícula y el nivel de descomposición que logren una exactitud por encima del 95% es utilizado en la selección de la frecuencia característica. En caso de que en una familia de distintas ondículas logren el propósito, se selecciona la ondícula que tenga el momento de desaparición más pequeño. La ondícula apropiada para este caso en particular es la sym 2 con 5 características en una banda de frecuencia.</p> <p>5. El método es robusto, al poder superar las diferencias individuales entre los EEG de las personas, y ser un método superior a los existentes en exactitud, al lograr un 90% para ambos conjuntos de datos, a diferencia de otros métodos que alcanzaron el 90% para los datos de UBonn y el 12.65% en la información del MIT.</p>
Multifractal approach to the analysis of crime dynamics: Results for burglary in San Francisco (Melgarejo y Obregon, 2017).			
<p>Muestra evidencia de la posibilidad en la caracterización determinística, altamente dimensional y como fenómeno caótico de la compleja actividad criminal a través del análisis fractal/multifractal, basado en espectro de potencia de la actividad de robo reportada por 10 distritos policíacos en San Francisco, lo que implica el poder entender su dinámica desde la perspectiva caótica y geométrica.</p>	<p>La existencia de multifractalidad en el fenómeno criminal, a través del análisis de sus patrones con un marco basado en el uso de herramientas fractales/multifractales (caos, teoría de la información y procesos estocásticos), hace necesario el que se desarrolle el estudio desde una perspectiva de la Teoría dinámica de Sistemas o por medio de secuencias de información, que permita la cuantificación del caos, modelado y que brinde la posibilidad de predicción de datos criminales. Los patrones informativos encontrados revelan varios de los artefactos que aparecen frecuentemente sobre la dinámica atractora, conformada por el espacio de fase, los cuales podrían servir para generar conocimiento que permita la elaboración de políticas dinámicas que propicien realizar algún tipo de prevención y control. Se sugiere que el análisis se realice con datos de distintas ciudades y países, con el fin de indagar la naturaleza de la criminalidad.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Leyes de potencia. 2. Dependencia a largo plazo y proceso estocástico caracterizado como 1/f. 3. Análisis multifractal. 4. Detección de caos en series de tiempo observables por medio del Teorema incrustado de Takens. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. El exponente de Hurst del proceso confirma dependencia a largo plazo, pero no fuerte, aunque la clasificación de los datos reportados diariamente se organizan similarmente al de los pasos de la jerarquía del conjunto de Cantor. A menor tamaño del distrito, menor el número de delitos y menor es el valor del exponente de Hurst. A mayor tamaño, mayores delitos y mayor exponente. 2. La caracterización de los intervalos de tiempo entre eventos criminales consecutivos para cada distrito mostró que cuando el espectro de potencia tiende a ajustar a la secuencia armónica (error cuadrado promedio), su valor podría estar organizado de acuerdo a la segunda regla de jerarquía. 3. A pesar de la organización jerárquica del espectro de potencia en la caracterización del intervalo de tiempo entre eventos criminales, emerge una ley de potencia con jerarquía auto-similar, mostrando que los eventos criminales tienen una duración similar para todos los distritos. 4. Las ofensas criminales en San Francisco muestran una organización multifractal. Su análisis multifractal muestra que existe una correlación débil para los primeros cien días, con respecto al número de crímenes diarios en toda la ciudad.
Two sides of the same coin: ERP and Wavelet analyses of visual potentials evoked and induced by task-relevant faces (Van del Lubbe, Szumska y Fajkowska, 2016).			
<p>Se realiza un experimento con expresiones faciales emocionales en 123 individuos, cuyos EEG se registraron y examinaron computando los potenciales relacionados (ERPs). Los datos brutos de los EEG y los ERPs fueron analizados mediante la realización de ondículas, después de múltiples regresiones se pretende mejorar el entendimiento que se tiene de los EEG y clarificar su relación con los ERPs.</p>	<p>Los componentes P1, N1 y P2 pueden, en general, ser descritos como oscilaciones transitorias en las bandas α y θ. La contribución de la potencia inducida (PI) a la potencia total (TP) es mayormente más grande que la potencia evocada (EP), lo cual confirma que enfocarse en la EP significa ignorar una parte importante de la actividad relacionada con el estímulo. Finalmente, no se obtuvo apoyo fuerte que implique cuál de los dos modelos (Reinicio de fase o evocado) es válido, lo cual implica buscar, desarrollar y probar nuevas perspectivas del origen de los ERPs.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análisis de ondículas ERPs individuales para obtener el potencial evocado en diferentes bandas de frecuencia relacionada al estímulo no-go. 2. Extracción de la potencia en siete bandas de frecuencia (de theta a beta) separadas en siete pasos logarítmicos. 3. Se utilizó un análisis de regresión múltiple lineal paso a paso para obtener la relación entre la amplitud del ERP y la potencia obtenida en diferentes bandas de frecuencia. 4. Análisis de ondículas aplicado al promedio de la potencia total de EEG. 5. Determinación del promedio de la potencia total (PT) del EEG para cada banda. 6. Estimación de la potencia de base (PB) en distintas frecuencias de base relativa al inicio del estímulo. 7. Uso de logaritmo base diez para calcular los valores de potencia a los cuales se les aplicó análisis estadístico, por medio de un software. 8. Aplicación de tres diferentes modelos de regresión lineal múltiple en los estímulos no-go en tres bloques (feliz, enojado y triste). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los componentes P1 (intervalo de 80-100 ms), N1 (intervalo de 120-140 ms) y P2 (intervalo de 200-220 ms) pueden describirse, en general, como oscilaciones transitorias en las bandas α y θ, lo que indica el alcance con el que los componentes del ERP pueden ser prontamente descritos como oscilaciones en frecuencias de bandas específicas. 2. Parece ser posible de estimar por separado las contribuciones del potencial evocado, la potencia de base y la potencia inducida hacia el total de potencia de EEG. En este caso, la contribución del potencial inducido es más grande que el del evocado. 3. No fue encontrada evidencia contundente que indique si el modelo de reinicio de fase que propone que la potencia de base predice el potencial evocado es lo más válido. Tampoco se encontró certidumbre contundente acerca del modelo evocado donde la potencia de base y el potencial evocado no están relacionados. 4. Se sugieren algunos modelos que podrían ser de utilidad para las amplitudes o la relación entre los distintos componentes, tales como la variación contingente negativa, el modelo de reorganización de fase o el relacionado con el evento.

Automatic Sleep Spindle Detection and Genetic Influence Estimation Using Continuous Wavelet Transform (Adamczyk, Genzel, Dresler, Steiger y Friess, 2015).

<p>Se sugiere un nuevo algoritmo de detección de husos de sueños o ritmos sigma, por medio del uso de la transformada continua de ondículas. Estos husos u ondas sinusoidales representan patrones discretos e intermitentes de actividad cerebral que se observan en los datos de encefalografía de humanos, debido a que tienen un papel en el desarrollo, aprendizaje, desórdenes neurológicos y neuroplasticidad. Para su validación, es comparado con un registro humano de los husos y el algoritmo SIESTA, el cual se aplicó a los datos de consolidación de memoria, con el fin de mejorar el conocimiento que se tiene de las correlaciones existentes entre la densidad de husos de sueño en un EEG y la consolidación de la memoria declarativa.</p>	<p>Se muestra un algoritmo de detección automática de husos de sueño, basado en la transformada continua de ondículas que localiza tanto husos rápidos como lentos en frecuencia para cada individuo y estima la amplitud de señal para cada canal de EEG investigado, éste se comparó con el algoritmo SIESTA y un anotador humano.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Algoritmo SIESTA. 2. Análisis estadístico de los EEG, (coeficiente de correlación de Matthews y Cohen's kappa). 3. Correlación de Pearson. 4. Análisis de varianza genética en gemelos monocigotos y dicigotos. 5. Coeficientes de correlación intraclase. 6. Transformada Rápida de Fourier, realizada en una ventana de 4 segundos de Hanning. 7. La detección y clasificación de las oscilaciones del sueño. 8. Transformada continua de ondículas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. La detección de los husos se realizó por medio de la transformada continua de ondículas (ondícula de Morlet). Se muestra una cantidad similar de husos de sueño detectados entre el algoritmo automático de detección y el detector SIESTA, lo cual sugiere que esta es la combinación más alta posible de sensibilidad y precisión. 2. Existen correlaciones positivas entre la densidad de husos de sueño y la consolidación de la memoria declarativa, pero no pudo ser reproducida. 3. El algoritmo SIESTA no distingue entre husos rápidos o lentos, ya que el umbral de detección no está individualmente ajustado de acuerdo a la amplitud de la señal. 4. En la etapa dos del sueño se encontró que el acuerdo es de carácter moderado entre el anotador humano y ambos logaritmos (SIESTA y automático); es en esta etapa dos donde se encuentra la mayor discrepancia en correlaciones de actividad de huso de sueño por sujeto de estudio. 5. Se aplicó el algoritmo automático en los datos de consolidación de la memoria relacionado con el sueño, previamente analizados por medio del detector SIESTA, sin aportaciones significativas para el conocimiento acerca de la consolidación de la memoria y los husos del sueño. 6. Existe una fuerte influencia genética de la variabilidad de todos los parámetros de los husos de sueño, en la morfología de los husos rápidos y un efecto genético débil en varianza de los parámetros de cuantificación de husos rápidos.
---	--	--	---

Fractal dimension of EEG activity senses neuronal impairment in acute stroke (Zappasodi et al., 2014).

<p>Se sugiere que el cerebro humano es un sistema auto-organizado que muestra auto-similitud en diferentes escalas espacio-temporales, por lo que la complejidad de su dinámica se espera que sea cuantificada por sus propiedades de invariancia de escala, con lo cual sea posible generar una hipótesis donde la dimensión fractal de la señal de electroencefalografía sea sensible a la disfunción neuronal, haciendo posible evaluar dos procesos (pronóstico de recuperación y el impedimento clínico) en un paciente que ha sufrido un accidente cerebrovascular agudo.</p>	<p>La dimensión fractal es un buen indicador de la complejidad de las señales de los EEG, sensible al impedimento clínico en la fase aguda de la lesión cerebral, lo que provee un pronóstico de recuperación vía la asimetría inter-hemisférica. La dimensión fractal mostró ser más pequeña en pacientes con lesiones cerebrales que en sujetos sanos, esto se debe a que está asociada con el estado clínico de la lesión, el incremento de la actividad oscilatoria del tipo α y la disminución de las ondas tipo β. La dimensión fractal de los pacientes captura la pérdida de complejidad, reflejada en la disfunción global del sistema debido al daño estructural, lo que revela que la actividad neural, auto-similar, multi-escala disminuye por la lesión anatómica.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Técnica de estandarización de electrodos de referencia para estandarizar las grabaciones de los EEG. 2. Análisis de componentes independientes para eliminar artefactos de los EEG. 3. Algoritmo de Higuchi para el cálculo de la dimensión fractal de cada canal de EEG y para cada hemisferio cerebral. 4. Cálculo de la densidad de poder espectral para cada canal de EEG a través del procedimiento de Welch. 5. Espectro de potencia relativo. 6. Entropía espectral para cuantificar la riqueza del espectro. 7. Correlación de Spearman entre los valores de la dimensión fractal y el índice de asimetría. 8. Correlación de Pearson entre la dimensión fractal y una efectiva recuperación. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se encontró una fuerte correlación entre el puntaje de escala de derrame, en cuanto es generada, y el volumen de la misma, sin ninguna relación con la edad de la persona. Una correlación positiva fue hallada entre la banda de poder en bandas de frecuencia bajas y la dimensión fractal. Esto sugiere que el exponente de la ley de potencia correlaciona positivamente con la dimensión fractal, y a su vez es diferente entre pacientes y personas sanas, identificando diferencias en los valores promedio en la banda de potencia espectral. 2. Existe una correlación positiva entre la dimensión fractal y la recuperación efectiva, la cual a su vez está correlacionada negativamente con el puntaje de escala de derrame en la fase crucial y no se encontró ninguna relación entre la edad, género y el volumen de la lesión. 3. El valor promedio de la dimensión fractal sobre todos los electrodos del EEG fue más pequeño en los pacientes, que el encontrado en el grupo de control. 4. Los valores de la dimensión fractal, tanto de los pacientes como los sujetos sanos, son mayores en la región frontal y parieto-occipital. Una disminución en la dimensión fractal está asociada a un peor estado clínico. 5. En los pacientes con lesiones fue encontrada una gran diferencia entre los valores promedio de la dimensión fractal entre hemisferios, encontrando los valores más bajos en el lado lesionado. Adicional su dimensión fractal no se correlaciona con el volumen de la lesión y no fue encontrada diferencia entre pacientes y sujetos sanos.
---	---	---	--

Spectral asymmetry and Higuchi's fractal dimension measures of depression electroencephalogram (Bachmann, Lass, Suhhova y Hinrikus, 2013).

<p>Compara dos métodos de análisis de EEG: uno de enfoque lineal, el índice de asimetría espectral, y otro</p>	<p>Ambos métodos ofrecen una distinción clara de las características depresivas en un</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Índice de asimetría espectral (SASI). 2. Dimensión fractal de Higuchi. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. El método lineal (SASI) tiene la ventaja de proveer una diferenciación simple entre los sujetos de control y los
--	---	--	---

<p>no lineal, la dimensión fractal de Higuchi. De manera general, el estudio muestra que ambos métodos de análisis poseen una buena sensibilidad para la detección de propiedades características de la depresión en un solo canal de EEG.</p>	<p>canal único del EEG, revelando marcadas diferencias entre los grupos de control y depresivo. Comparados con otros métodos, estos dos enfoques (lineal y no lineal) permiten la detección de la depresión por medio de algoritmos simples y fáciles de calcular, además de usar un único canal de señal de EEG. Es necesario realizar investigaciones más extensas de estos métodos con bases de datos más amplias e independientes, ya que distintos desórdenes cerebrales, diferentes a la depresión, pueden causar alteraciones similares en las mediciones.</p>	<p>La probabilidad de diferenciación entre sujetos con depresión y de control, con base a lo calculado o valorado por los métodos, fue evaluado por medio de dos distribuciones de cola pesada con varianzas de dos muestras desiguales.</p>	<p>depresivos (positivo-negativo), por lo que la dimensión fractal brinda una discriminación complicada entre el grupo depresivo y el de control, debido a la relativamente pequeña diferencia entre los valores de la dimensión.</p> <ol style="list-style-type: none"> En todos los canales, el método SASI muestra claramente valores promedio positivos para depresivos y negativos para sujetos de control, apareciendo sus mayores diferencias en los canales parietales entre el grupo de control y el depresivo. Como método no lineal, la dimensión fractal de Higuchi (HFD) muestra una mayor sensibilidad, comparado con SASI, lo que fue visualizado en el área posterior del cerebro con una menor variabilidad natural de la señal del EEG. En ambos grupos (depresivo y control) el método SASI tiene un índice del 85% de sujetos correctamente clasificados, el método HFD tiene un índice del 85% de sujetos correctamente señalados. Estadísticamente, en el método no lineal se nota una diferencia significativa entre los canales temporal, parietal y occipital entre los grupos de control y depresivos; este último muestra una clara tendencia a incrementarse. SASI no mostró diferencia estadísticamente significativa en los valores entre canales simétricos. HFD mostró que la diferencia de asimetría interhemisférica parece ser estadísticamente no significativa entre el grupo de control y el depresivo. El valor de la dimensión fractal promediado, en todos los canales, es más alta en el grupo depresivo.
<p>Detrended fluctuation analysis of EEG signals (Márton, Brassai, Bakó y Losonczi, 2013).</p>			
<p>Análisis de las señales obtenidas de los EEG para verificar si poseen una estructura de invariancia de escala, comparando los registros de estructuras fractales y su comportamiento en rangos de frecuencias bajos y largos.</p>	<p>El análisis sin tendencia de fluctuación (DFA) puede usarse como una medida robusta para dinámicas oscilatorias que capturan diferentes características de la actividad cerebral, en comparación con el análisis estadístico clásico, a través de sus múltiples herramientas. La posición y forma relativa del espectro multifractal es determinante para la identificación e interrelación de eventos fisiológicos.</p>	<p>1. Análisis sin tendencia de fluctuación (DFA).</p>	<ol style="list-style-type: none"> El espectro multifractal indica las inclinaciones de las series de tiempo, una vez que se han removido las tendencias en las fluctuaciones. DFA debe usarse para asegurar que las series de tiempo biomédicas tienen ruido en su estructura. En una escala corta o larga, el análisis de cualquier orden permite tener una visión de la unión neural en el origen de la señal analizada. DFA es reconocido como un método para analizar las propiedades de escalamiento de señales no estacionarias y permite la caracterización de series de tiempo no estacionarias multifractales.
<p>Scaling behavior of EEG amplitude and frequency time series across sleep stages (Kantelhardt, Tismer, Gans, Schumann y Penzel, 2013).</p>			
<p>Estudio de las propiedades de persistencia en las correlaciones a corto y largo plazos de las amplitudes y frecuencias en las oscilaciones de EEG, obtenidas durante el período de vigilia y el sueño.</p>	<p>La comparación de la persistencia o auto-correlaciones en amplitud y frecuencia de EEG, con las de la respiración y ritmo cardíaco, indican que las correlaciones a corto plazo de la presión sanguínea y el ritmo cardíaco son más fuertes en amplitud que los EEG y tienen una pronunciada dependencia a la edad. Las correlaciones a largo plazo del ritmo cardíaco son comparables en amplitud con los EEG y muestran una dependencia similar en los estados de vigilia; esto se replica en el caso de la comparación de EEG con la respiración.</p>	<p>1. Análisis sin tendencia de fluctuación (DFA).</p>	<ol style="list-style-type: none"> Los valores de los exponentes de escalamiento, que se dan durante el sueño, poseen fluctuaciones grandes, le siguen en número los de vigilia y, por último, con fluctuaciones cortas, se encuentran las que se suscitan en la etapa de sueño profundo. Algunas de las frecuencias de las series de tiempo muestran escalamiento a largo plazo, dependiendo de las bandas seleccionadas y de las fases. En pacientes con depresión, ansiedad o enfermedad de Parkinson se muestran desviaciones menores.
<p>Phased transitions in physiologic coupling (Bartsch, Schumann, Kantelhardt, Penzel e Ivanov, 2012).</p>			
<p>Estudio que busca sustentar cómo los sistemas cardíaco y respiratorio ajustan sus ritmos, a pesar de las continuas fluctuaciones en su dinámica compleja; se estudia la fase de sincronización de los intervalos del ritmo cardíaco y los ciclos de respiración.</p>	<p>Las variables fisiológicas, relacionadas con los mecanismos regulatorios de los sistemas cardíaco y respiratorio, influyen en la arritmia, pero no afectan la fase de sincronización cardio-respiratoria. La regulación del sueño tiene un efecto contundente en el acoplamiento cardio-respiratorio. La fase de sincronización respiratoria y la arritmia sinodal representan diferentes aspectos de la interacción cardio-respiratoria.</p>	<ol style="list-style-type: none"> Estadística lineal (desviación estándar). Estadística no lineal (algoritmo que evalúa los sincrogramas cardio-respiratorios, enfoque analítico de señal, prueba de rango registrado Wilcoxon, cálculo de exponentes de correlación, determinación de leyes de potencia, análisis de porcentaje de sincronización, pruebas sustitutas para la fase de sincronización basadas en 	<ol style="list-style-type: none"> La fase de sincronización cardio-respiratoria en sujetos sanos cambia de forma dramática en las transiciones de fase del sueño y exhibe un pronunciado patrón de estratificación, con un aumento del 400% cuando pasa del movimiento rápido de los ojos, durante el sueño y la vigilia, al sueño ligero y al profundo. El balance simpato-vagal influencia, de forma considerable, la fase de sincronización cardio-respiratoria y se reduce conforme a la edad.

		la aleatorización de fase de Fourier).	
Comparing analysis of heart rate and blood pressure fluctuations in healthy subjects (Fuchs <i>et al.</i>, 2010).			
Estudio del comportamiento de escalamiento fractal de fluctuaciones en la presión sanguínea y en la respiración en ciertas escalas de tiempo.	El estudio de las fluctuaciones en las cuatro señales por los dos métodos son equivalentes. Las fluctuaciones del ritmo cardíaco en sujetos jóvenes presentan comportamiento de escalamiento homogéneo con exponentes de escalamiento similares en escalas de tiempo cortas y grandes. Las dos componentes de la presión sanguínea tienen comportamiento de escalamiento no estacionario en escalas de tiempo cortas y estacionario (similar al ritmo cardíaco) a grandes escalas. Las autocorrelaciones en respiración están relacionadas a la sensibilidad del baroreflex, pero no despliegan correlaciones, con respecto al latido del corazón y a la presión sanguínea.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análisis de promedios móviles. 2. Análisis sin tendencia de fluctuación (DFA). 3. Método de secuencia dual para la sensibilidad del mecanismo de retroalimentación baroreflex. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los métodos utilizados para comparar las propiedades de escalamiento a corto y largo plazos en los intervalos del latido del corazón son equivalentes para los cuatro tipos de señales: latido del corazón, sistólico, diastólico y presión sanguínea. 2. La regulación a largo plazo del ritmo cardíaco y la presión sanguínea es controlada de manera similar. 3. La regulación a corto plazo del ritmo cardíaco y la presión sanguínea es a través de un comportamiento no estacionario en las fluctuaciones en la presión sanguínea.
Aging effects on cardiac and respiratory dynamics in healthy subjects across sleep stages (Schumann, Bartsch, Penzel, Ivanov y Kantelhardt, 2010).			
Estudio del comportamiento de escalamiento fractal que exhiben la irregularidad del ritmo cardíaco y respiratorio en pacientes sanos, como la investigación de las fluctuaciones casi periódicas asociadas al riesgo cardíaco y las diferencias a lo largo de las fases del sueño y ser noctámbulo.	Debe considerarse la dependencia de la edad, al utilizar el coeficiente de correlaciones a corto plazo, obtenido por medio del DFA para diagnóstico de pacientes que han tenido un infarto. Se encontraron pronunciadas correlaciones a largo plazo, medidas por un coeficiente para el ritmo cardíaco y la respiración durante la fase del sueño REM; indicando un aumento en el control de más regiones cerebrales, suceso que se ausenta durante la fase de sueño NREM. La reducción en la capacidad de desaceleración indica un mayor riesgo cardiovascular durante las fases de sueño REM y el sueño profundo.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análisis sin tendencia de fluctuación. 2. Cálculo de la capacidad de desaceleración. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. La capacidad de desaceleración disminuye con la edad, es más baja. 2. Medición de las correlaciones a corto plazo en el ritmo cardíaco por medio del análisis sin tendencia de fluctuación (DFA), la cual muestra características de dependencia con la edad, ignorando la dependencia en el estado de sueño y vigilia. 3. Las correlaciones medidas difieren en las etapas del sueño NREM, cuando se comparan con las fases REM y vigilia. 4. Los resultados para los intervalos respiratorios son similares para los intervalos del ritmo cardíaco con valores del coeficiente de correlaciones a largo plazo.
EEG Cross - modulation during sleep and wake (Kantelhardt, Gans, Schumann y Penzel, 2010).			
Estudio de las oscilaciones presentes durante el sueño en EEG de sujetos sanos.	Se demostró que la modulación de la amplitud-amplitud y frecuencia-frecuencia, así como la modulación transversal y de amplitud-frecuencia, caracterizan la compleja dinámica del cerebro humano durante diferentes etapas del sueño y al estar despierto. Este enfoque puede ser de ayuda para encontrar el origen del comportamiento de escalamiento en sistemas complejos en biología, geociencia, finanzas y para estudiar los efectos de la enfermedad de Parkinson.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Técnica de análisis de amplitud y frecuencia por modulación transversal. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cuantificación de las fortalezas en las interacciones entre los componentes oscilatorios, analizando sus amplitudes y frecuencias instantáneas, y separando la modulación simultánea y la no sincronizada. 2. Superación de las limitaciones de las oscilaciones con frecuencias similares, que permitió cuantificar directamente los efectos no lineales como la modulación de frecuencias negativas o positivas. <p>De la comparación de patrones observados con aquellos datos sustitutos y su modelo, se extraen características distintivas moduladas por las etapas del sueño.</p>
Reconstructed respiration and cardio-respiratory phase synchronization in post-infarction patients (Schumann <i>et al.</i>, 2010).			
Estudio de la afectación en la sincronización de la fase cardio-respiratoria en pacientes que sufrieron un infarto.	El acoplamiento cardio-respiratorio está caracterizado, en su mayor parte, por modulaciones pico-amplitud (R), en vez de modulaciones de la frecuencia (RSA). La reconstrucción de la respiración, basada en ECG, tiene aplicaciones en la medicina deportiva o en los instrumentos utilizados para propósitos de entrenamiento. Encontrando una asociación que implica un alto riesgo de mortalidad con un reducido acoplamiento cardio-respiratorio.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Medición de señales, usando el software Librasch. 2. Obtención de la fase de señal para los registros de respiración real, con el enfoque analítico de señal y la transformada de Hilbert. 3. Uso de dos métodos para reconstruir la fase de respiración por la modulación de la amplitud del pico R y el otro explota el mecanismo de la arritmia respiratoria sinodal. 4. Cálculo de la capacidad de desaceleración para los cambios de sincronización en la fase cardio-respiratoria. 5. Transformada de Fourier. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. La fase de sincronización disminuye en personas que sufrieron un infarto y que tienen alto el riesgo de mortalidad o son de mayor edad. 2. Los datos obtenidos en registros de 30 minutos no son suficientes para obtener estadísticas confiables para predecir el riesgo de mortalidad, basado en la fase de sincronización. 3. Las reconstrucciones de la fase respiratoria funcionan mejor en la amplitud de picos R aplicados en los electrocardiogramas de la mayoría de los pacientes. 4. El acoplamiento respiratorio se caracteriza mejor por medio de las modulaciones de amplitud de pico que por las modulaciones de frecuencia. 5. Existe una fase de sincronización promedio más larga en la reconstrucción de las respiraciones, que en la original.
Cardio-respiratory phase synchronization from reconstructed respiration (Kuhnhold, Schumann, Bartsch, Schmidt y Kantelhardt, 2010).			
Caracterización de la dinámica y sus fluctuaciones durante la fase de sincronización.	La respiración reconstruida presenta una fase de sincronización promedio larga, por lo que una reducida unión respiratoria está correlacionada	<ol style="list-style-type: none"> 1. Enfoque analítico de señal para el cálculo de señales en la fase respiratoria. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se encontró que la mayoría de los pacientes consiguen mejores resultados en una reconstrucción basada en la amplitud de pico R, que para una basada e intervalo de tiempo

	con un alto riesgo de mortalidad y hace necesario que las mediciones necesarias para obtener los datos deben de ser mayores a 30 minutos.	<ol style="list-style-type: none"> 2. Modulación de la amplitud del pico R para la reconstrucción del proceso de respiración. 3. Medición de la capacidad de desaceleración. 	<p>latido a latido. Lo que llevo a identificar que la fase de sincronización cardio respiratoria disminuye en pacientes con alto grado de mortalidad o por la edad y que esta fase es sistemáticamente más grande para la respiración reconstruida, manteniendo su distribución.</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Los porcentajes de tiempo de sincronización están fuertemente correlacionados con la capacidad de desaceleración. 3. La fase de sincronización puede distinguir las tres clases de riesgos mortales, definidos por la capacidad de desaceleración para ambos métodos de reconstrucción e inclusive indicar el riesgo por persona, si se obtienen registros más largos con una mayor cantidad de episodios de sincronización.
Dynamics of heart rate and sleep stages in normal's and patients with sleep apnea (Penzel, Kantelhardt, Lo, Voigt y Vogelmeier, 2003).			
Explicación de la dinámica de las etapas del sueño, a través de la variabilidad de los latidos del corazón.	En el cerebro existen diferentes mecanismos de control para el sueño y la vigilia. Ambos mecanismos no se alteran si se presentan desórdenes en el sueño, únicamente se modifican los parámetros de distribución.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dinámica de las etapas del sueño, como un porcentaje de tiempo que se pasa en cada una de las fases. 2. Obtención de datos del ritmo cardiaco con electrocardiogramas. 3. Análisis sin tendencia de fluctuación. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. La fase REM presenta un ritmo cardiaco con correlaciones a largo plazo; en la etapa de sueño profundo, las correlaciones se desvanecen después de unos pocos latidos; en el sueño ligero, el ritmo cardiaco presenta correlaciones, pero sólo después de un incremento en el número de latidos. 2. Existe una fuerte interacción entre la regulación del sueño del sistema nervioso central y la regulación del sistema nervioso autónomo 3. Durante la aparición de apnea en pacientes con el desorden, se introduce una variación adicional en el ritmo cardiaco con un patrón de bradicardia/taquicardia, dejando al sistema de regulación básico del sistema nervioso sin afectaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 2, la aplicación de la Geometría Fractal o teoría de fractales a la caracterización de diversos procesos fisiológicos (como el ritmo cardiaco, forma de caminar, el sueño y la respiración en los seres humanos) ha permitido, en algunos casos, la detección oportuna de una patología y, en otros, dilucidar la dinámica global de dichos procesos fisiológicos, sin ser esencial que un experto en materia interprete los datos. De manera general, los hallazgos de estas investigaciones han posibilitado el pronóstico de enfermedades en distintos procesos fisiológicos o sistemas del cuerpo humano, así como la identificación de patrones de comportamiento, explicados a través de leyes de potencia; estos patrones colectivos han hecho posible visualizar cómo se desarrolla una enfermedad, e inclusive aportar ideas para tratamientos o terapias o plantear mecanismos de prevención o control, respectivamente. Es importante hacer hincapié en que se cuantifican los datos por medio de técnicas como los electrocardiogramas o electroencefalogramas, las cuales también han sido empleadas en las indagaciones de la Tabla 1, lo cual indica que se hace uso de forma complementaria del conocimiento generado por el pensamiento basado en medios tradicionales.

Justificación

El entendimiento de los procesos cognitivos que emergen en el cerebro humano requiere del uso de enfoques complementarios que permitan avances desde el punto de vista de pensamiento tradicional y el sistémico, con lo cual sea posible la identificación de fases que involucran relaciones, significado, aspecto interactivo y el uso de teorías que sigan una lógica no-clásica y no-lineal, sin perder de vista el todo o la integridad del sistema. Con ello, podrían plantearse nuevos caminos para elaborar tratamientos, tecnología para cuantificar la actividad cerebral a bajo costo, generar diagnósticos preliminares que, si bien requieren de un experto en lo ulterior, de inicio podrían indicar líneas de acción preventivas o correctivas inmediatas e inclusive como apoyo a la idea, no del todo aceptada, de que el cerebro humano trabaja como un todo y distintas partes funcionan al mismo tiempo para generar los procesos cognitivos.

La teoría de fractales, propuesta por Benoit Mandelbrot en 1977, estudia la complejidad en distintos fenómenos naturales, basada en la obtención no sólo de la noción de cantidad, sino también la

relación de forma y orden bajo la investigación de distintas variables que interactúan e intervienen durante los procesos relacionados, al tiempo que posibilitan descubrir patrones emergentes en los diferentes fenómenos o sistemas de las matemáticas puras, y trasladarlo hacia el ámbito físico y químico, y de éstos hacia el biológico, médico, social y económico (Martínez, 2018).

Esta herramienta cuantitativa no lineal ha contribuido a la caracterización de la dinámica colectiva de células o sistemas humanos especializados (circulatorio, respiratorio) que operan en escalas de tiempo más rápidas, los cuales fueron modelados ampliamente por procesos evolutivos que operan en escala más amplia de espacio y tiempo, haciendo posible el reconocer la percepción de las escalas, las condiciones en que se describen los sistemas, cómo los patrones cambian a través de las distintas escalas y cómo es que estas variadas escalas se influyen unas sobre otras y, en consecuencia, en los estados del sistema como un todo.

Dado lo anterior, se plantean los siguientes objetivos para la presente investigación.

Objetivo General

Generar una explicación cuantitativa de la dinámica fractal de las dificultades en el aprendizaje en el caso específico de la dislexia a diferentes escalas, con base en la teoría de fractales y dentro del marco de la Sistémica.

Objetivos Particulares

1. Establecer el marco teórico conceptual que sustente la investigación.
2. Definir el marco metodológico que soporte la investigación.
3. Caracterizar la dinámica fractal de las dificultades en el aprendizaje en el caso específico de la dislexia.
4. Analizar y discutir los resultados obtenidos.

Capítulo 1: Marco Teórico – Conceptual

1.1 Ciencia de Sistemas

La Ciencia de Sistemas surgió en respuesta a la incapacidad del enfoque reduccionista para abordar la características diversificadas y complejas inherentes a los sistemas (Makse, Havlin, Schwartz, Stanley 1996). Entiende a los sistemas a partir de los atributos que poseen (dinámica, propiedades y comportamiento), las cuales pueden presentarse en distintas formas, dependiendo del contexto sistémico, dando lugar a la visualización de continuidades y las diferencias entre las subclases de sistemas (lineal, no lineal, etc.) (Mobus y Kalton, 2015).

La Ciencia de Sistemas representa una enorme colección de marcos conceptuales que se interrelacionan y se comparten por medio de distintas herramientas, técnicas, lenguaje común y un entorno formal que posibilita abordar en un sistema la integridad e interrelación de sus distintos componentes, por medio del seguimiento de las redes de relaciones exteriores e interiores, interdependientes, causales, con emergencia de patrones inesperados e impredecibles que se encuentran en los procesos no lineales. Debido a lo anterior, es posible sugerir la dinámica que está relacionada al objeto de estudio, visualizar que las partes en cada nivel presentan distintos comportamientos, que el todo esté tomando un significado distinto al que posee cada jerarquía y entender, desde distintas visiones, la compleja naturaleza relacional de la realidad (Mobus y Kalton, 2015) (Jackson, 2003).

Este enfoque sistémico tiene un componente ontológico que abarca la integridad y las partes; asimismo, persigue indagar la naturaleza de sus límites, sus propiedades, el tipo de relaciones que constituyen cada nivel, la clase de entradas y salidas, los procesos, el medio que lo rodea y sus interrelaciones con éste. Esto implica un flujo de información, dando lugar a un componente epistemológico, que investiga qué es y cómo se obtiene el conocimiento. Combinados ambos enfoques, se generan interacciones causales entre la materia y energía, propiciando la creación continua de correlaciones de datos brutos que son convertidos en información, por medio de la distinción o selección con base en los intereses (interpretación) del sistema desarrollado, a partir de su experiencia, con lo cual será posible crear conocimiento por medio del reconocimiento de patrones o la herencia (Mobus y Kalton, 2015).

El desarrollo histórico de la Sistémica se puede establecer en tres etapas o movimientos: Fundamentos y estructuralismo, Evolución y dinámica de los sistemas y Complejidad en los sistemas (Chen *et al.*, 2002). El primer movimiento se da entre las décadas de 1940 y de 1960. Este movimiento se encuentra representado por la Teoría General de Sistemas (1950), establecida por Ludwig von Bertalanffy, la Cibernética (1942), impulsada por Norbet Wiener y Arturo Rosenblueth, y la Teoría de la Información (1940), presentada por Claude Shannon y Warren Weaver. Cada una de estas teorías, en forma general, están orientadas hacia la exploración filosófica de los fundamentos y el estructuralismo (Chen *et al.*, 2002).

En la segunda etapa, suscitada en las décadas de 1970 y 1980, se manifiestan la Teoría de la Estructura Disipativa (1977), concepto de Ilya Prigogine, Sinérgica (1977), presentada por Félix Adam, Teoría del Hiper ciclo (1977), por Manfred Eigen y Peter Schuster, y la Teoría de la Catástrofe (1970), de René Thom. Su base fue la exploración filosófica de la categoría de la evolución sistémica, presta especial atención a los problemas de esta evolución como lo son las condiciones, la dinámica y los modos en que se da. Se evoca a la evolución de los sistemas, empleando conceptos como equilibrio y no equilibrio, desorden y orden, reversibilidad e irreversibilidad, competencia y sinergia, linealidad y no linealidad, auto-organización y hetero-organización. Asimismo, considera las fluctuaciones dentro del sistema y la aleatoriedad (Chen *et al.*, 2002).

La tercera etapa, a partir de la década de 1990, estudia la complejidad dentro de los sistemas, apoyándose en teorías cuantitativas no lineales: Teoría del Caos (1963), por Edward Lorenz, Teoría de Fractales (1982), por Benoit Mandelbrot, y la Teoría de Sistemas Complejos Adaptativos (1995),

por Stuart Kauffman, principalmente. Estos investigadores estudian, de forma metodológica y epistemológica, al ser sistémico, las relaciones evolutivas y los estudios filosóficos de nuevas categorías de complejidad, así como sus aplicaciones en varios campos, con relaciones complejas de interacciones sistémicas y cambios instantáneos, prestando particular atención a la naturaleza de esos cambios, la fragmentación y el caos inherentes al sistema, así como atendiendo al problema de medición y no medición de los sistemas de información (Wu, 2007).

La Sistémica ha hecho sus mayores progresos en los últimos cincuenta años, por medio de la convergencia de distintas vertientes como la cibernética, teoría de la información, ecología, física, matemáticas, etc., dando lugar a una teoría de sistemas con posibilidades de ser multiforme con expresiones variadas y desarrollos actuales que encuentran aplicaciones en distintos dominios de las ciencias como la física, psicología, biología, ecología, dando pie a la exploración de cualquier fenómeno.

En forma general, la Sistémica ofrece distintos enfoques que pueden ser englobados en cuatro tipos: i) enfoques que buscan la mejora de la consecución de objetivos y viabilidad (Pensamiento Duro de Sistemas, Dinámica de Sistemas, Cibernética organizacional y Teoría de la Complejidad), ii) enfoques de exploración de propósitos (Suposición estratégica superficial y prueba, Planeación Interactiva y Metodología de Sistemas Suaves), iii) enfoques que aseguran imparcialidad (Heurística de Sistemas Críticos y Sintegración de equipo) y iv) aproximaciones que promueven la diversidad (Pensamiento de Sistemas Postmodernista) (Wu, 2007). El uso de estos enfoques dependerá de las características del sistema, los principios que éste cumpla y el conocimiento de las debilidades y fortalezas de cada una de las perspectivas, sin perder de vista que se busca combinar distintas disciplinas y trascender entre ellas.

1.1.1 Sistemas, propiedades y principios

Los sistemas son un conjunto de elementos interrelacionados entre sí, trabajando unos con otros en forma sinérgica, por lo que su comportamiento a través del tiempo es modelado e instruido en relación con el todo, logrando la consecución de objetivos particulares y generales. De igual forma, los sistemas comparten ciertas peculiaridades como: integridad, composición, complejidad, organización interna y estructura, pueden ser visualizados por medio de redes, contienen a otros sistemas, poseen organización jerárquica y tienen ordenamiento externo, sistema y medio ambiente. En función de qué peculiaridades posea el sistema, es posible aplicarle, en distinto grado, doce principios (Mobus y Kalton, 2015). Ver Figura 1.1.

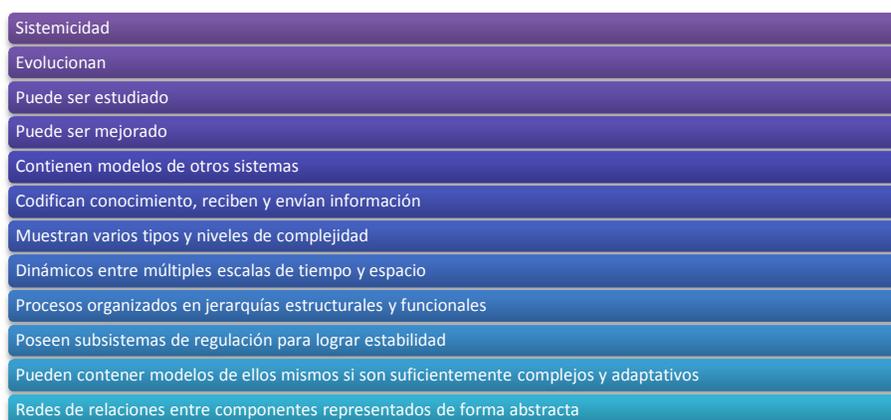


Figura 1.1. Principios de Sistemas.
Fuente: Elaboración propia con base en (Mobus y Kalton, 2015).

Para el estudio de cualquier sistema es necesario establecer sus características y los principios que cumple; ello podría sugerir una forma de seleccionar teorías y metodologías para lograr conocer la dinámica subyacente en el mismo.

1.2 Complejidad

Cualquier entidad debe su existencia a distintas condiciones frontera en el temprano universo y el resultado de una larga secuencia de eventos probabilísticos, lo que a su vez hizo posible el surgimiento de regularidades que contribuyeron a la generación de complejidad (Murray, 1995). La complejidad, por lo tanto, es una condición dada de los seres humanos, objetos, fenómenos, procesos y conceptos debido a que:

- Sus causas, efectos y/o estructura son desconocidos.
- Son sujetos a una variedad de percepciones, interpretaciones, reacciones y aplicaciones que usualmente son contradictorias.
- Producen efectos que son simultáneamente deseables y no deseables o difíciles de controlar.
- Tienen capacidad adaptativa como individuos y evolutiva como grupos.
- Poseen elementos multifuncionales que atienden al mismo tiempo varias necesidades y mantienen coherencia a través de medios de coordinación.
- Su comportamiento, dependiendo del caso, lo puede hacer impredecible, relativamente impredecible, extremadamente variable o contraintuitivo.

Para poder tener una idea de la complejidad en un sistema, se necesita determinar sus fronteras para cambiar de fases y pueda ser visto como un objeto, definir el número y tipo de componentes presentes dentro del límite o que puedan cruzar ese confín hacia el sistema, cada tipo de componentes y los que dan inicio a la jerarquía, las conexiones que pueden hacerse entre todos los componentes en un conjunto de tipos, el número de niveles jerárquicos tanto funcionales como estructurales y su profundidad, especificar la geometría del sistema con respecto a las condiciones y el balance que posee entre el cambio (caos o emergencia) y la estabilidad (auto-organización u orden) entre sus elementos que puede llegar a influenciar la coherencia global del sistema original (Fernández, Maldonado y Gershenson, 2013).

Para ello, debe considerarse que las conexiones entre los elementos son dinámicas, poseen distintas potencialidades, están relacionadas con fuerzas (atracción o repulsión) por lo que es necesario determinar tipos de energías, su diferencia y las posibilidades de que puedan afectar a los componentes en una colección de tipos, y cómo es que las especies de flujos que podrían ser influenciados por el ambiente tendrían repercusiones en las particularidades de uno o varios componentes y su modo de organizarse unos con otros, constituyendo, de esta forma, una jerarquía incremental simple de componentes o subsistemas cada vez más complejos (Mobus y Kalton, 2015).

Toda la complejidad surge de un conjunto de reglas simples de transición de fase, por lo que las formaciones de unidades complejas pueden tomar distintos caminos, dependiendo en cierta proporción de la historia del sistema y las conexiones entre los distintos elementos. Esta capacidad de modificación, conforme pasa el tiempo, permite que la complejidad de los sistemas pueda ser vista como estados, ya sea de complejidad organizada o complejidad no organizada. La complejidad organizada hace hincapié en la naturaleza de las conexiones, el nivel de entropía que prevalece en el sistema, su proceso de envejecimiento bajo las condiciones correctas, la formación de enlaces por los subsistemas, las conexiones e interacciones entre ellos, la adquisición de complejidad realizada, el proceso del sistema en minimizar la entropía interna y el hecho que lidia con un número moderado de variables que poseen interacciones de carácter fuerte y no lineal (Lloyd, 2001). Mientras que la complejidad no organizada se refiere a un estadio donde los sistemas están desorganizados, formándose y desarrollándose, conforme van capturando flujos apropiados de energía para crear subsistemas, tienen billones o trillones de elementos carentes de vínculos con comportamiento errático que poseen cierta regularidad (Lloyd, 2001); conforme va envejeciendo, buscará mantenerse en un nivel máximo de entropía, consistente con todos sus parámetros y conservar una medida substancial de complejidad potencial bajo las condiciones adecuadas. Por otra parte, el sistema puede que no se organice en todo su potencial; sin embargo, podrá tener la posibilidad de establecer una etapa para que emerjan a través del tiempo organizaciones de alto nivel, permitiéndole evolucionar hacia un nivel mínimo de entropía (Mobus y Kalton, 2015).

El aumento de complejidad está asociado a cuatro distintos y conectados procesos evolutivos: (i) estructura disipativa, que le permite compensar a través de la entropía el consumo excesivo de energía que lo lleven a emerger como un sistema nuevo más complejo o perecer; (ii) aumento en las relaciones entre los elementos; (iii) criticidad relacionada con las posibilidades de cómo pudiese ser el sistema; y (iv) comportamiento caótico y semi-determinístico, originado por eventos locales que se suscitan de forma simultánea, con cualquier red de elementos intrincados entre sí y los efectos propagados no instantáneos y desiguales que estas circunstancias crean, en un margen limitado de indeterminismo en cualquier parte de la red del sistema, permitiendo, a pesar de éstos, que el comportamiento global continúe coherente e impredecible (Francois, 2004).

Por consiguiente, la complejidad no solo se incrementa debido a la adición de una mayor cantidad de elementos a un sistema, también depende de la cantidad y forma de las interacciones entre sus elementos conformadores, logrando obtener una variedad combinatoria más rica y que se desarrolle la propiedad de que esas combinaciones sean intrincadas (formas en que se enlazan los patrones), generando finalmente que se enfatice la aleatoriedad en el sistema. La medición de la complejidad en los sistemas se podría determinar a través de tres aspectos: (i) la dificultad en describir el objeto, (ii) lo arduo de crearlo (cuantificado en tiempo, energía, etc.) y (iii) su grado de organización (dificultad de describir la estructura organizacional o la cantidad de información compartida entre las partes) (Lloyd, 2001).

Distintas visiones han dado lugar a teorías acerca de la complejidad: orgánica, fundamentada en la biología; estructural, que incluye el estado de subsistemas críticos y diferentes niveles; jerárquica relacionada a individuos de varios campos empíricos de criterios de complejidad; dinámica, estableciendo el problema de los tres cuerpos fundamentada en que la complejidad es entendida hasta que el caos emerge; sistémica, al considerar la complejidad como el resultado de interacciones entre elementos y el estudio su modo de trabajo, analizando el comportamiento de sus redes, de acuerdo a múltiples reglas individuales y la termodinámica en los sistemas irreversibles (Popper y Eccles, 1993) (Mobus y Kalton, 2015) (Lloyd, 2001). Estos enfoques han sido creados a partir del conocimiento que un observador tiene de algún sistema y se adiciona al modelo mental que éste posee; la matriz cognitiva del observador actúa como limitante, por lo que se deben considerar distintos puntos de vista y contribuir a obtener una visión del sistema que tiene una dimensión en el tiempo, formar una historia que, al ser analizada, permite calcular la complejidad y la posibilidad de abstraerla en un modelo, utilizando cualquier lenguaje que pueda entenderse por otras personas; permite cierto punto de observación y nivel de resolución que puede determinar: el orden y desorden, confirmación y novedad, predictibilidad e impredecibilidad, redundancia y variedad, señal y ruido, limitante y oportunidad, diferenciación y la no diferenciación, simetría y asimetría, entropía y negentropía.

Los niveles de complejidad desarrollados por un sistema pueden provocar su propio colapso; esto se debe a las estructuras y tipos de conectividad inherentes a él y si llegan a suscitarse eventos que funcionen como detonador, afectando al sistema en sí mismo y provocando fallas (pérdida de conectividad por entropía o medio ambiente), con respecto a las relaciones que poseen con otros sistemas. En cualquiera de los casos, el sistema, con el fin de no llegar al colapso, detecta que las alteraciones son familiares y manejables, agrega mayor complejidad que le permita manejar la situación, respuesta que en ocasiones puede no llegar a ser exitosa cuando alguno de los componentes críticos tienen procesos no lineales o bucles de retroalimentación negativa necesarios para la estabilidad del sistema. El grado de colapso varía, de acuerdo a su red estructural y la dinámica interna; mientras más compleja sea, las conexiones de una red serán más frágiles, por lo que el número y la fortaleza de los acoplamientos de cada conexión en una red compleja están determinados a largo plazo por la necesidad de mantener estabilidad, condición que genera el fin del sistema al propagarse en cascada la falla de un elemento a otro (Mobus y Kalton, 2015).

1.2.1 Clasificación de Complejidad

A. B. Cambel estableció tres categorías de la complejidad. La primera es la complejidad estática, que incluye propósito, función, tamaño y configuración; la segunda es la complejidad incrustada,

conformándose de estructura e incluye composición y constitución; la tercera es la complejidad dinámica, una categoría que incluye varios tipos de dinámica. Con base en ellas, Cambel creo 15 declaraciones heurísticas de la complejidad (Francois, 2004):

1. Puede ser encontrada en los sistemas naturales y en los hechos por el hombre, incluyendo estructuras sociales.
2. Componentes grandes y pequeños pueden vivir cooperativamente en el mismo sistema complejo dinámico.
3. Su forma física puede ser regular o irregular.
4. En general, entre más grande es el número de partes del sistema, es más posible que ocurra la complejidad.
5. Tanto la conservación como la disipación de la energía en los sistemas pueden ser sujetas a complejidad.
6. El sistema no es completamente determinístico o aleatorio, puede exhibir ambas características.
7. Las causas y efectos de los eventos suscitados en los sistemas no son proporcionales (no linealidad).
8. Partes del sistema complejo están vinculadas y se afectan unas a otras de una forma sinérgica.
9. Existe retroalimentación positiva o negativa en el sistema.
10. El nivel de complejidad depende del carácter del sistema, su medio ambiente y la naturaleza de las interacciones entre ellos.
11. Los sistemas complejos pueden intercambiar materia energía e información con su entorno.
12. Los sistemas complejos experimenta procesos irreversibles.
13. Los sistemas complejos son dinámicos y no están en equilibrio, ellos podrían perseguir un objetivo en movimiento.
14. Los sistemas complejos frecuentemente experimentan cambios repentinos, lo que sugiere que sus relaciones funcionales que los representan no son diferenciables.
15. Las paradojas existen, como la cohabitación de cuerpos orgánicos e inorgánicos, eventos rápidos y lentos.

En el mundo natural se sugiere que existe una tendencia hacia la formación de estructura con variaciones en el desarrollo del mismo código genético, siendo difícil predecir qué mutación o innovación tendrá lugar en tiempo y espacio determinado, debido al caos inherente en la naturaleza y al hecho de que situaciones simples tienen estructuras complejas y situaciones complejas pueden llegar a obedecer reglas simples; las modificaciones en tamaño y duración de las configuraciones tienen distribuciones de probabilidad que raramente son normales, por lo que los eventos excepcionales no son tan raros. Esto se debe principalmente a la intermitencia en los sistemas, saltos en el comportamiento que pueden ser de distintos tamaños y muestran en su mayoría un comportamiento exponencial, lo que implica el conocimiento de las fluctuaciones a gran escala (Goldenfeld y Kadanoff, 1999).

La información de carácter emergente (dinámica y de escala) de las interacciones entre los elementos de un sistema pueden generar los procedimientos evolutivos que dan a los sistemas complejos su capacidad adaptativa, brindándoles la competencia de visualizar en forma anticipada las consecuencia de acciones actuales y generar movimientos que permitan generar ventajas competitivas que propicien la regulación de estados internos y producir un patrón a partir de la dinámica global (Fernández, Maldonado y Gershenson, 2013).

1.2.2 Sistemas Complejos Adaptativos

Los sistemas complejos adaptativos, al ser abiertos, poseen procesos en los que intervienen intercambios de materia, energía e información; cada uno involucra una estructura evolutiva similar, por lo que poseen la capacidad de cambiar y reorganizar su gran número de componentes para adaptarse a las distintas circunstancias dinámicas de su entorno, sugiriendo que cada elemento

experimenta una diversidad de interacciones simultáneas e intente mejorar sus habilidades de clase para no colapsar durante el intercambio. Este proceso le brinda la característica de evolución e involucra a todas las partes del sistema, así como una amplia variedad de criterios individuales que dan como resultado acciones e interacciones de donde el comportamiento colectivo emerge (Holland, 1992).

Los sistemas complejos adaptativos muestran ultra-estabilidad, que se refiere a la operación normal del sistema dentro de una zona de viabilidad para lidiar con cambios ambientales; asimismo, se conforma por los límites inferiores y superiores de las variables esenciales, si el valor de la variable cruza las restricciones, al sistema se le presenta una oportunidad de encontrar nuevos parámetros que permita a las variables regresar a su zona de viabilidad, sin que el sistema colapse, tenga recompensas explícitas o información detallada de los errores. Los sistemas complejos presentan capacidad homeostática que involucra la auto-regulación, robustez y la adaptación de su comportamiento conforme pasa el tiempo, dando la posibilidad de describir su dinámica interna en el dominio molecular por medio de la autopoiesis, donde se regulan las interacciones entre sus elementos, así como la producción y regeneración de los componentes del sistema, teniendo el potencial para desarrollar, preservar y producir su propia organización. Un sistema complejo se relaciona con la autonomía limitada, ya que es un sistema abierto que depende de las interacciones con su ambiente; por ahora no existe una medida formal de la autopoiesis (MacKay, 2008) (Holland, 1992).

Los sistemas complejos adaptativos dependen de tres mecanismos clave: paralelismo, competencia y recombinación. El paralelismo permite al sistema usar reglas individuales como bloques de construcción, activar el conjunto de reglas para describir y actuar en situaciones cambiantes. La competencia permite que el sistema marque sus reglas a medida que la situación lo demande, proveyendo flexibilidad y transferencia de experiencia, lo cual es vital en los medios ambientes realistas donde los agentes reciben un torrente de información, la mayor parte irrelevante para las decisiones actuales. La recombinación juega un rol clave en el proceso de descubrimiento, generando nuevas reglas plausibles a partir de reglas probadas (Francois, 2004).

Procesos como adaptación, asignación de recursos y descubrimiento de reglas sirven de soporte a los anteriores, de forma que extraen eventos útiles y repetibles del torrente de información, incorporándolos como nuevos bloques de construcción. Al hacerlo, el sistema balancea exploración (consistente en la adquisición de nueva información y capacidades) con explotación (uso eficiente de información y capacidades que ya están disponibles) (Holland, 1992). En este tipo de sistemas existe una relación directa entre la anticipación y el comportamiento, la primera afecta a la segunda, inclusive si en dado caso las reglas creadas para la condición en particular no llegan a suceder (Holland, 1992). Un ejemplo ilustrativo de este tipo de procesos son los procesos cognitivos que emergen en el cerebro humano.

1.3 Trastornos del aprendizaje

Las distintas etapas del desarrollo de los humanos (tabla 1.1) implica el desarrollar funciones variadas tanto las más elementales como superiores, para ello es necesario la obtención de aprendizaje a través de la interrelación de factores externos (sociales, culturales), internos (biológicos) y el uso de bucles de retroalimentación. Cada fase contempla cambios biológicos cuantificables y nuevas características de la personalidad resultado de la irregularidad en la constituciones de funciones psicológicas, cuyo mejor tiempo es mientras predomina en posición en la conciencia.

Cada etapa esta interrelacionada con las anteriores, ya que los procesos psicológicos se mantienen en constante cambio hacia lo complejo, lo que implica que cualquier fallo en determinada fase implica repercusiones en las futuras. Para que cada etapa concluya con éxito se requiere el desarrollo a nivel orgánico, fisiológico, psicológico y social ver figura 1.3.

Tabla 1.1 Fases del desarrollo del ser humano.

Etapa	Edad	Características desarrolladas
Lactancia	Nacimiento – 1 año	<ul style="list-style-type: none"> • Reflejos congénitos. • Preparación psicofísica (motricidad y lenguaje). • Conciencia indiferenciada. • Percepción unida a reacciones afectivas. • Primeros pasos. • Comprensión de algunas palabras.
Edad preescolar temprana	1 - 3 años	<ul style="list-style-type: none"> • Caminar. • Ampliación de experiencias cognoscitiva (interacción con objetos). • Desarrollo del lenguaje. • Condicionamiento del pensamiento.
Preescolar	3 – 7 años	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de funciones psicológicas y características de la personalidad. • Perfeccionamiento motor. • Lenguaje conversacional. • Formación de función reguladora del lenguaje. • Cambios en percepción. • Desarrollo de memoria y pensamiento. • Formación de una relación cognoscitiva a la realidad. • Desarrollo de capacidad para obedecer reglas. • Formación de mecanismos de acción consciente.
Escolar inferior	7 – 11 años	<ul style="list-style-type: none"> • Predominancia en la conciencia del pensamiento que desarrolla mejoras en procesos cognitivos, la lógica, entre otros. • Memoria voluntaria. • Conciencia de la relación entre las causas y consecuencias de los fenómenos. • Surge la función de la atención. • Desarrollo de la interrelación e intercondicionalidad entre el lenguaje y el pensamiento para formar autoconciencia.

Fuente: Adaptado de Acle y Olmos, 1998.

Los factores de la figura 1.2 se pueden desenvolver de formas variadas, ya que cada uno depende de la persona y sus tipos de interrelaciones. Si alguno de ellos no concreta el nivel necesario para el desarrollo el niño comienza a presentar dificultades, estas pueden o no ser identificadas incluso en la etapa de la lactancia, sin embargo de manera general no es sino hasta el inicio de la instrucción escolar que son más factibles de evidenciar e inclusive son notadas por los profesores debido al bajo rendimiento escolar de los niños en comparación con su edad, compañeros y año que cursan.



Figura 1.2. Factores que intervienen en el logro del aprendizaje escolar.

Fuente: Acle y Olmos, 1998.

Las dificultades en el aprendizaje son un conjunto heterogéneo de problemas, su origen se sugiere en alteraciones del sistema nervioso central (encéfalo y médula espinal), cuyas primeras demostraciones son deficiencias en el ámbito lingüístico y en las transformaciones de información de los procesos cognitivos básicos trayendo consigo complicaciones en la comprensión y producción de la lectura, escritura y matemáticas, disciplinas impartidas en educación básica que al no ser afianzadas generan complicaciones posteriores en los siguientes niveles de escolaridad, lo que a su

vez desarrolla en el paciente problemas de personalidad, auto concepto y sociabilidad. Este tipo de trastornos no se manifiesta por igual en todas las personas ya que depende del contexto familiar, social, educativo, cultural e inclusive de las peculiaridades en la personalidad, su diagnóstico se basa en el criterio de discrepancia que se detecta entre potencial intelectual (CI) y su rendimiento (nivel de ejecución) y las diferencias entre niveles manipulativos y verbales (Fuiza y Fernández, 2014).

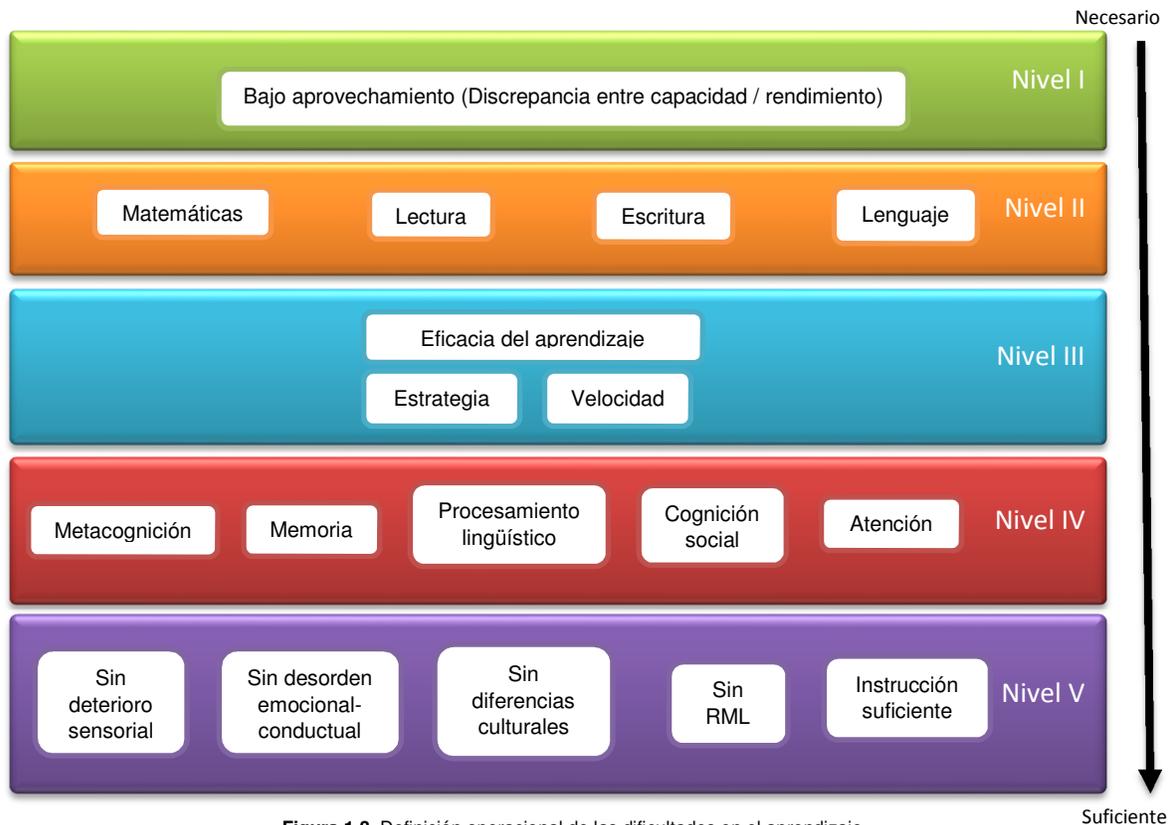


Figura 1.3. Definición operacional de las dificultades en el aprendizaje.
Fuente: Navas y Castejón, 2011.

La figura 1.3 muestra en el primer nivel las diferencias entre las capacidades esperadas y el rendimiento que muestra el niño, para el nivel dos las dificultades se ven reflejadas en las áreas académicas de la enseñanza básica, para el tercero se consideran la habilidad para organizar y estructurar la adquisición de la información y la velocidad en la que se adquiere, el cuarto nivel implica las uniones entre las dificultades en el aprendizaje y en los procesos psicológicos y para el quinto se indica la condición de exclusión para diagnóstico de las dificultades en la lectura (Navas y Castejón, 2011).

A pesar de indicar que su origen tiene un componente fisiológico comúnmente se hace hincapié en que no se generan por desventajas sensoriales, motrices, desajustes emocionales o privaciones de otros tipos. Las dificultades son transitorias y no son evidentes a nivel orgánico pero afectan la ejecución de habilidades debido a las afectaciones neurológicas; las manifestaciones evolutivas se alteran en un ámbito sin que por ello se muestren una combinación de dificultades en lectura, escritura, habla o matemáticas a pesar de que el coeficiente intelectual sea normal o alto (Fuiza y Fernández, 2014).

Tanto la Asociación Americana de Psicología (AAP) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) han determinado algunas indicaciones para diagnosticar el trastorno y especificar las inclusiones, exclusiones y las características del padecimiento. Esto si bien puede servir como guía para el diagnóstico deben considerarse la realización de pruebas que permitan conocer los procesos de desarrollo que se han alterado (inteligencia, percepción, memoria y la atención).

Las pruebas de inteligencia pueden no mostrar diferencias significativas entre los pacientes y la población sin dificultades, pero en forma cualitativa brindan índices en dificultades en control, eficacia cognitiva (perseveración, confusión, dificultades conceptuales, de razonamiento, atención, memoria y visomotora) y en lo cuantitativo determinar la discrepancia entre los resultados de la prueba de coeficiente intelectual y la de rendimiento. Las pruebas de percepción se refieren a que el paciente a pesar de tener órganos funcionales para un proceso cognitivo muestran indicios de alteraciones en la discriminación, integración, respuesta a un estímulo, problemas de lateralidad, dirección y coordinación visual – motora y perseverancia en realizar una actividad más tiempo del necesario. En cuanto a la memoria los estudios pueden mostrar presencia de deficiencias en los tipos de memoria auditiva, visual, a corto plazo, de trabajo y la de largo plazo, en cambio para el caso de la atención es posible identificar problemas en la atención selectiva y la cantidad de información a la que es posible prestar atención en un instante (Fuiza y Fernández, 2014).

Las causas de estas alteraciones en las etapas han sido abordadas por diferentes áreas con su respectivo enfoque y lenguaje (pedagogía, psicología, neurología, fisiología, etc.) éstas enfrentan pacientes que si bien pueden mostrar claras alteraciones fisiológicas, otros a simple vista no muestran signos de anormalidad (Acle y Olmos, 1998). El estudio de las dificultades en las personas para aprender ha tenido distintas etapas buscando explicar las causas que las generan, la primera (siglo XIX – 1963) atribuye los problemas a daños en alguna parte del cerebro humano, la segunda fase (1963-1990) el origen se sugiere puede provenir ya sea de procesos cognitivos o perceptivos disfuncionales o alguna anomalía cerebral que no tiene explicación evidente en las capacidades intelectuales, sensoriales o en relación con el entorno, familiar, social, cultural o educativo de los niños, esto llevó a una diferenciación entre los niños con problemas de aprendizaje y aquellos que presentaban un retraso mental o disfunción sensorial. La tercera etapa (1990 – actualidad) indica que se presenta debido al tipo de educación que recibe la persona, considerando para ello un análisis de las dificultades individuales en distintos periodos de la vida, con el fin de que desarrolle competencias similares a sus pares a partir de una intervención (Navas y Castejón, 2011).

Como respuesta a este tipo de problemas durante la segunda etapa fueron generadas las intervenciones específicas de tipo temporal o permanente con componentes educativos que difieren al comúnmente enseñado en las aulas, estas mediaciones al igual que las causas del trastorno han sido dinámicas al tomar como primera aproximación una base intervencionista de procesos, para evolucionar a la consideración de una segmentación de la instrucción directa y finalmente llegar a una mezcla cognitiva e integral (primeras etapas) que da como resultado herramientas curriculares en función de las peculiaridades de la persona buscando su integración al resto de su clase (Navas y Castejón, 2011).

Con base en lo anterior, el tipo de métodos o herramientas utilizados para ayudar a los pacientes son dinámicos y tiene como base la explicación que ha surgido de acuerdo a la época, de este modo en la primera etapa ya que las causas de esta afección son puramente biológicas se realizan intervenciones de tipo educativo, la segunda fase hace hincapié primeramente en el desarrollo y entrenamiento de los procesos psicológicos básicos, para luego pasar a el análisis centrado en tareas y finalmente llegar al procesamiento de la información, la tercera etapa se emplean estrategias de integración plena asistiendo a la educación ordinaria con los apoyos extras que necesiten y las adaptaciones.

Si bien los diagnósticos de este tipo de trastornos están basados en las discrepancias entre lo esperado y el desempeño actual de un niño, deben considerarse que el determinante para esclarecer las sospechas de padecimiento se encuentran en las respuestas a la intervención (con bases en la investigación científica) que se registran, ya que a partir de la consideración de los factores inmersos en el contexto particular del niño y sus interrelaciones podrá determinarse la intensidad y tipo de la intervención que ha de aplicarse con el fin de integrarlo al aula y obtener un diagnóstico certero (Goikoetxea, 2012).

Se consideran tres niveles de intensidad con seis pasos de procedimientos, para el primer nivel de prevención se hace uso de programas de enseñanza de calidad que mantengan una continua

evaluación de los alumnos, permita identificar de manera oportuna a aquellos que muestran rezagos encontrándose en posibilidades de desarrollar el trastorno y en un seguimiento de alrededor de dos meses sea posible determinar si requieren niveles más altos de intervención. En caso de que las deficiencias del estudiante no sean subsanadas con el programa de enseñanza general, el siguiente nivel de intervención dos indica que se brinde un tipo de educación especial en grupos reducidos de niños por parte de un especialista o profesor con las credenciales para ello, persiguiendo mejorar la enseñanza del primer nivel en un periodo de alrededor de 9 a 12 semanas con la ayuda de programas y estrategias particularizadas y con una continua evaluación. Esto le permitirá ya sea regresar a la enseñanza general al minimizar considerablemente su deficiencia, o en caso de aún no regularizarse tomar nuevamente el nivel dos de intervención o escalar al tercer nivel si sus deficiencias se mantienen en los mismos rangos o inclusive llegan a incrementarse. El siguiente nivel indica una serie de adaptaciones impartidas de forma individual o en un pequeño grupo conforme a sus necesidades identificadas en los niveles anteriores y manteniendo la continua evaluación. Este proceso con componente de retroalimentación tiene como objetivo mantener al alumno en el nivel uno, sin embargo, cabe la posibilidad de que la intervención aplicada en serie no cumpla su objetivo y sea requerida educación especializada (Goikoetxea, 2012).

1.3.1 Dificultades en el aprendizaje de la lectura

Este trastorno para aprender la lectura y sus usos generales se diagnostica durante la asistencia a la primaria, puede tener su origen prenatal y causas que no sean completamente conocidas o debido a retrasos madurativos que no permiten el completo establecimiento de las relaciones espaciales temporales, los dominios motrices, capacidad de discriminación percepto-visual, aptitud atencional, numérica, social y personal, a pesar de que la persona tenga un desarrollo de acuerdo a su edad, con capacidades intelectuales suficientes para el vocabulario, razonamiento y comprensión verbal que vive bajo un medio social, económico y cultural sin deficiencias. Esta definición si bien trata de englobar las posibles causas y consecuencias, es necesario considerar que cada paciente es distinto en cierta medida y puede tener afectación en otras habilidades como la fluidez y la comprensión lectora o el razonamiento matemático. Adicional los niños pueden presentar combinaciones de este trastorno con otros como hiperactividad, problemas en la escritura o el cálculo, etc., (Fuiza & Fernández, 2014).

La etiología de las dificultades en la lectura se ha buscado explicar por el modelo neuropsicológico o el psicolingüístico. El primero fundamenta la existencia de una base neurológica ya que para la percepción y el funcionamiento de los procesos cognitivos es necesario una participación que trabaja en conjunto con diferentes áreas de la corteza cerebral, ambos lóbulos frontales y temporal, sin que ello implique necesariamente una dificultad neurológica y solo se trate de un retraso neuroevolutivo. (Fuiza & Fernández, 2014).

El modelo psicolingüístico implica la separación de los componentes que se usan para el tratamiento lingüístico, donde lo principal es identificar que operaciones cognitivas relacionadas al procesamiento lingüístico tienen deficiencias, teniendo como base que la lectura se adquiere en tres etapas interrelacionadas, la logográfica (reconocer palabras por sus características visuales), alfabética (reconocer las formas visuales y motoras de las letras y que fonema les corresponde) y la ortográfica (relacionar unidades multigrafémicas con pronunciación, deletreo y significado), en cada una de ellas se cuenta con procesadores que permiten obtener ciertas habilidades para el dominio de la lectoescritura. Este último enfoque permite una mayor claridad en comparación con el neurológico, ya que intenta englobar distintas vertientes para abordar la dislexia (Fuiza & Fernández, 2014) (Manzano, 1991).

Este trastorno puede presentarse ya sea debido a lesiones cerebrales (adultos, niños y adolescentes) o por un desarrollo con deficiencias madurativas (niños). Teniendo como rasgos comunes problemas audio-fonológico, visoespaciales, trastornos lingüísticos, descoordinación articularia y grafomotora, trastornos perceptuales visoespaciales, de secuenciación disfonética, memoria verbal y de procesamiento sintáctico, semántico y fonológico. Sin embargo, dependiendo de la ruta que usan de forma regular para leer determina la variedad de dislexia que padecen

(fonológica, morfé mica, o visual analítica) (Fuiza & Fernández, 2014). A pesar de estas diferencias entre el tipo de ruta que es ocupada por los pacientes poseen ciertas características en común:

- Evitan leer.
- Trabajan con lentitud.
- Escriben en espejo.
- Omiten letras en una palabra.
- Les cuesta planificar su tiempo.
- Confunden derecha e izquierda.
- Su coordinación motriz es pobre.
- Invierten letras sílabas y/o palabras.
- Tienen dificultades para conectar letras y sonidos.
- Al leer rectifican, vacilan, silabea n y/o pierden la línea.
- Se dan dificultades para el aprendizaje de secuencias.
- Confunden el orden de las letras dentro de las palabras.
- Les cuesta pronunciar palabras, invierte o sustituye sílabas.
- Confunden especialmente las letras que tienen una similitud.
- Sustituyen una palabra por otra que empieza por la misma letra.
- Con frecuencia no suelen dominar todas las correspondencias entre letras y sonidos.

Ya que el aprendizaje de la lectura tiene relación con factores neurofuncionales, capacidad de simbolización, el desarrollo del lenguaje y la madurez psicoafectiva (Ver tabla 1.2). El monitoreo de estas actividades o su cuantificación permite conocer cómo es que las estructuras neurológicas procesan la información recibida del exterior, si le es posible representar en un dibujo un sonido, si su lenguaje es expresivo y comprensivo y la madurez emocional que le permita sostener la atención y guardar e integrar el conocimiento que recibe en el aula (Fuiza & Fernández, 2014).

Tabla 1.2 Factores que intervienen en el aprendizaje de la lectura.

Factores neurofuncionales:
<p><i>Percepción visual:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Distinguir colores e intensidades. • Diferenciar formas simples entre sí, los tamaños y figuras abiertas o cerradas. • Distinguir figuras integradas en un fondo confuso. • Reconocer las mismas figuras en contextos diferentes. • Diferenciar figuras de idéntica forma en posiciones diferentes.
<p><i>Percepción auditiva:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Expresión oral pobre y dificultades en la articulación de sonidos (habla infantilizada). • Falta de atención en el aula, apariencia de no escuchar, incumplir u olvidar fácilmente las consignas que se les dan. • Sensibilidad al ruido, molestias ante ruidos fuertes y/o continuos. • Dificultad para distinguir sonidos y reproducirlos en un orden determinado. • Dificultad para marcar y seguir ritmos musicales, aprender canciones o pequeñas rimas.
<p><i>Interiorización del espacio:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Interiorización del esquema corporal mediante la observación del dibujo de la figura humana (dedos, adornos, ropa) • Dificultad para adquirir los conceptos de izquierda-derecha. • Dificultad para comprender y cumplir órdenes sencillas con consignas espaciales. • Falta de definición de la lateralidad. • Evitación de juegos de construcción, rompecabezas, etc. • Dificultad para descubrir el eje corporal (parte derecha y parte izquierda del cuerpo).
<p><i>Interiorización del tiempo:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Dificultad para organizar los pasos a partir de los cuales se realizan las actividades de aula. • Facilidad para perder cosas. • Dificultad para anticipar consecuencias.
<p><i>Motricidad:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Deficiente calidad de la escritura. • Dificultad para saber los movimientos necesarios para reproducir las letras. • Dificultades en la percepción ideo-motriz (asociación sonido-figura-movimiento). ✓ Nivel corporal-global: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Dificultades en el tono muscular. ✓ Torpeza manifiesta. ✓ No seguir con el ritmo con una misma actividad o con cambios, confusión a la hora de seguir órdenes motoras simples. ✓ Falta de independencia del movimiento, al hacer uno aparece otro involuntario. ✓ Nivel normal: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Torpeza en movimientos digitales y presencia de movimientos involuntarios en la otra mano. ✓ Rigidez y crispación al realizar tratados, falta de disociación brazo-mano-dedos. ✓ Inadecuada presión del lápiz. ✓ Dificultad para controlar los movimientos como salir de la figura al colorear. ✓ Ausencia de dominancia lateral ya que cambia de mano con frecuencia. ✓ Nivel ideo-motriz: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Falta de intención representativa en sus dibujos libres. ✓ Sus dibujos muestran escasa similitud con la realidad.

<ul style="list-style-type: none"> ✓ Dificultad para repasar y copiar líneas, curvas, cenefas con enlaces simples pero que alteran tamaños y cambios de sentido.
<p>Capacidad de simbolización:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dificultad con el manejo y comprensión del lenguaje hablado. • Dificultad para reconocer y designar objetos y situaciones cotidianas. • No se capaz de implicarse en actividades de juegos teatrales. • Tendencia del aislamiento en el recreo. • Dificultades para comunicarse con los profesores y compañeros. • Dibujo perseverante, sólo con valor motriz, sin atribución de significado. • Falta de intencionalidad previa a la acción de dibujar.
<p>Desarrollo del lenguaje:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Función fonológica:</i> <ul style="list-style-type: none"> – Habla infantilizada de forma constante. – Dificultad para articular y distinguir z-f-s o l-r, utilizándolas erróneamente. – Dificultad para pronunciar sílabas complejas. – Omisión y cambio de lugar de sonidos o sílabas en una palabra. • <i>Función semántica:</i> <ul style="list-style-type: none"> – Confundir conceptos opuestos de manera frecuente como ir-venir, salir-entrar. – Confundir conceptos distintos pero pertenecientes a una misma categoría. – Dificultad para evocar palabras. – Dificultad para finalizar una frase simple a la que le falta una palabra. • <i>Función sintáctica:</i> <ul style="list-style-type: none"> – No emplea pronombres relativos, conjunciones, preposiciones y los tiempos verbales principales. – Dificultad para repetir frases de entre ocho y diez elementos. – No muestra interés por saber lo que ha pasado y lo que va a ocurrir.
<p>Madurez emocional:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Muestra actitudes de rebeldía para cumplir las instrucciones que se le dan. • Dificultad personal excesiva para aceptar demoras de atención. • Expresa descontrol emocional cuando algo no sale como debería. • Se mantiene aislado en las actividades de grupo. • Sigue empleando el monólogo en sus actividades. • Le cuesta conciliar el sueño, suele tener pesadillas. • Tiende a jugar en lugar de realizar las actividades de clase por falta de conciencia de los límites de la situación.

Fuente: Fuiza & Fernández, 2014.

Con lo anterior en mente y buscando conjuntar los enfoques neuropsicológicos (Percepción, motricidad, funcionamiento cognitivo, psicomotricidad, funcionamiento psicolingüístico, lenguaje y desarrollo emocional) y psicolingüístico (tareas de vocalización, decisión lógica, decisión semántica, tareas de procesamiento visual, memoria, habilidades metalingüísticas y conciencia fonológica) para por medio de pruebas sea posible obtener las habilidades generales como las específicas de la lectoescritura e identificar de este forma que habilidades de cada enfoque han sido afectadas, sin que ello implique una localización de alguna cerebral con lesión. Esta información se verá complementada con la anamnesis (historia evolutiva, educativa, médica, social y cultural) y pruebas de madurez lecto-escritora psicológica (Fuiza & Fernández, 2014) (Ver figura 1.4).

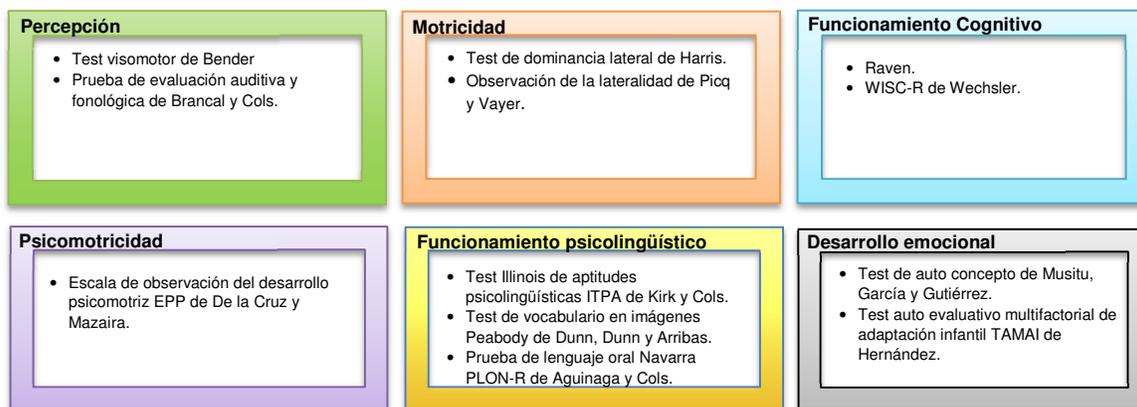


Figura 1.4. Exploración neuropsicológica en las dificultades en la lectura.
Fuente: Fuiza & Fernández, 2014.

Las intervenciones generadas a partir del diagnóstico del niño con dificultades la lectura dependerán de las peculiaridades que presente, sin embargo de forma general se basan en dos enfoques el neuropsicológico y el cognitivo. El primero de ellos tiene como base ayudar al niño a utilizar en menos medida estrategias perceptivas y visuales del hemisferio derecho para el aprendizaje de la lectura, con lo cual se promueve el uso del hemisferio izquierdo trabajando la vista, el tacto y la estimulación

alusiva hemisférica. El cognitivo procura mejorar las fases para transformar la información y que mejore las deficiencias que se encuentran en el procesamiento fonológico, el cual se piensa que es el principal problema a resolver en los niños disléxicos, aumentando sus aptitudes y destrezas para lectura y codificación de palabras, esto se logra por medio de la enseñanza de correspondencia entre grafemas y fonemas, estrategias para la planificación y la atención, actividades que mejoren la fluidez lectora. Adicional la intervención debe considerar instrucción multisensorial, psicomotriz, perceptiva combinada con motriz, desarrollo psicolingüístico, recepción visual, cierre gramatical y asociación auditiva y visual (Fuiza & Fernández, 2014). El docente también debe prestar atención a:

1. Falta de atención y desinterés por el estudio.
2. Parece vago, inmaduro con inteligencia.
3. Ansiedad, inseguridad, con un bajo concepto de sí mismo.
4. Bajo rendimiento y tarda mucho tiempo en hacer los deberes asignados.
5. Falta de ritmo lector.
6. Velocidad lectora inadecuada para su edad.
7. No consigue sincronizar la respiración con la lectura, lo que se relaciona con amontonar las frases o cortarlas sin sentido.
8. Dificultades para seguir la lectura, haciendo saltos de línea y perdiendo la continuidad cuando levanta la vista del texto.
9. Al leer se producen omisiones y sustituciones.
10. Presenta escasa coordinación motriz y falta de equilibrio.
11. Su coordinación manual es baja, con tonicidad muscular inadecuada.
12. Aprende mejor si hace las cosas con las manos.
13. Dificultad para aprender palabras nuevas.
14. Mejores resultados en los exámenes orales que en los escritos.
15. Tiene dificultad para controlar el trascurso del tiempo.
16. Lagunas en la comprensión lectora.
17. Mala caligrafía y ortografía, presenta omisiones, sustituciones, inversiones y adiciones.
18. Al escribir mezcla mayúscula y minúscula, invierte letras, sílabas o palabras, especialmente las sílabas inversas y compuestas.
19. Presenta dificultades en el desarrollo de la conciencia fonológica.
20. Realiza agrupaciones y separaciones incorrectas, partiendo palabras o uniendo varias en una sola.
21. Dificultad para realizar composiciones escritas acordes con su edad cronológica.

A pesar de no tener un factor biológico determinante en el desarrollo de las dificultades en la lectura o un conjunto visible de caracteres visibles resultado de la interacción entre el grupo de genes que existen en el núcleo celular y medio del sujeto, ha sido posible indicar que los niños que padecen dislexia tienen un hemisferio izquierdo especializado con un nivel inferior para el procesamiento lingüístico, con rasgos como síndromes audio fonológicos y viso espaciales, trastornos lingüísticos, falta de coordinación articular y grafomotora, problemas perceptuales visoespaciales, memoria verbal, secuenciación disfonética y dificultades en las fases sintácticas, semántica y fonológica (Fuiza & Fernández, 2014).

El estudio de este tipo de dificultades se ha complementado con métodos neurales correlacionales los cuales permiten obtener donde se genera la actividad cerebral, si es que existe una disfunción, y poder inferir el tiempo y las causas que lo propician, así como las interrelaciones no lineales entre las variables intrínsecas en el proceso de aprendizaje y los mecanismos que dan origen a sus dificultades.

1.3.2 Electroencefalografía

La actividad eléctrica proveniente del cerebro es generada por grupos de neuronas corticales, en su mayoría piramidales orientadas perpendicularmente a la superficie del cerebro, cuyos cuerpos se encuentran fundamentalmente en las capas tres y cinco de la corteza cerebral. La actividad neural detectada por el electroencefalógrafo es la sumatoria de los potenciales de excitación e inhibición

postsinápticos de las neuronas piramidales disparando de forma sincronizada. Las ondas son promediadas, dando lugar a potenciales provocados (EPs) y potenciales relacionados a un evento (ERPs); potenciales que representan actividad neural de interés y que está temporalmente relacionada a un estímulo específico (Smith y Kosslyn, 2008).

Sin embargo, la actividad eléctrica cerebral debe pasar por múltiples filtros biológicos que reducen la señal en amplitud y disipan ampliamente el vector fuente original. Junto al registro de las ondas cerebrales, también son detectados artefactos o actividad eléctrica que es generada por el cuerpo o el medio ambiente; estos pueden ser biológicos como los movimientos de los ojos, lengua, corazón, etc., o debido a que los electrodos de registro momentáneamente se despeguen mermando su capacidad para captar las señales o inclusive imitar los ritmos cerebrales o ataques epilépticos, estos tienen características específicas e identificables que hace necesario que un observador entrenado y cuidadoso los detecte (St. Louis y Frey, 2016).

La electroencefalografía es un método neural correlacional que posee cuatro dimensiones que permiten su valoración: (i) resolución espacial, que se refiere a la precisión con la que localizan el área del cerebro que produce una señal; (ii) resolución temporal, referente a la exactitud al revelar los cambios de actividad cerebral a lo largo del tiempo; (iii) nocividad, que es el grado que requiere cada método, de introducir sustancias dañinas al organismo; y (iv) costo referente a la inversión en equipo, su instalación y la aplicación para cada sujeto experimental (Smith y Kosslyn, 2008).

Tabla 1.3 Métodos neurales correlacionales.

Método	Resolución espacial	Resolución temporal	Nocividad	Costo
Eléctricos: electroencefalografía (EEG) y potenciales provocados (PP)	Mala de alrededor 2.5 cm	Excelente en milisegundos	Baja	Bajo en adquisición y uso
Magnetoencefalografía (MEG)	Buena alrededor de 1.0 cm sólo en los surcos y no en las circunvoluciones por la alineación de las dendritas	Excelente en milisegundos	Baja	Alto en adquisición por la sala con pantalla magnética: medio en uso al requerir mantenimiento continuo para que los superconductores se encuentren extremadamente fríos
Tomografía por emisión de positrones (TEP)	Buena alrededor de 1.0 cm	Mala genera una imagen cada 40 segundos	Alta al administrar radiación	Alto en adquisición requiere ciclotrón y cámara TEP: elevado en uso por sujeto
Resonancia magnética nuclear (RMN) y resonancia magnética funcional (RMf)	RMN tiene muy buena con margen de milímetros RMf es muy buena es de aproximadamente 0.5 cm	Depende del nivel de resolución, por lo general vario segundos	Baja	Alto en adquisición al utilizar sala con pantalla magnética: medio en uso, ya que precisa mantenimiento
Ecografía óptica	Mala de alrededor unos 2.0 cm	Depende del nivel de resolución, por lo general de varios minutos	Media/baja debido a la luz que se irradia a través del cráneo	Bajo en adquisición y uso

Fuente: Smith y Kosslyn, 2008.

En la tabla 1.3 se muestran las comparaciones entre los distintos métodos, con respecto a las cuatro dimensiones. Con base en eso, los métodos más antiguos, el electroencefalograma (EEG) y los potenciales provocados (PP), son las mejores opciones, a pesar de una mala resolución espacial: alrededor de 2.5 cm (la más alta con respecto al resto de los procedimientos), ya que alteran las cuantificaciones cuando en otras partes del cuerpo humano; sin embargo, el resto de las dimensiones presentan ventajas al poseer (en milisegundos) una excelente resolución espacial, baja nocividad y un menor costo de adquisición y en su uso (Smith y Kosslyn, 2008).

Los EEG y los PP llevan a cabo el registro de las oscilaciones de la actividad eléctrica por medio de electrodos colocados en el cuero cabelludo; la diferencia entre ellos es que los PP son utilizados para observar los cambios en la actividad cerebral en respuesta a un estímulo específico en determinados lapsos de tiempo, mientras que el EEG registra la actividad rítmica sinusoidal que se piensa representa comunicaciones oscilatorias entre la corteza y estructuras más profundas del cerebro (Smith y Kosslyn, 2008).

En el caso particular de la electroencefalografía, debido a su sensibilidad temporal, se ha usado en pacientes con epilepsia o indicaciones clínicas, como por ejemplo, para dar seguimiento a pacientes que se encuentran bajo los efectos de la anestesia durante las cirugías (St. Louis y Frey, 2016)

El electroencefalógrafo es el dispositivo utilizado para el registro de los EEG (gráfica o señal, con voltaje en eje vertical y tiempo en el horizontal en casi el tiempo real en el que se produce la actividad cerebral) para cuantificar la diferencia de voltaje entre distintos puntos del cerebro, hace uso del principio de amplificación diferencial usando un par de electrodos y se fundamenta en la comparación de un electrodo exploratorio activo con otro electrodo de referencia; esta medición de la diferencia resultante en el potencial eléctrico hace posible para el electroencefalógrafo graficar las ondas (St. Louis y Frey, 2016). Por convención, cuando el electrodo exploratorio es más negativo que el electrodo de referencia, se mostrara una onda ascendente; cuando el electrodo de referencia es más negativo, se muestra una onda descendente. Ver Figura 1.5.



Figura 1.5. Convención de polaridades para un electroencefalograma.
Fuente: St. Louis y Frey, 2016.

Cada electroencefalógrafo posee electrodos que recolectan como mínimo aproximadamente 6cm² de actividad cortical, esta última representa la sumatoria de los potenciales postsinápticos de excitación e inhibición de las neuronas piramidales cercanas a los electrodos, reproducida como un campo bipolar con polos positivos y negativos; la dirección del flujo de este campo es paralelo a la orientación de las neuronas piramidales. Las terminaciones negativas son captadas en su máximo cuando son perpendiculares y se dirigen directamente hacia donde está posicionado el electrodo; en cambio, para las terminaciones positivas, es de naturaleza subcortical y su registro requiere de electrodos que deben ser insertados adentro del cráneo, lo cual representa una invasión más agresiva hacia el sujeto de estudio y aumenta la nocividad (St. Louis y Frey, 2016).

La colocación de los electrodos en el cuero cabelludo se realiza a través del sistema internacional 10-20, puntos de referencia óseo para formar un esquema de líneas donde se posicionarán los electrodos en intervalos de 10 o 20 por ciento del total de la longitud, brindando la posibilidad de ser universal, ya que, sin importar el tamaño de la cabeza, identifica la misma posición relativa en el cuero cabelludo. La cuantificación de la actividad cerebral en un adulto requiere de un conjunto de veintidós electrodos y un electrodo de tierra, además de electrodos que permitan la cuantificación del EKG y el registro de movimiento de los ojos. Dependiendo de la parte ósea y el hemisferio donde se coloque el electrodo es la letra y el número que se utiliza para identificarlo: Fp, frontopolar, F, frontal, C, central, T, temporal, P, parietal, O, occipital. Para el hemisferio izquierdo se usan los impares y para el derecho los pares; para indicar los electrodos en la línea media de anterior a posterior en el cuero cabelludo se hace uso de la z, y para los procesos de las estructuras óseas detrás de las orejas o sitios auriculares se hace uso de la A. En caso de ser necesario, se colocan un mayor número de electrodos que permitan el registro de actividad cerebral en alguna zona específica de interés. Ver Figura 1.6.

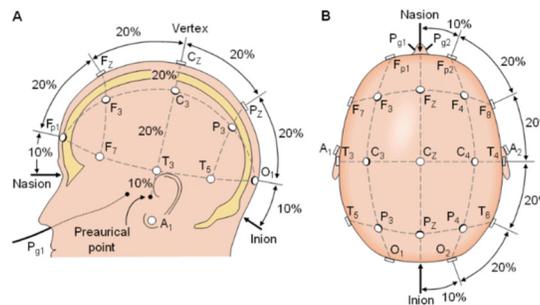


Figura 1.6. Sistema Internacional 10 - 20.
Fuente: Szava, et al., 1994.

A través de amplificadores diferenciales se cuantifica y mide la relativa actividad eléctrica de un electrodo a otro y se eliminan la mayoría de los artefactos biológicos y ambientales, mejorando la relación señal a ruido en los registros, además de incrementar la diferencia de voltaje y posibilitar su visualización, dando lugar a que este equipo posea una sensibilidad que pueda ser modificada de lo que comúnmente es empleado ($7\mu v/mm$), complicando o simplificando la observación adecuada del EEG. La recolección de las ondas con mínima distorsión está en el rango de 1-30 Hertz (Hz), lo que hace necesario el uso de filtros que minimicen la actividad de frecuencias relativamente altas o bajas y un filtro de acumulación que reduzca la amplitud de las ondas en una frecuencia angosta para remover la interferencia generada por la línea eléctrica; el empleo de ambos filtros brinda una difusión continua y no absoluta que no remueve todos los artefactos, o inclusive conlleva a la distorsión, al punto de que las formas de las ondas no sean reconocibles y/o no permita preservar todas las frecuencias por encima o debajo de las condiciones formales individuales (St. Louis y Frey, 2016).

Los datos registrados son mostrados en una pantalla en montajes específicos con referencias; estos representan arreglos estandarizados y la selección de pares de canales y cadenas para la revisión y exposición de los datos registrados por el electroencefalógrafo. Los montajes pueden ser monopolar o bipolar; el primero consiste en conectar cada electrodo a un punto de referencia único, el cuál pudiera ser otro electrodo conectado al cuero cabelludo o una combinación matemática de señales; en cambio, el bipolar (patrón longitudinal o transversal) consiste en cadenas de electrodos, cada uno de ellos conectado a uno o dos electrodos vecinos (St. Louis y Frey, 2016).

La diferencia entre estos dos tipos de montajes es que en el bipolar puede ocurrir la cancelación por parte de los amplificadores diferenciales de las ondas de actividad biológica, llevando a la localización falsa de un fenómeno de baja amplitud, cuestión que no sucede en el montaje monopolar, pero puede ocurrir que la señal se contamine. Lo anterior sugiere que deben ser usados múltiples montajes para confirmar las anomalías encontradas y éstas no sean producto del método en el que se están mostrando las señales u ondas (St. Louis y Frey, 2016).

Cada una de las ondas posee un ancho de banda con una frecuencia específica; esta puede variar, dependiendo del estado de la persona sujeta al EEG (vigilia, durmiendo, somnoliento) en el momento en que se toman los registros. Para las frecuencias de uno a tres ciclos por segundo (Hz) se denominan delta, de cuatro a siete ciclos por segundo son theta, ambas son ritmos lentos; para ocho a doce ciclos por segundo son alfa, y para trece ciclos por segundo, y por debajo de veinte y cinco ciclos por segundo, son beta, ambas son ritmos rápidos. Frecuencias superiores a los veinticinco y menores a los setenta ciclos por segundo (gamma baja y alta), no son comúnmente encontradas en el cuero cabelludo; éstas surgen directamente de la superficie cortical y se registran por medio de electrodos intracraneales, en los casos en que se visualizan ondas pequeñas con ciclos por segundo mayores a 100 Hz, se sugiere que reflejan la actividad epileptiforme. Es importante considerar que en los registros de las ondas cerebrales pueden estar presentes una mezcla de ritmos y pueden generarse ondas lambda con una apariencia en la forma de onda positiva y occipitalmente predominante (St. Louis y Frey, 2016). Ver Figura 1.7.

Este tipo de métodos poseen una serie de limitaciones que implican tener cautela en el momento en que se interpretarlos: (i) no es posible establecer si los resultados fueron causados por actividad inhibitoria o excitatoria; (ii) mayor grado de activación en una parte del encéfalo no implica mayor nivel de procesamiento, ya que ciertas fases son posibles llevarlas a cabo sin que se registre estimulación incremental en regiones cerebrales, (iii) las áreas funcionales cerebrales pueden variar ligeramente en localización de persona a persona, (iv) las pruebas deben realizarse en distintos ritmos circadianos o estados de una persona, lo que hace posible observar como varía la activación y comparar las cuantificaciones, (v) si no son registradas diferencias en la activación en un área cerebral, al ejecutar dos tareas, implica que el proceso estaba activo en ambas tareas, estaba inactivo en ambas o la diferencia es muy pequeña para registrarse, y (vi) se debe considerar que los procesos pueden efectuarse en tejidos neurales similares (St. Louis y Frey, 2016).

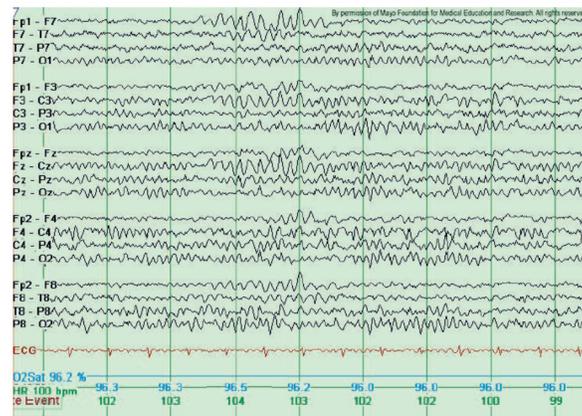


Figura 1.7. Electroencefalograma de niño de 8 años en estado somnoliento.
Fuente: (St. Louis y Frey, 2016).

1.4 Definición del Sistema objeto de estudio

Las dificultades en el aprendizaje ya sea la dislexia, disgrafía o discalculia representan interrelaciones no lineales que no se concretan de forma que pueda ser posible obtener una determinada habilidad, es posible verlos como sistemas complejos realizados por las redes relacionales aleatorias con límites difusos, formadas en forma diversa por las interrelaciones no lineales de los seis tipos heterogéneas de neuronas en el cerebro humano.

Dicho tejido cumple transformaciones organizadas en jerarquías estructurales; estos perfiles característicos, dan lugar a la emergencia de patrones de activación, los cuales, a su vez, desencadenan interacciones dinámicas y conexión entre altos niveles de orden de emergencia por estructuración disipativa. La formación de un núcleo, por un lado, y sucesivos niveles de cierre organizacional, por el otro, dan lugar a procesos que están organizados circularmente y muestran dependencia y cierre recursivo, esto, como un todo, indica organización jerárquica diversa, en términos de autopoiesis (Francois, 2004).

En consecuencia, las dificultades en el aprendizaje presentan un componente anatómico y otro psicológico que puede ser modificado por el conocimiento, ya que al obtener y procesar la información (entradas sensoriales) en forma distribuida y en paralelo (transformación simultánea de numerosos y diferentes datos) para comunicarla a los elementos eferentes del organismo implica que limita la naturaleza determinística de su actividad y los dota de cierta aleatoriedad (Mobus y Kalton, 2015) (Francois, 2004) (Popper y Eccles, 1993).

Adicionalmente, estas redes tienen dos principios que son complementarios entre sí: el principio de convergencia (ya que muchas células nerviosas pueden proyectar a una sola neurona) y el de divergencia (en donde las ramificaciones de las neuronas están distribuidas ampliamente hacia otras neuronas). Estas redes presentan la peculiaridad de ser algoritmizadas por selección, ya que algunas zonas neuronales pueden poseer mayor dominancia en algunos procesos o ser reactivados por señales de impulso, dando como resultado que se generen patrones específicos de percepción y ordenamiento que dan la base para futuras evaluaciones y la construcción progresiva de diversos marcos de referencia; con base en ellas, se genera conocimiento que se utiliza en función del éxito del comportamiento aprendido en distintas situaciones. Al poseer hiperciclos, estas redes neuronales pasan por el proceso de morfogénesis y, de esta forma, tienen la posibilidad de diferenciar sus elementos, incrementar su organización estructural y sus interrelaciones (Francois, 2004).

Las dificultades en el aprendizaje, al ser sistemas abiertos y dinámicos, ostentan diversos estadios (rompimiento de simetría) y hacen posible que se estructuren progresivamente con base en algunas reglas en un medio ambiente específico (epigénesis). Lo anterior perdura en función de la información codificada, la manifestación de un evento estocástico y la capacidad de nivelar deficiencias (materia, energía e información) de los sistemas de retroalimentación; esto, a su vez, brinda capacidad de que sean adaptables a medios dinámicos, de evolucionar, de desarrollar una

estructura disipativa que emerge de la inestabilidad y de influir al medio ambiente (Campbell *et al.*, 2005) (Squire *et al.*, 2005) (Francois, 2004) (Jackson, 2003).

Adicional a lo anterior, las dificultades en el aprendizaje, debido a su arquitectura (cibernética, simbólica y autorreferencia), recursividad, fluctuaciones, sinergia, no causalidad inseparable, no-continuos, auto-generativos, impredecibles y con incertidumbre, propician características de dependencia y autonomía (Francois, 2004). Dado todo lo anterior, a continuación se describe el sistema objeto de estudio en este trabajo de investigación.

1.4.1 Esquema del sistema objeto de estudio

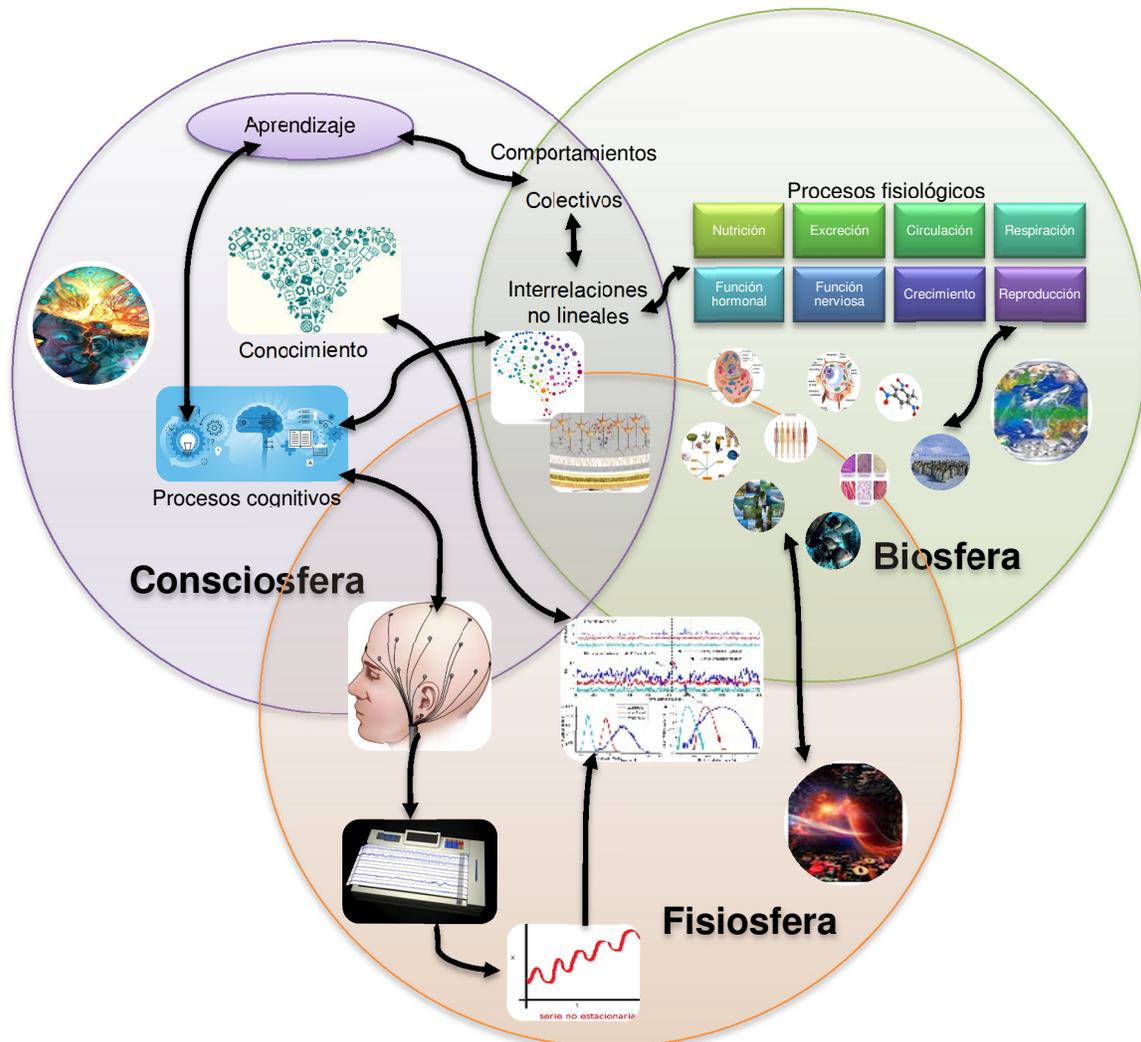


Figura. 1.8. Esquema los procesos cognitivos del cerebro humano.
Fuente: Elaboración propia con base en (Squire *et al.*, 2008) (Popper y Eccles, 1993) y (Mobus y Kalton, 2015).

1.5 Metametodología de Intervención Total de Sistemas (ITS)

La investigación metametodológica es utilizada para validar las distintas metodologías sistémicas y los principios en que están fundamentadas; conocer estos principios (fortalezas y debilidades) posibilita la selección de una o varias de dichas metodologías sistémicas, permitiendo indagar de forma integral, transdisciplinaria e interdisciplinaria, los aspectos de los sistemas complejos. Jackson (1991) desarrolló la metametodología que busca ser holística y generar creatividad en el uso del

pensamiento de sistemas, denominada Intervención Total de Sistemas (ITS), es de naturaleza dinámica, sistémica e interactiva, basada en siete principios (Jackson, 2003):

1. Los sistemas o situaciones problemáticas son de carácter complejo.
2. Cada sistema o problema deben ser investigado desde una variedad de perspectivas.
3. Las metodologías para abordar el sistema o la problemática cambian conforme a nuevos descubrimientos.
4. La selección de la metodología se determina teniendo en mente tanto los principales temas o problemas a tratarse o estudiarse, así como las debilidades y fortalezas de las metodologías consideradas.
5. Considera diferentes perspectivas y metodologías de sistemas que puedan ser complementarias para resaltar y abordar distintos aspectos de la problemática o del objeto de estudio.
6. Define un ciclo sistémico de indagación, cuyas interacciones entre sus tres fases no son lineales, ya que se puede pasar de una etapa posterior a una anterior, o iniciar en una etapa adelantada, sin que eso represente dificultades.
7. El observador o los participantes están involucrados en cada etapa de la metametodología.

1.5.1 Fases de la metametodología

La ITS consta de tres etapas: creatividad, selección e implementación. En la etapa de *creatividad*, como primera tarea, se identifican a los dueños del problema, quienes participarán en un debate que exponga las preocupaciones, asuntos y contrariedades de la situación problema; para ello, pueden hacer uso de cualquier herramienta, siempre y cuando ésta permita que la imagen del problema se construya a partir de distintos puntos de vista, estableciendo la dependencia y dominancia de las preocupaciones, asuntos y contrariedades que brindarán una base para generar una estrategia apropiada de intervención de sistemas. Jackson insta a utilizar la metáfora de sistemas como herramienta para la creatividad (Tabla 1.4.); de esta forma, los participantes en el debate brindan metáforas, de acuerdo a su perspectiva. Dichas metáforas posteriormente se analizan y, con base en ello, se determina lo siguiente: cuáles brindan realmente una visión de la problemática, el tipo de dificultades, preocupaciones, contrariedades y asuntos que revela cada una, y si éstos podrán ser considerados para darle solución a la situación problemática, a través de la construcción de una imagen metafórica con características definidas (Jackson, 2003).

Tabla 1.4. Tabla de ejemplos de Metáforas de sistemas.

Metáforas fundamentales
Máquina
Organismo
Cerebro
Cultura
Coalición
Sistema Coercitivo

Fuente: Jackson, 2003.

Con base en lo obtenido en la etapa anterior, se procede a la fase dos, la *selección*, donde se realiza una elección de distintas metodologías, considerando sus deficiencias y fortalezas, dando lugar a un conjunto dominante de métodos y a un grupo de metodologías dependientes; el primero permite abordar el problema principal, mientras que el segundo contribuirá a la solución de problemas secundarios identificados durante la primera fase. Durante esta etapa, se emplea un marco de clasificación de métodos del conocimiento sistémico, denominado Sistema de Metodología de Sistemas, el cual se encuentra conformado por una tabla que presenta algunos modelos abstractos de realidades generales, los cuales pueden revelar los distintos modos en los que el contexto de un problema puede ser representado (Jackson, 2003) (Ver Tabla 1.5).

Cada contexto en la tabla 1.5 es resultado de la combinación de dos variables y sus características (los participantes y los sistemas), esta mezcla origina la formación de seis tipos ideales de contextos concentrados en una tabla; en su eje vertical considera la complejidad de los sistemas, que, por sí mismos, persiguen un propósito y se mantienen dentro de ciertos parámetros que les permite seguir existiendo, a pesar de las perturbaciones en su medio ambiente, y en su eje horizontal estima las distintas perspectivas de los participantes y el tipo de relaciones que pueden existir entre ellos.

Tabla 1.5. Tabla de Agrupación de Contextos Ideales.

	Unitario	Pluralista	Coercitivo
Simple	Simple-Unitario	Simple-Pluralista	Simple-Coercitivo
Complejo	Complejo-Unitario	Complejo-Pluralista	Complejo-Coercitivo

Fuente: Jackson, 2003.

Las características de los sistemas, en relación a su complejidad, pueden ser (eje vertical) dos:

- a. **Sistemas Simples:** Contienen un pequeño número de elementos, pocas interacciones de carácter organizado, los atributos de los elementos y las reglas para su patrón de comportamiento están predeterminados, no evoluciona, los subsistemas no impulsan sus propios propósitos y es cerrado. Este tipo de sistemas pueden ser descrito mediante un modelo matemático.
- b. **Sistemas Complejos:** El número de elementos que contienen es grande, las interacciones entre ellos son de carácter organizado, su comportamiento es probabilístico, pueden evolucionar, son abiertos y sus subsistemas tienen sus propios propósitos.

En cuanto al tipo de relaciones entre los participantes, éstos son tres (eje horizontal):

- a) **Unitarias:** Comparten intereses, sus valores y creencias son altamente compatibles, están ampliamente de acuerdo en los medios y fines, todos colaboran en la toma de decisiones y actúan con base en objetivos acordados.
- b) **Plurales:** Poseen compatibilidad elemental de intereses, sus valores y creencias divergen en algún grado, no necesariamente están de acuerdo en medios y fines, pero es posible un compromiso, cooperan en la toma de decisiones y actúan con base en objetivos acordados.
- c) **Coercitivas:** No comparten intereses, valores o creencias, por lo que entran en conflicto, no tienen consenso en los medios y fines, y es imposible concretar un compromiso genuino, algunos coartan a otros en la toma de decisiones y pactos en los objetivos.

Es posible relacionar los seis tipos ideales de contextos de la Tabla 1.5 a enfoques sistémicos que permitan abordarlos, dando como resultado cuatro tipos de enfoques del Pensamiento Aplicado de Sistemas (PAS); cada vertiente debe ser considerada como una sugerencia, ya que se encuentra fundamentada en distintos supuestos para una determinada naturaleza del contexto del problema: i) Pensamiento Duro de Sistemas, ii) Pensamiento Suave de Sistemas, iii) Pensamiento Emancipatorio y iv) Pensamiento Postmodernista (Jackson, 2003).

El *Pensamiento Duro de Sistemas* está dedicado a mejorar la consecución de objetivos predefinidos y viabilidad, al hacer hincapié en la construcción de capacidades necesarias en las áreas de comportamiento organizacional y diseño; el éxito de este tipo se mide en función de la eficiencia, buscando usar los mínimos recursos para lograr los objetivos y/o la eficacia, cuestionando si los medios utilizados hasta ahora permitirán conseguir los objetivos; este tipo de óptica se aplican a sistemas con relaciones unitarias entre los participantes, permitiendo optimizarlo, que alcance sus objetivos determinados con antelación y reconfigurarlo, de forma que posea la capacidad de manejar complejidad y perturbaciones internas o externas. Esta perspectiva concentra sus esfuerzos en los sistemas contenidos en el eje vertical de la tabla de agrupación de contextos ideales del problema, engloba el enfoque de sistemas duros, modelado matemático, estructuralista manipulando los mecanismos, dinámica de sistemas, modelos cibernéticos y la teoría de la complejidad que permita reconocer patrones a lo largo del tiempo durante el desarrollo del sistema.

El *Pensamientos Suaves de Sistemas* está dedicado a explorar, aclarar y considerar los propósitos que los accionistas o dueños de la situación apremiante desean lograr en las organizaciones, a través de las operaciones o estructuras en las que tienen intereses. Este plano hace hincapié en considerar las diferentes suposiciones, múltiples perspectivas y diversas concepciones del mundo inherentes a cualquier situación problema, así como en hacer notar a los accionistas las implicaciones sistémicas de las distintas visiones en cuanto a valores y creencias, valoradas contra diferentes visiones del futuro y los cambios necesarios para alcanzarlos; para ello hace uso de un proceso de aprendizaje dialéctico (tesis, antítesis y síntesis) y la creatividad, obteniendo, de esta manera, una resolución a la problemática. La medida de éxito para este tipo de perspectiva son la efectividad al preguntarse si se está logrando realmente lo que se buscaba y la elegancia, al verificar si los accionistas toman de buena gana lo que se les propone; dicha perspectiva está concentrada en el eje horizontal de la tabla 1.5 (Ver Tabla 1.6).

El *Pensamiento Emancipatorio* busca abordar sistemas con un contexto de problema ideal de carácter coercitivo, así como de asegurar la imparcialidad en el diseño de sistema y las consecuencias que con ello trae consigo; como herramienta para este propósito, usa el pensamiento de sistemas emancipatorio, lo cual implica la consideración para la toma de decisiones de grupos rezagados, que pueden estar discriminados, de forma consciente o inconsciente, por los grupos de poder. El éxito es medido a través del empoderamiento, interrogándose si todos los individuos y grupos participan en la toma de decisiones, y la valoración de la emancipación, verificando si los grupos en desventaja han sido asistidos para obtener aquello a lo que tienen derecho, generando un ambiente democrático. Este enfoque se sitúa en el eje horizontal de la Tabla 1.5 (Ver Tabla 1.6).

Finalmente, el *Pensamiento Postmodernista* ofrece diversidad en la resolución de problemas para sistemas con alta complejidad y coerción que están entrelazados en todas las situaciones inciertas; la intervención se evalúa con base en la medida de la excepción, interrogándose qué otros puntos de vista marginados deberán de salir a flote, para evaluar si las acciones propuestas son apropiadas para las circunstancias particulares en las que se está inmerso (Ver Tabla 1.6).

Tabla 1.6. Tabla de sistema de Metodología de Sistemas.

Sistemas	Participantes			
	Tipos	Unitario	Pluralista	Coercitivo
	Simple	Pensamiento Duro de Sistemas	Enfoque de Sistemas Suaves	Pensamiento Emancipatorio de Sistemas
Complejo	Dinámica de Sistemas Cibernética Organizacional Teoría de la complejidad	Pensamiento de Sistemas Postmodernistas		

Fuente: Jackson, 2003.

Vinculando las metáforas fundamentales con los contextos y ejemplos de metodología, se obtiene como resultado la construcción de la tabla 1.7, brindando una idea de la(s) posible(s) metodología(s) (dominante y dependientes) que puede(n) ser seleccionada(s) para su implementación.

Tabla 1.7. Tabla de relación de Metodologías/Contextos/Metáforas.

Metodología de Sistemas (ejemplos)	Suposiciones acerca del contexto del problema	Metáforas fundamentales
Dinámica de Sistemas	Simple - Unitario	Máquina/Equipo
Sistemas Viables	Complejo - Unitario	Organismo/Cerebro/Equipo
Suposiciones Estratégicas emergiendo y probando	Simple - Pluralista	Máquina/Coalición/Cultura
Planeación interactiva	Complejo - Pluralista	Cerebro/Coalición/Cultura
Metodología de Sistemas Suaves	Complejo - Pluralista	Organismo/Coalición/Cultura
Sistemas Críticos Heurísticos	Simple - Coercitivo	Máquina/Organismo/Confinado

Fuente: Jackson, 2003.

Con base en la selección de la metodología dominante y las dependientes, se pasa a la tercera fase. Se procede a *implementar* la(s) metodología(s) elegida(s), con el fin de generar propuestas de cambios coordinados, positivos y relevantes en la situación problema; el uso de cualquier tipo de metodologías es de forma conjunta en una relación potencialmente de cambio. En cada una de las fases, los participantes deben poner atención a las salidas que se obtienen, ya que si el inconveniente identificado presenta nuevos atributos, será necesario elaborar una nueva estrategia

de intervención pasando por el ciclo de etapas de la metametodología (Jackson, 2003) (Ver Figura 1.6).

Por ende, la metametodología de Intervención Total de Sistemas permite al observador de un sistema determinar sus características, en relación el tipo de interrelaciones entre sus subsistemas o participantes y su complejidad, a través del uso de metáforas fundamentales ubicarlo en un contexto y seleccionar la(s) metodología(s) que pueden ser implementadas en los sistemas (Jackson, 2003).

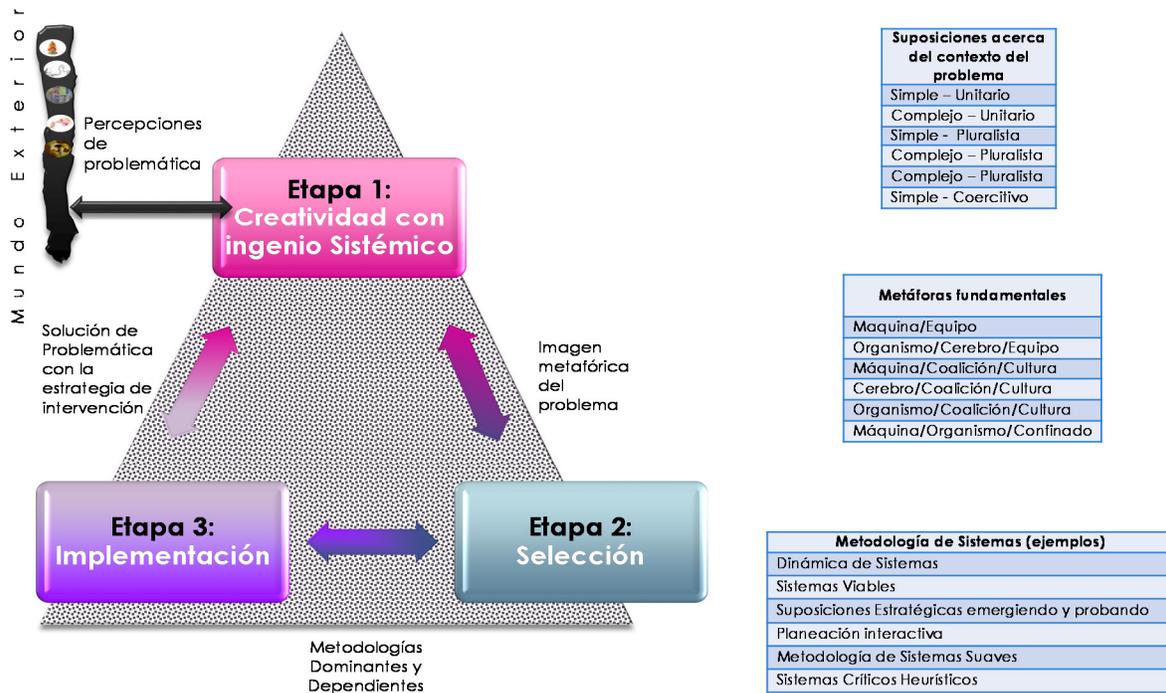


Figura 1.9. Esquema de la Metametodología ITS.
Fuente: Elaboración propia con base en Jackson, 2003.

Como fue establecido en la definición del sistema, los trastornos del aprendizaje (caso específico lectura) son sistemas complejos adaptativos debido a las redes relacionales aleatorias de seis distintos tipos de neuronas que se interrelacionan de manera no lineal en el cerebro humano, estas redes tienen millones de componentes que pueden mantener su propia identidad por medio del cierre organizacional y aún mantener el intercambio de materia, energía e información con el medio ambiente circundante, gracias a las estructuras disipativas.

Estas particularidades, de acuerdo a la tabla de contextos ideales de la metametodología, indican que este trastorno de lectura es un sistema complejo – coercitivo, el cual, al relacionarlo con los tipos de enfoques propuestos, sugiere hacer uso del pensamiento postmodernista al ofrecer diversidad en teorías y herramientas para sistemas con alta complejidad y coerción con enlaces a situaciones inciertas, basado en que las dificultades en la lectura es una interrelación no lineal que no es funcional que tienen una estructura jerárquica y presentan tanto cierto semi-determinismo en sus estados y comportamiento como aleatoriedad, esta última relacionada a la plasticidad de las neuronas para formar nuevas conexiones, en función del conocimiento que se va adquiriendo con la experiencia y/o la capacidad de subsanar los procesos realizados por neuronas faltantes (accidentes) a través de nuevos vínculos.

Adicionalmente, el tipo de enfoque postmodernista permite cuestionarse si existen otros tipos de puntos de vista que podrían ser apropiados para las características o situaciones peculiares de los procesos cognitivos, perspectiva donde se encuentra la geometría fractal y presenta una oportunidad

de ser complementaria a los hallazgos de estudios los trastornos del aprendizaje, particularmente en la lectura, por medio del uso de herramientas lineales.

Tabla 1.8. Tabla de contexto y enfoque de pensamiento para las dificultades en el aprendizaje.

<i>Sistemas</i>	Participantes			
	Tipos	Unitario	Pluralista	<i>Coercitivo</i>
	<i>Simple</i>	Pensamiento Duro de Sistemas	Enfoque de Sistemas Suaves	Pensamiento Emancipatorio de Sistemas
<i>Complejo</i>	Dinámica de Sistemas Cibernética Organizacional Teoría de la complejidad	Pensamiento de Sistemas Postmodernistas		

Fuente: Adaptada de Jackson, 2003.

Capítulo 2: Teoría de Fractales

2.1 Teoría de fractales

Los fractales son objetos matemáticos que generalizan a los objetos geométricos euclidianos para dimensiones no enteras y permiten ahondar en el estudio de los sistemas complejos, del desorden y del caos. En palabras de Mandelbrot (1982): “Las nubes no son esferas, las montañas no son conos, las líneas costeras o litorales no son círculos, el ladrido no es suave ni el relámpago se propaga en línea recta”.

No sólo la geometría fractal modela los objetos complejos desordenados tales como las montañas, los litorales y los relámpagos, sino que también permite hallar una nueva simetría en medio de esta complejidad, a saber: la invariancia bajo dilatación del espacio, y es, precisamente, esta simetría de auto-similitud la que le ofrece a los fractales su tremendo poder y atractivo analítico.

Los fractales no solo se refieren a los objetos geométricos sino, de manera más amplia, a cualquier clase de fenómenos que posean escalamiento que exhiba simetría de dilatación, o invariancia de escala, frecuentemente caracterizada por la apariencia de una distribución de ley de potencia. Los fenómenos fractales de este tipo encuentran aplicaciones en diversas disciplinas de interés, tales como finanzas y economía, geología, el análisis de las secuencias del ADN, biología, entre otros.

Los sistemas invariantes de escala normalmente se caracterizan por dimensiones no enteras (fractales). La noción de dimensiones no enteras y varias propiedades básicas de los objetos fractales fueron estudiadas desde el siglo xix por Georg Cantor, Giuseppe Peano y David Hilbert, así como al inicio del siglo xx por Helge von Koch, Waclaw Sierpinski, Gaston Julia y Felix Hausdorff. En el siglo pasado Mandelbrot (1982) desarrolló la idea de la geometría fractal para unificar un número de estudios previos sobre formas irregulares y procesos naturales. Mandelbrot se enfocó en un conjunto particular de tales objetos y formas, a saber, aquellos que son auto-similares, es decir, donde una parte del objeto es idéntica a una pieza mayor. Mandelbrot dobló estos fractales, hallando la sorprendente ubicuidad de formas auto-similares en la naturaleza.

La “geometría fractal” es una herramienta matemática para tratar con sistemas complejos que no tengan una escala característica de longitud. Un ejemplo bien conocido es la forma de una línea costera. Cuando se observan dos fotos de una línea costera en dos escalas diferentes, con 1 cm correspondiente a 0.1 km, no es posible decir a qué escala pertenece cada foto: ambas fotos parecen iguales; y estas características se aplican también a otros patrones geográficos como ríos, grietas, montañas y nubes. Esto significa que la línea costera es invariante de escala o, de forma equivalente, no tiene una escala característica de longitud. Otro ejemplo son los registros de activos financieros. Cuando se observa un registro diario, semanal, mensual o anual, a simple vista no es fácil señalar las diferencias, ya que estos son muy parecidos.

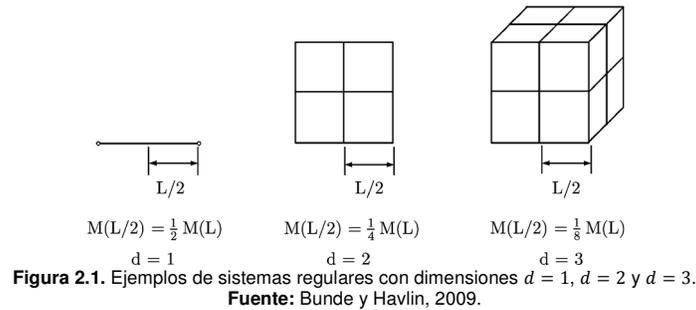
Es bien sabido que en los sistemas regulares (con densidad uniforme) tales como cables largos, placas delgadas largas o cubos llenos muy grandes la dimensión d caracteriza cómo la masa $M(L)$ cambia linealmente con el tamaño L del sistema. Si se considera una parte más pequeña del sistema de tamaño lineal bL ($b < 1$), entonces $M(bL)$ decrece por un factor de b^d , es decir,

$$M(bL) = b^d M(L). \tag{2.1}$$

La solución de (2.1) es $M(L) = AL^d$. Para el largo de un cable, la masa cambia linealmente con b , es decir, $d = 1$. Para las placas delgadas $d = 2$ y para los cubos $d = 3$. Ver Figura 2.1.

Los fractales determinísticos se generan de manera iterativa en forma determinística, mientras que los fractales aleatorios se generan mediante procesos estocásticos. Aunque en la naturaleza las estructuras fractales son aleatorias, es útil estudiar los fractales determinísticos porque sus

propiedades pueden determinarse exactamente. Al estudiar los fractales determinísticos se gana visión de las propiedades de los fractales aleatorios.



2.1.1 Fractales determinísticos

Se habla de fractales determinísticos cuando se separa una pieza pequeña de un fractal y se magnifica esta isotrópicamente al tamaño de la original, luciendo ambas igual. Al magnificar isotrópicamente, se han rescalado las direcciones x , y y z por el mismo factor. A continuación se explica un ejemplo de un fractal determinístico: la curva de Koch (ver Figura 2.2).

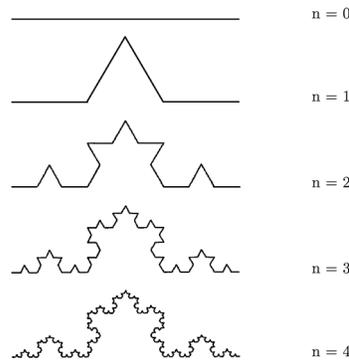


Figura 2.2. La dimensión fractal de la curva de Koch es $d_f = \log 4 / \log 3$.
Fuente: Bunde y Havlin, 2009.

La figura 2.2 muestra las primeras $n = 4$ iteraciones para la curva de Koch. Para cada iteración la longitud de la curva se incrementa por un factor $4/3$. El fractal matemático se define en el límite infinito de iteraciones $n \rightarrow \infty$, donde la longitud total de la curva se aproxima a infinito.

La dimensión de la curva se obtiene como en el caso de los objetos regulares. De la figura 2.2 se observa que, si se disminuye linealmente el tamaño de por un factor $b = 1/3$, la longitud (masa) total de la curva decrece por un factor $1/4$, es decir,

$$M\left(\frac{1}{3}L\right) = \frac{1}{4}M(L). \tag{2.2}$$

Esta característica es muy distinta de las curvas regulares, en las cuales la longitud del objeto decrece de manera proporcional a la escala lineal. A fin de satisfacer (2.1) y (2.2), se introduce una dimensión no entera, cumpliendo $1/4 = (1/3)^d$, es decir, $d = \log 4 / \log 3$. Para dichas dimensiones no enteras Mandelbrot acuñó el término “dimensión fractal”, y a aquellos objetos descritos por una dimensión fractal los llamó “fractales”. Por ende, para incluir a las estructuras fractales, (2.1) se generaliza como

$$M(bL) = b^{d_f}M(L), \tag{2.3}$$

Y

$$M(L) = AL^{d_f}, \tag{2.4}$$

donde d_f es la dimensión fractal.

Cuando se genera la curva de Koch y se calcula d_f , se observan las propiedades fractales: “auto-similitud” o “invariancia de escala”, la cual es la misma característica para todos los fractales determinísticos y aleatorios; si se toma una parte del fractal y se rescala está por el mismo factor de magnificación en todas las direcciones, la foto magnificada no puede distinguirse de la original. En la curva de Koch existe un objeto central en la figura que es la apariencia de un muñeco de nieve. A la derecha e izquierda de este muñeco de nieve central hay otros dos muñecos de nieve, cada uno exactamente igual al central, sólo más pequeños por un factor de 1/3. Cada uno de los muñecos de nieve más pequeños han ganado copias más pequeñas (por 1/3) de sí mismos a la derecha y a la izquierda. Por otro lado, si se toma cualquier trillizo del muñeco de nieve (que consiste en $1/3^m$ de la curva), para cualquier m , y este se magnifica por 3^m , se obtiene exactamente la curva de Koch original.

2.1.2 Fractales auto-afines

Existen sistemas que son invariantes sólo bajo magnificaciones “anisotrópicas”. Estos sistemas se llaman “fractales auto-afines” (Mandelbrot, 1977) (Mandelbrot, 1982). Un modelo simple para un fractal auto-afín se muestra en la Figura 2.3. La estructura es invariante bajo la magnificación anisotrópica $x \rightarrow 4x$, $y \rightarrow 2y$. Si se separa una pequeña pieza de la foto original (en el límite de $n \rightarrow \infty$ iteraciones) y se rescala el eje x por un factor de cuatro y el eje y por un factor de dos, se obtendrá exactamente la estructura original.

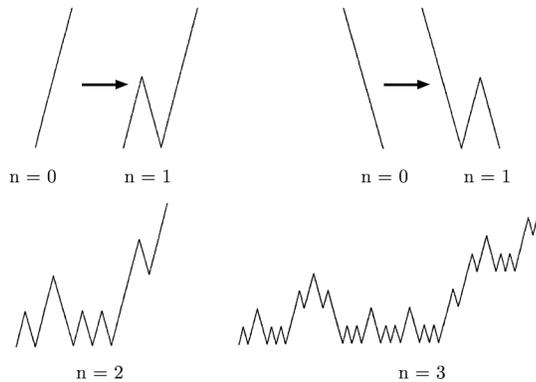


Figura 2.3. Modelo determinístico de un fractal auto afín.
Fuente: Bunde y Havlin, 2009.

En general, si una curva auto-afín es invariante de escala bajo la transformación $x \rightarrow bx$, $y \rightarrow ay$, se tiene que

$$F(bx) = aF(x) \equiv b^H F(x), \tag{2.5}$$

donde el exponente $H = \log a / \log b$ es el exponente de Hurst (Mandelbrot, 1977) (Mandelbrot, 1982).

La solución de (2.5) es simplemente $F(x) = Ax^H$. En el ejemplo de la figura 2.3 $H = 1/2$, es decir, se trata de una estructura aleatoria auto-afín. Las estructuras aleatorias auto-afines se emplean como modelos para superficies aleatorias.

Las *series de tiempo* son conjuntos de valores (datos) de alguna variable observable en cuestión, los cuales están separado por un mismo intervalo de tiempo, como segundos, minutos, horas,

semanas, meses, años, lustros, etc. Las series de tiempo reflejan el comportamiento de un sistema complejo a través del tiempo. A continuación se presentan ejemplos de series de tiempo de fractales auto-afines generados por sistemas complejos: (i) series de tiempo geofísicas (registros de temperatura, niveles de ozono, velocidad del viento, eventos sísmicos, inundaciones, patrones en los vegetales y dinámica del clima), (ii) series de tiempo médicas y psicológicas (registros de latidos del corazón, respiración, presión sanguínea, flujo sanguíneo, manera de andar, niveles de glucosa y datos de genes), (iii) series de tiempo astrofísicas (fuentes de luz de rayos X y número de manchas solares), (iv) series de tiempo técnicas (tráfico en internet, tráfico en autopista de alta velocidad y poder neutrónico de un reactor), (v) series de tiempo sociales (economía y finanzas, características del lenguaje, muertes en conflictos) y (vi) datos de fenómenos físicos, como superficies rugosas, espectro caótico de átomos y registros espectroscópicos de correlación de fotones.

2.2 Caracterización de sistema complejo a partir de fractales

La caracterización y comprensión de los sistemas complejos es una tarea difícil, debido a que estos no pueden dividirse en subsistemas más simples sin violar sus propiedades dinámicas. Un enfoque para estudiar dichos sistemas es el registro de grandes series de tiempo (auto-afines) de varias variables (observables) seleccionadas, que refleja el estado del sistema en una representación dimensionalmente reducida. Como ya se vio, a partir de estas series de tiempo es posible caracterizar la dinámica de los sistemas complejos mediante leyes de escalamiento, las cuales son válidas en un rango amplio (posiblemente ilimitado) de escalas de tiempo (invariancia de escala o auto-similitud) y que son una propiedad de los fractales.

Si se encuentra que un sistema complejo se caracteriza por la dinámica fractal con exponentes de escalamiento particulares, esto ayudaría a sugerir posibles estados futuros del sistema y sobre su reacción a perturbaciones externas o cambios en las condiciones de frontera. Las transiciones de fases en la regulación del comportamiento de un sistema complejo frecuentemente se asocian a cambios en su dinámica fractal, permitiendo detectar tales transiciones (o los estados correspondientes) por análisis fractal. Un ejemplo para la aplicación exitosa de este enfoque es el sistema cardiovascular humano, donde la fractalidad del intervalo de tiempo del latido del corazón demostró reflejar ciertos deterioros cardíacos, así como las etapas de sueño (Peng et al., 1993) (Bunde et al., 2000). Adicionalmente, pueden probarse y mejorarse iterativamente los modelos del sistema, hasta que estos reproduzcan el comportamiento de escalamiento observado. Un ejemplo de dicho enfoque es la modelación del clima, donde los modelos necesitaban entradas de radiación solar y de volcanes, a fin de reproducir el comportamiento de escalamiento (fractal) a largo plazo (Vyushin et al., 2004) (Koscielny et al., 1998).

Los datos de las series de tiempo auto-afines son persistentes, en el sentido de que un valor grande es normalmente seguido, por una relación de escalamiento (es decir, con alta preferencia estadística), por un valor grande, y un valor pequeño es seguido por un valor pequeño. Para la traza o curva auto-afín de un caminante aleatorio, la persistencia en todas las escalas de tiempo es trivial, ya que la última posición es justa la primera de algunos incrementos aleatorios. La persistencia se mantiene para todas las escalas de tiempo, donde la relación de auto-afinidad permanece. Sin embargo, el grado de persistencia puede variar a diferentes escalas de tiempo. El clima es un ejemplo típico: mientras el clima de mañana o en una semana es probablemente similar al clima de hoy (por una condición estable general del clima), la persistencia es mucho más difícil de ver en escalas de tiempo más extensas.

Al realizar una caracterización fractal de las series de tiempo generadas por algún sistema complejo, lo que se busca es encontrar comportamiento persistente, ya que esto permitirá realizar predicciones probabilísticas sobre los estados futuros del sistema en cuestión con base en el valor de los exponentes de escalamiento obtenidos para dicho comportamiento.

Para determinar si el comportamiento de un sistema complejo, a partir de las series de tiempo auto-afines o estocásticas generadas a partir de dicho sistema, despliega persistencia a diferentes

escalas de tiempo, se debe obtener, en principio, el valor del exponente Hurst (H) (o de *rugosidad*) para las series de tiempo auto-afín, con base en la ecuación (2.5).

Los valores de $H < 1/2$ indican comportamiento anti-correlacionado (o antipersistente) a largo plazo: si los valores de la variable observable van aumentando, lo más probable es que el siguiente valor sea menor al último, y viceversa; valores de $H > 1/2$ indican comportamiento correlacionado positivo a largo plazo: si los valores de la variable observable van aumentando, lo más probable es que el siguiente valor sea mayor al último, y viceversa. Por último, para valores de $H = 1/2$ no existe correlaciones, es decir, se tiene un comportamiento totalmente aleatorio.

Muchos registros naturales están caracterizados por correlaciones a corto plazo pronunciadas como complemento al escalamiento de las correlaciones a largo plazo. Por ejemplo, existen correlaciones a corto plazo debido a situaciones particulares del clima en los datos de la temperatura y debido a efectos respiratorios en los datos de los latidos del corazón. Los crossovers (o puntos críticos en donde se tiene un cambio de fase o de régimen del sistema) en el comportamiento de escalamiento de las series de tiempo complejas pueden también ser causados por distintos mecanismos de regulación y escalas de tiempo lentas y rápidas. Las fluctuaciones de un río, por ejemplo, muestran diferente comportamiento de escalamiento en escalas de tiempo por abajo y por arriba de aproximadamente un año.

El primer método para el análisis de persistencia a largo plazo en series de tiempo, con base a la teoría de la caminata aleatoria, se propuso por Harold Edwin Hurst (1880-1978), quien lo desarrolló mientras trabajaba en Egipto. Su llamado análisis de rango rescalado (análisis R/S) (Mandelbrot y Van Ness, 1968) (Mandelbrot y Wallis, 1969) (Hurst, 1956) (Hurst, Black y Simaika, 1965) (Feder, 1988) inicia con la división de la serie de tiempo (\tilde{x}_i) en segmentos v que no se traslapen de tamaño (escala de tiempo) s (primer paso), generando $N_s = \text{int}(N/s)$ segmentos en conjunto. En el segundo paso, el *perfil* (datos integrados) se calcula en cada segmentos $v = 0, \dots, N_s - 1$,

$$Y_v(j) = \sum_{i=1}^j (\tilde{x}_{vs+i} - \langle \tilde{x}_{vs+i} \rangle_s) = \sum_{i=1}^j \tilde{x}_{vs+i} - \frac{j}{s} \sum_{i=1}^s \tilde{x}_{vs+i}. \quad (2.6)$$

Por la sustracción de los promedios locales, tendencias pieza por pieza constante en los datos son eliminadas. En el tercer paso, las diferencias entre el valor mínimo y el valor máximo (rangos) $R_v(s)$ y las desviaciones estándar $S_v(s)$ en cada segmento se calculan como

$$R_v(s) = \max_{j=1}^s Y_v(j) - \min_{j=1}^s Y_v(j), \quad S_v(s) = \sqrt{\frac{1}{s} \sum_{j=1}^s Y_v^2(j)}. \quad (2.7)$$

Finalmente, el rango rescalado se promedia en todos los segmentos para obtener la función de fluctuación $F(s)$,

$$F_{RS}(s) = \frac{1}{N_s} \sum_{v=0}^{N_s-1} \frac{R_v(s)}{S_v(s)} \sim s^H \quad \text{para } s \gg 1, \quad (2.8)$$

donde H es el exponente de Hurst o de rugosidad.

2.3 Cinética del crecimiento de interfaces rugosas

Las series de datos generados por los sistemas complejos exhiben fluctuaciones en un amplio rango de escalas de tiempo o de valores en las distribuciones, ya sea en situaciones de equilibrio y desequilibrio. Dichas fluctuaciones usualmente se explican mediante una relación de escalamiento que abarca varios órdenes de magnitud y pueden ser utilizadas para caracterizar la dinámica de los datos (y del sistema que lo genera), a través de la determinación de exponentes de escalamiento que indiquen atributos globales del sistema en cuestión, aunque no llegue a conocerse a detalle las causas que originan dicho comportamiento de escalamiento. Lo anterior puede ser empleado para

caracterizar y modelar la dinámica de las series de tiempo y, en función de ello, derivar predicciones probabilísticas, de los posibles estados o fases futuras en que se encuentre el sistema en estudio.

Por otro lado, la teoría de sistemas desordenados ha jugado un papel principal en el estudio de los sistemas complejos, específicamente el campo del crecimiento desordenados las superficies. Estas pueden ser suaves, pero al mismo tiempo rugosas. En general, la morfología depende de la longitud en la escala de observación. Los objetos fractales en la naturaleza son los mismos en diversas escalas de observación. Muchas interfaces y superficies son ejemplos de objetos auto-afines, los cuales están entre los objetos fractales y los no fractales cuando se hace un cambio de escala que es el mismo en todas las direcciones, los objetos auto-afines cambian su morfología. Por otra parte, cuando un cambio de escala se realiza y es diferente en cada dirección, las interfaces no cambian en su morfología. Más bien se comportan como objetos fractales que parecen iguales antes y después de la transformación (ver Figura 2.4).

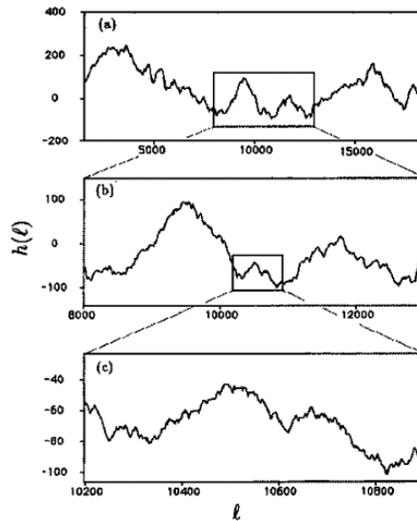


Figura 2.4. Función rescalada auto-afín.
Fuente: Barabási y Stanley, 1995.

Existen ejemplos de interfaces interesantes en diversos sistemas complejos biológicos, como es el crecimiento de colonias de bacterias. Por ejemplo, al preparar agar en un plato de petri, en la parte media del agar una bacteria se inocula hasta multiplicarse. A escalas microscópicas la bacteria exhibe un movimiento aleatorio. Sin embargo, al observar a distancia un rango de morfologías interesantes pueden apreciarse. La morfología real depende de la concentración de nutrientes y de otros parámetros experimentales controlables. Algunas colonias tienen una forma compacta, con una superficie rugosa, similar a la morfología del café derramado.

Para describir el proceso de crecimiento cuantitativamente Barabási y Stanley (1995) introdujeron dos funciones. La primera función es la altura media de la superficie: $\bar{h}(t) \equiv \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L h(i, t)$, donde $h(i, t)$ es la altura de la columna i en el tiempo t . La segunda función es el ancho de la interfaz, que caracteriza la aspereza de la interfaz y está definido por la fluctuación en la altura: $w(L, t) \equiv \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [h(i, t) - \bar{h}(t)]^2}$.

Para caracterizar cuantitativamente el proceso de rugosidad, se mide el ancho de la interface como una función del tiempo. El crecimiento comienza desde una línea horizontal; la interface en el tiempo cero es simplemente una línea recta, con ancho cero.

En la Figura 2.5 se muestra una gráfica representativa de la evolución temporal del ancho de la superficie. Tiene dos regiones separadas por un tiempo de cruce t_x . Inicialmente, el ancho aumenta como una potencia de tiempo

$$w(L, t) \sim t^\beta \quad [t \ll t_x], \quad (2.9)$$

donde el exponente β , llamado *exponente de crecimiento de fluctuaciones*, caracteriza el tiempo dependiente de la dinámica del proceso de rugosidad.

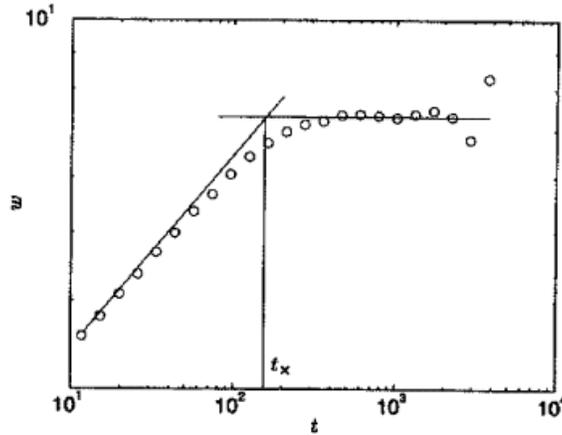


Figura 2.5. Crecimiento de la interfaz con el tiempo para un sistema de tamaño L . Hay dos regímenes característicos: (i) crecimiento ley de potencia, que aparece como una línea recta en la gráfica log-log, y (ii) saturación. Fuente: Barabási y Stanley, 1995.

Debido a que el aumento en el ancho de la ley de potencia no continúa de forma indefinida, sino que es seguida por un régimen de saturación (la región horizontal de la figura 2.5) durante el cual el ancho alcanza un valor de saturación, w_{sat} . Conforme aumenta el tamaño del sistema, L , el ancho de saturación, w_{sat} , también crece y, por ende, la dependencia también sigue la ley de potencia

$$w_{sat}(L) \sim L^\alpha \quad [t \ll t_x], \quad (2.10)$$

en donde el exponente α , llamado *exponente de rugosidad* o de *Hurst*, caracteriza la rugosidad de la interface saturada.

De acuerdo a Barabási y Stanley (1995), debido a que el tiempo de saturación al cual la interface cruza el límite del comportamiento de la ecuación (2.9) hacia el de la ecuación (2.10) depende del tamaño del sistema y a que $\frac{w(L,t)}{w_{sat}(L)}$ es una función solo de $\frac{t}{t_x}$, es decir, $\frac{w(L,t)}{w_{sat}(L)} \sim f\left(\frac{t}{t_x}\right)$, donde $f(u)$ es una función de escalamiento, al reemplazar w_{sat} y t_x en $\frac{w(L,t)}{w_{sat}(L)} \sim f\left(\frac{t}{t_x}\right)$, con sus respectivas formas de escalamiento, se obtiene el comportamiento escalar de la Family-Vicsek:

$$w(L, t) \sim L^\alpha f\left(\frac{t}{L^{\alpha/\beta}}\right) \quad (2.11)$$

Para el escalamiento dinámico de la ecuación (2.11) existen dos tipos diferentes de regímenes, dependiendo de su argumento $u \equiv \frac{t}{t_x}$. Por un lado, para u pequeña, la función de escalamiento incrementa conforme a la ley de potencia. En este régimen, se tiene

$$f(u) \sim u^\beta \quad [u \ll 1] \quad (2.12)$$

Por otro lado, conforme $t \rightarrow \infty$, el ancho se satura. La saturación es alcanzada para $t \gg t_x$, es decir, el argumento de la función de escalamiento $u \gg 1$. En este límite, se tiene

$$f(u) = \text{constante} \quad [u \ll 1] \quad (2.13)$$

Una propiedad muy importante de la mayoría de las superficies es la existencia de *correlaciones* en el sistema, lo que implica que cuando el ancho se satura, se alcanza una región crítica, en la cual las fluctuaciones del ancho prácticamente no varían y éstas se explican mediante leyes de potencia. Asimismo, en la región crítica el valor de los exponentes de α y β prácticamente no varían, por lo que se despliega la simetría del sistema conocida como invariancia de escala.

Como ya se mencionó en la sección 2.2, un sistema en estudio despliega comportamiento aleatorio cuando $\alpha = 0.5$ (ruido blanco), comportamiento persistente cuando $0.5 < \alpha < 1$ (invariancia de escala asociada a correlaciones positivas a largo plazo), y comportamiento antipersistente cuando $0 < \alpha < 0.5$ (invariancia en la escala asociada a correlaciones negativas a largo plazo).

Asimismo, como también ya se señaló, el ancho de la interface w se incrementa como una potencia del tiempo, y la rugosidad saturada despliega una dependencia de ley de potencia con respecto al tamaño del sistema. Existe un lenguaje natural para describir e interpretar dicho comportamiento de escalamiento, llamado lenguaje de fractales. Los conceptos de geometría fractal proporcionan un lenguaje en términos del cual entender mejor el significado de las leyes de potencia. Como ya se explicó en las secciones 2.1.1 y 2.1.2, los fractales isotrópicos son *auto-similares*: existe invariancia bajo transformaciones de escala isotrópicas, es decir, la dilatación aumenta el tamaño del sistema *uniformemente* en cada dirección espacial. Por el contrario, las superficies son generalmente invariantes bajo transformaciones anisotrópicas, y pertenecen a la clase más amplia de los fractales *auto-afines*, los cuales son objetos con aleatoriedad inherente que son auto-similares sólo en el sentido estadístico, por lo que también se les conoce como *fractales aleatorios* o *fractales estadísticos* (Mandelbrot, 1982).

Para cuantificar superficies desordenadas, existe una subclase especial de fractales anisotrópicos, descritos para funciones con un solo valor llamadas *funciones auto-afines*. Con base en la ecuación (2.5), para cualquier función auto-afín de un solo valor $h(x)$, con x definida en el intervalo $[0,1]$, se establece que

$$h(x) \sim b^{-\alpha} h(bx), \quad (2.14)$$

donde α es el exponente auto-afín o exponente de rugosidad, el cual ofrece una medición cuantitativa de la 'rugosidad' de la función $h(x)$. La relación de la ecuación (2.14) formula, en términos generales, que una función auto-afín debe ser rescalada de diferente manera en el plano horizontal que en plano vertical: si se 'amplia' la función horizontalmente con un factor b ($x \rightarrow bx$), esta debe ser 'ampliada' verticalmente con un factor b^α [$h \rightarrow b^\alpha h$], a fin de que el objeto resultante conserve la misma simetría de la generación previa. Para el caso especial $\alpha = 1$, la transformación es isotrópica y el sistema es auto-similar.

Una consecuencia importante de (2.14) concierne al *escalamiento* de la diferencia de alturas $\Delta(l) \equiv |h(x_1) - h(x_2)|$ entre dos puntos separados por una distancia $l \equiv |x_1 - x_2|$. Para los sistemas auto-afines $\Delta(l)$ obedece (2.14). La solución de la 'ecuación funcional' (2.14) es la ley de potencia $\Delta \sim l^\alpha$ (Stanley, 1971).

Capítulo 3: Caracterización fractal del trastorno de lectura en niños de primaria

3.1 Recopilación de datos

Se obtuvieron los datos de una muestra de 40 niños con RL (grupo experimental) y de otra muestra de 20 niños sin dificultades de lectura residentes de la Ciudad de México y de la zona conurbada (grupo control). Todos los niños cursaban el tercer grado de primaria. Los criterios de inclusión fueron: (i) un coeficiente intelectual (CI) igual o mayor a 85; (ii) para formar el grupo experimental se seleccionaron a los niños que obtuvieran en los dominios de lenguaje, habilidades metalingüísticas y de lectura en la evaluación neuropsicológica un rango percentil de 3 a 25 (promedio bajo y bajo); (iii) para el caso del grupo control, se seleccionaron a los niños que en las mismas tareas alcanzaran un rango percentil de 26 a 75 (promedio); y (iv) los criterios de exclusión fueron padecer problemas auditivos, visuales y motores, así como dificultades en la articulación de sonidos, historia de problemas neurológicos o psiquiátricos. Cabe señalar que cuestiones de confidencialidad, al tratarse de menores de edad, en el presente trabajo de tesis se omiten datos personales de los niños, al igual que los nombres de las escuelas primarias en donde estudiaban dichos niños.

El grupo experimental se dividió aleatoriamente en dos subgrupos de 20 niños cada uno. Se aplicó el entrenamiento en Conciencia Fonológica (CF) a un subgrupo, mientras que el otro subgrupo solo recibió actividades de lectura complementarias a las que recibía en el salón de clase; el grupo control no recibió ningún tratamiento.

Los instrumentos psicométricos fueron aplicados por dos estudiantes de la licenciatura de Psicología del Centro Universitario de la Universidad Autónoma del Estado de México Campus Ecatepec (CU UAEM-E). Dichas estudiantes fueron entrenadas para ello en un salón de clase de las escuelas primarias a las que asistieron los niños que conformaron las muestras en estudio. La valoración neurológica y psiquiátrica se efectuó por una mujer médico-psiquiatra y los electroencefalogramas (EEG) lo realizó una de las investigadoras, en un cubículo aislado de ruidos y protegidos de posibles interrupciones dentro del CU UAEM-E. La interpretación convencional y cuantitativa de los EEG se ha estado haciendo por una neurofisiología clínica.

Los instrumentos psicométricos aplicados a los niños que conformaron la muestra han sido tres: (1) la Escala de Inteligencia de Wechsler para niños-IV (WISC-IV, por sus siglas en inglés), (2) la Evaluación Neuropsicológica Infantil (ENI), (3) el Entrenamiento en Conciencia Fonológica (ECONFO) y (4) libros de educación primaria (segundo, tercero y cuarto grados) y revistas de divulgación científica para niños.

La WISC-IV (Wechsler, 2005) evalúa la capacidad cognitiva global o CI total y cuatro dominios específicos de inteligencia: comprensión verbal, razonamiento perceptivo, memoria de trabajo y velocidad de procesamiento. Este instrumento se utilizó para descartar aquellos niños que obtuvieran un CI sugerente de un nivel limítrofe o una deficiencia mental, ya que en esos casos el bajo nivel de lectura se podría explicar por un CI bajo. El CI total para México varía de 0.88 a 0.97, con una validez de 0.82. La aplicación y evaluación de este instrumento se fundamentaron en los parámetros establecidos en el manual de la prueba.

Con el ENI (Matute, Rosselli, Ardila y Ostrosky-Solís, 2007) se examina el desarrollo neuropsicológico de la población infantil de habla hispana con edades que van de los 5-16 años. El instrumento evalúa 13 dominios, de los cuales se utilizaron los siguientes: lenguaje, habilidades metalingüísticas (conciencia fonológica) y lectura. Asimismo, se empleó la historia clínica y la evaluación de signos neurológicos blandos. La confiabilidad test-retest del dominio de lenguaje va de $r=0.126$ a $r=0.735$, de Habilidades metalingüísticas de $r=0.244$ a $r=0.694$, de Lectura de $r=0.044$ a $r=0.493$ y de Escritura de $r=0.242$ a $r=0.671$.

Los parámetros establecidos en el manual de la prueba son los siguientes: (a) El dominio de Lenguaje está conformado por las siguientes tareas: repetición de sílabas, palabras, no palabras y

oraciones; expresión y comprensión. (b) El dominio de Habilidades metalingüísticas está conformado por las siguientes tareas: síntesis fonémica, conteo de sonidos, deletreo y conteo de palabras. (c) El dominio de Lectura está conformado por las siguientes tareas: precisión en la lectura de sílabas, palabras, no palabras y oraciones; comprensión de oraciones, comprensión y velocidad de lectura en voz alta de un texto narrativo y de lectura silenciosa de un texto descriptivo. (d) La Historia Clínica sirve para conocer la historia sobre el embarazo y parto de la madre del niño; las condiciones médicas, el desarrollo psicomotor del niño y de su familia, enfatizando condiciones neurológicas y psiquiátricas; descripción de personalidad y de conducta relevantes del niño. (e) Finalmente, los Signos Neurológicos Blandos comprenden actividades cuya ejecución anormal puede estar relacionada con una patología neurológica específica que indique un deterioro, una inmadurez del desarrollo o una disfunción; las actividades son las siguientes: marcha, agarre del lápiz, articulación, agudeza visual, agudeza auditiva, discriminación derecha-izquierda, seguimiento visual, disdiadococinesis, movimiento de oposición digital y lateralidad manual.

En cuanto al ECONFO (Favila y Seda, 2010), este instrumento de evaluación está organizado en dos partes. La primera parte consta de 55 actividades auditivo-visuales (dibujos) agrupadas en las siguientes tareas. (1) Segmentación de oraciones en palabras: el experimentador pide al niño que repita una oración (que previamente pronunció) dando una palmada por cada palabra; posteriormente el experimentador pide al niño que represente cada una de las palabras con un dibujo (uno por cada sustantivo o verbo, y un asterisco por cada artículo o preposición). (2) Síntesis silábica: el experimentador pregunta al niño “¿Qué palabra se formará si juntamos las sílabas re-vis-ta?”, a lo que el niño deberá responder “revista”. (3) Análisis silábico: consiste en identificar, comparar u omitir sílabas en diferentes posiciones de una palabra que se presenta oralmente; por ejemplo: (i) identificar (el experimentador pide al niño que diga dos palabras que empiecen con la sílaba sa; el niño deberá responder con palabras que empiecen con esa sílaba), (ii) comparar (el experimentador pide al niño que diga en qué se parecen dos palabras pe-lota y pe-pino; el niño deberá responder que las dos empiezan con la sílaba pe), (iii) omitir (el experimentador dice al niño: “Si a la palabra plátano le quitamos la sílaba no, ¿cómo dirá?”, el niño deberá responder “plata”), (iv) síntesis fonémica (el experimentador pregunta al niño “¿Qué palabra se formará si juntamos los sonidos /m/-/a/-/r/?”, el niño deberá responder “mar”) y (v) análisis fonético (consiste en identificar, comparar u omitir fonemas vocálicos o consonánticos en diferentes posiciones de una palabra que se presenta oralmente; los ejemplos son parecidos a los de análisis de sílabas).

La segunda parte del ECONFO consta de 54 láminas con dibujos, letras y palabras escritas (impresas), agrupadas en las siguientes tareas: (1) segmentación de palabras en sílabas, la cual consiste en identificar las sílabas que forman una palabra; (2) síntesis de sílabas, la cual consiste en combinar las sílabas que forman una palabra; (3) análisis silábico, el cual consiste en identificar, comparar u omitir sílabas en diferentes posiciones de una palabra; (4) segmentación de palabras en letras, la cual consiste en identificar las letras que forman una palabra; (5) síntesis de letras, la cual consiste en combinar las letras que forman una palabra; y (6) análisis de letras en palabras, el cual consiste en identificar, comparar u omitir letras vocálicas o consonánticas colocadas en diferentes posiciones de una palabra.

Los libros de educación primaria (segundo, tercero y cuarto grados) y revistas de divulgación científica para niños son instrumentos de evaluación aplicados para realizar las actividades de lectura (Cervantes, 2002) (Hernández, 1998). En este caso se partió del supuesto de que es gracias al uso de estas estrategias (codificación, predicción, organización y recuperación) que el niño es capaz de abordar de manera exitosa la lectura, comprender y extraer información relevante del texto (Carrasco, 2003) sin un entrenamiento explícito en CF. Dichas actividades consistieron en lo siguiente. Primero el experimentador eligió dos lecturas de 5 a 15 líneas, cuyo contenido (informativo o narrativo) versó sobre temas escolares (historia, ciencias naturales, geografía, etcétera), cuentos, fábulas o de divulgación científica. Posteriormente, el experimentador leyó cada título (si los textos contenían ilustraciones, se les mostró a los niños), para que ellos eligieran uno.

Una vez elegido el texto, el experimentador leyó nuevamente el título, preguntándoles a los niños sobre el posible contenido del texto. Cuando los niños expresaron sus ideas, el experimentador

retomó aquellas que tuvieran relación con el título, reconociéndoles su participación y acierto. Si las respuestas no tuvieron relación con el título, el experimentador les proporcionó un ejemplo de algo que lo tuviera. En el caso de los niños que respondieron nada, el experimentador les exhortaba para que lo hicieran, asegurándose de que todos los niños participaran.

Después de que el experimentador leyó el texto en voz alta a los niños, éste les mostró las ilustraciones (sobre las que hizo comentarios adicionales de los referidos en el texto) y les señaló las palabras según las leía (estrategia de decodificación) y les hizo preguntas anticipatorias sobre el contenido, las cuales los niños fueron contestando (estrategia de predicción y organización). Cuando las respuestas estaban relacionadas con el contenido, el experimentador las confirmaba, si no, usaba ejemplos para que los niños relacionaran sus ideas con el tema. Con ello, se buscó favorecer el interés y entusiasmo por iniciar la lectura de un texto y promover habilidades de predicción para inferir el significado de palabras y del contenido del texto, con el propósito de facilitar la comprensión global del mismo (estrategia de recuperación).

Complementariamente, el experimentador les preguntaba a los niños sobre los sentimientos de los personajes y, de esta manera, se continuaba hasta concluir la lectura. Posteriormente, el experimentador les solicitaba a los niños que expresaran por escrito, y después verbalmente, sus propios sentimientos (alegres, enojados, asustados); si le gustó o no la lectura y ¿por qué?, con la intención de promover cierta respuesta afectiva del niño al texto.

El equipo de electroencefalografía empleado en el CU UAEM-E para obtener los EEG fue el sistema Medicid 5 (Neuronic), 19 electrodos (Fp₁, Fp₂, F₃, F₄, C₃, C₄, P₃, P₄, O₁, O₂, F₇, F₈, T₃, T₄, T₅, T₆, F_z, C_z, P_z). Los registros se hicieron de acuerdo al Sistema Internacional 10-20 (ver Figura 3.1), referenciados en los mastoides, con impedancia menor a 5 kΩ. El ancho de la banda fue de 0.5-30 Hz y la tasa de adquisición de 200 Hz. Para el análisis cuantitativo del EEG se seleccionaron visualmente 24 segmentos libres de artefactos de 2.56 segundos de duración sin paroxismos. Además, se efectuó un análisis fuera de línea mediante la transformación rápida de Fourier y se calcularon las matrices espectrales para obtener la potencia absoluta y la potencia relativa de las cuatro bandas de frecuencias: delta (0.5-3.5 Hz), theta (3.6-7.5 Hz), alfa (7.6-12.5 Hz) y beta (12.6-19 Hz). Los resultados obtenidos fueron comparados con los de una base de datos normativos (Szava et al., 1994) (Ver Figura 1.6).

En cuanto al procedimiento para generar los EEG (que sirvieron de datos para construir las series de tiempo de los 19 canales para cada niño), este se realizó en tres etapas. Cabe señalar que, previo a cualquier intervención, se solicitó la autorización de las autoridades de cada una de las instituciones educativas y el consentimiento informado de los padres de los niños que conformaron ambos grupos. Es importante hacer hincapié en que, *al momento de escribir el presente documento, se concluyó la primera etapa, se estaba aplicando la segunda etapa y estaba pendiente la tercera etapa.*

Primera etapa: Pretest (concluida). Una vez referidos por sus maestros, a los niños con y sin problemas de lectura se les aplicarán las evaluaciones en el siguiente orden: (1) historia clínica, (2) signos neurológicos blandos, (3) WISC-IV, (4) ENI y (5) EEG. En la primera sesión se aplicó la historia clínica a los padres de familia y la prueba de signos neurológicos blandos a los niños, en la segunda sesión el WISC-IV, en la tercera sesión la ENI, y en la cuarta sesión el EEG.

En la sesión del EEG, se registraron a los niños en reposo y en estado de vigilia con ojos cerrados, se utilizaron como métodos de activación la apertura y cierre de ojos, la hiperventilación (durante 3 minutos y 3 minutos de recuperación) y la fotoestimulación (1 minuto) que consistió en presentar dos series de 20 segundos de luz con frecuencias de 1, 3, 15 y 30 Hz cada una, con intervalos de 10 segundos entre cada serie.

Segunda etapa: Intervención (en proceso). A un subgrupo experimental se le está aplicando el ECONFO en grupos pequeños de 5 niños cada uno, durante 70 sesiones; cada sesión dura una hora, tres días a la semana, durante 14 semanas. Al segundo subgrupo se les está aplicando solo actividades de lectura complementarias, también en grupos de 5 niños, en sesiones de una hora,

tres veces a la semana hasta que se terminara de aplicar el ECONFO en el grupo experimental. El grupo control no recibe ningún tratamiento.

Tercera etapa: Postest (por realizar): Inmediatamente después de finalizar el tratamiento, se aplicará nuevamente la ENI y el EEG a todos los niños. Es importante enfatizar que una vez finalizada la tercera etapa del estudio, se aplicará el ECONFO al subgrupo que solo recibió actividades de lectura complementarias por cuestiones éticas.

Para obtener los datos referentes a la actividad cerebral de niños se les colocaron 19 electrodos en el cuero cabelludo, apegándose a la normatividad del sistema internacional 10-20 (se posicionan los electrodos en intervalos de 10 o 20 por ciento del total de la longitud). La cuantificación de la actividad cerebral requiere de 19 electrodos y un electrodo de tierra. Dependiendo de la parte ósea y el hemisferio donde se coloque el electrodo, es la letra y el número que se utiliza para identificarlo: Fp, frontopolar, F, frontal, C, central, T, temporal, P, parietal, y O, occipital. Para el hemisferio izquierdo se usan los impares y para el derecho los pares; para indicar los electrodos en la línea media de anterior a posterior en el cuero cabelludo se hace uso de la Z, y para los procesos de las estructuras óseas detrás de las orejas o sitios auriculares se hace uso de la A. (Ver Figura 1.6).

A través de amplificadores diferenciales se cuantifica y mide la actividad eléctrica relativa de un electrodo a otro y se elimina la mayoría de los artefactos biológicos y ambientales, mejorando la relación señal a ruido en los registros, además de incrementar la diferencia de voltaje y posibilitar su visualización (St. Louis y Frey, 2016).

Los datos registrados son mostrados en una pantalla en montajes específicos con referencias; estos montajes representan arreglos estandarizados y la selección de pares de canales y cadenas para la revisión y exposición de los datos registrados por el electroencefalógrafo. Se deben usar múltiples montajes para confirmar las anomalías encontradas y éstas no sean producto del método en el que se están mostrando las señales u ondas (St. Louis y Frey, 2016).

Cada una de las ondas posee un ancho de banda con una frecuencia específica; esta puede variar, dependiendo del estado de la persona sujeta al electroencefalograma (vigilia, durmiendo, somnoliento) en el momento en que se toman los registros. Para las frecuencias 1-3 ciclos por segundo (Hz) se denominan delta, 4-7 Hz son theta, ambas son ritmos lentos; 8-12 Hz son alfa, y para 13 Hz, y por debajo de 25 Hz, son beta, ambas son ritmos rápidos. Frecuencias 25-69 Hz (gamma baja y alta), no son comúnmente encontradas en el cuero cabelludo; éstas surgen directamente de la superficie cortical y se registran por medio de electrodos intracraneales (St. Louis y Frey, 2016).

3.2 Construcción de Series de tiempo de fluctuaciones

En este trabajo se construyeron, dentro de este marco de referencia, se construyeron series de tiempo de fluctuaciones de la actividad cerebral en pacientes con trastornos de aprendizaje, por cada niño evaluado se generaron 19 EEG. Cada EEG de cada canal se estudió como una serie de tiempo original de datos de voltaje contra tiempo, a partir de esta se construyeron series de tiempo de desviaciones estándar (fluctuación), ya que la desviación estándar es el parámetro más empleado para determinar la variación, cambio o fluctuación de una variable (en este caso voltaje) a través del tiempo.

Dado lo anterior, en este trabajo se construyeron 198 series de tiempo de desviaciones estándar, $v(t, \tau)$, a partir de las series originales, $z(t)$, por cada uno de los 19 canales (o electrodos), a saber: C₁, C₂, C_Z, F₃, F₄, F₇, F₈, F_{P1}, F_{P2}, F_Z, O₁, O₂, P₃, P₄, P_Z, T₃, T₄, T₅, y T₆, obtenidas a partir de los EEG. De acuerdo a Kantz y Schreiber (1997), la dinámica interna de muchos sistemas complejos se ha estudiado a través de la caracterización de las fluctuaciones de las series de tiempo generadas por estos sistemas. En principio, y desde un punto de vista estadístico, las fluctuaciones de las series de tiempo, $z(t)$, se caracterizan por sus desviaciones estándar

$$v(t, \tau) = \sqrt{\sum (z(t) - \bar{z}(t))^2 / n} \quad (3.1)$$

para el intervalo de tiempo de una muestra, τ (Constantin y Das Sarma, 2005).

3.2.1 Series de tiempo de fluctuaciones para grupo experimental

En las figuras 3.1 – 3.19 (a) se muestran las gráficas de las series de tiempo originales, $z(t)$, de los canales F_{p1} , F_{p2} , F_3 , F_4 , C_3 , C_4 , P_3 , P_4 , O_1 y O_2 , F_7 , F_8 , T_3 , T_4 , T_5 , T_6 , F_z , C_z y P_z , respectivamente, de un niño del grupo experimental evaluado.

Asimismo, en las figuras 3.1(b) – (d), 3.2(b) – (d), 3.3(b) – (d), 3.4(b) – (d), 3.5(b) – (d), 3.6(b) – (d), 3.7(b) – (d), 3.8(b) – (d), 3.9(b) – (d), 3.10(b) – (d), 3.11(b) – (d), 3.12(b) – (d), 3.13(b) – (d), 3.14(b) – (d), 3.15(b) – (d), 3.16(b) – (d), 3.17(b) – (d), 3.18(b) – (d), 3.19(b) – (d), se muestran las gráficas de series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, de los canales F_{p1} , F_{p2} , F_3 , F_4 , C_3 , C_4 , P_3 , P_4 , O_1 , O_2 , F_7 , F_8 , T_3 , T_4 , T_5 , T_6 , F_z , C_z y P_z para intervalos de tiempo $\tau = 25s$, $\tau = 50s$ y $\tau = 100s$, respectivamente, de un niño perteneciente al grupo experimental.

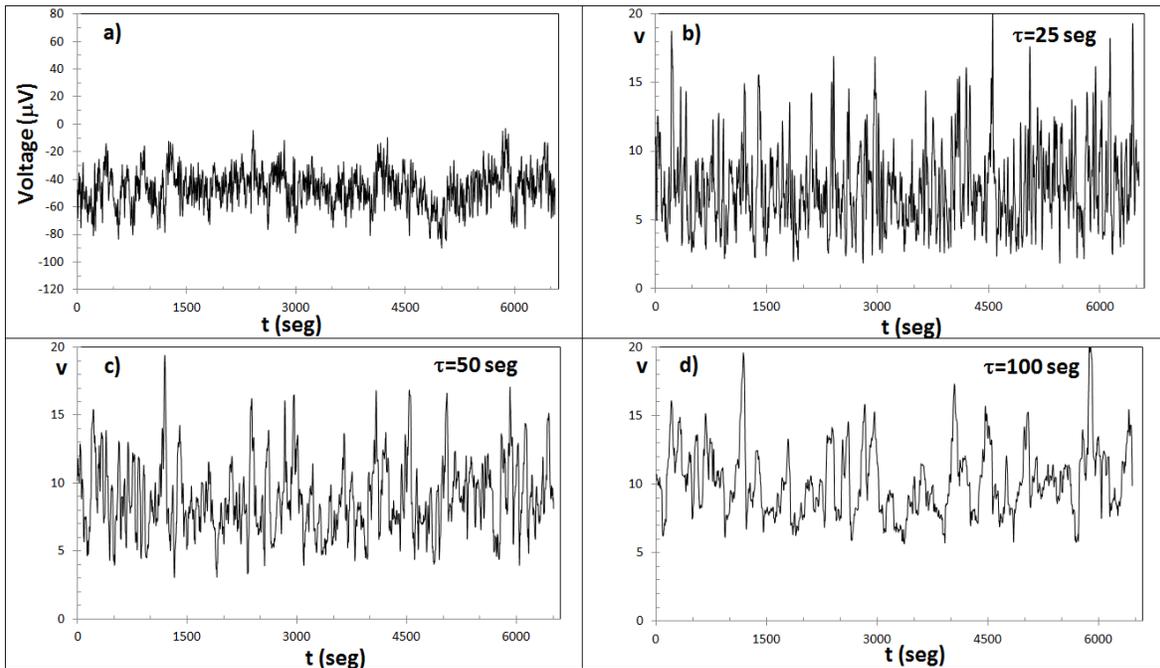


Figura 3.1. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_{p1} con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_{p1} con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.

Fuente: Elaboración propia.

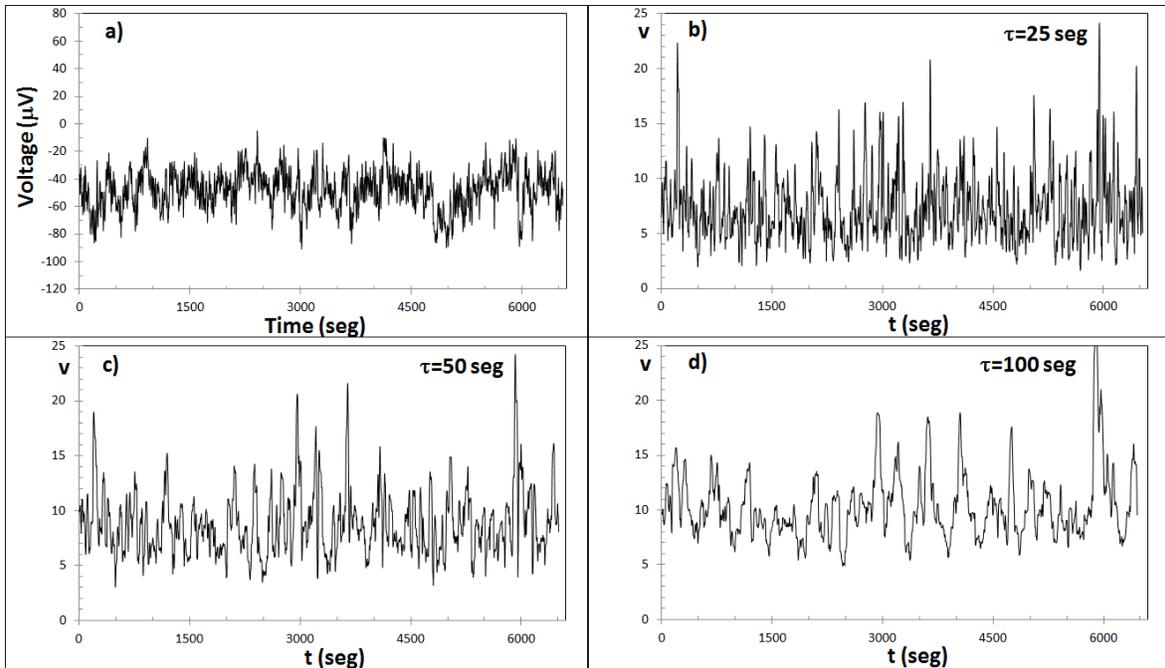


Figura 3.2. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_{P2} con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_{P2} con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

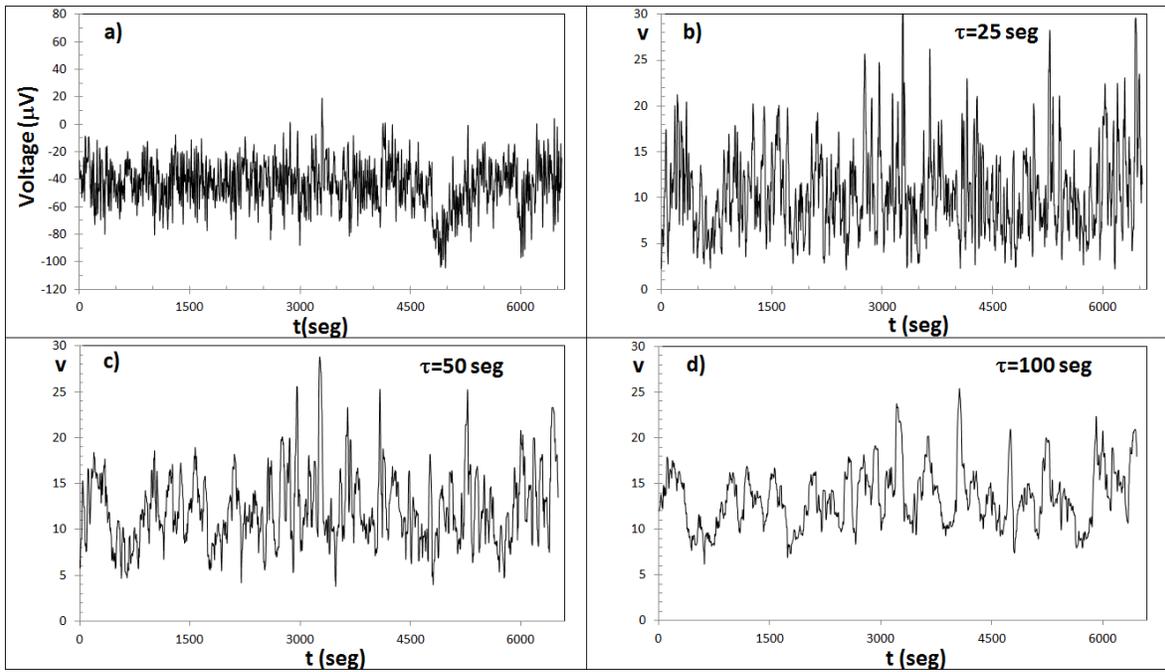


Figura 3.3. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_3 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_3 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

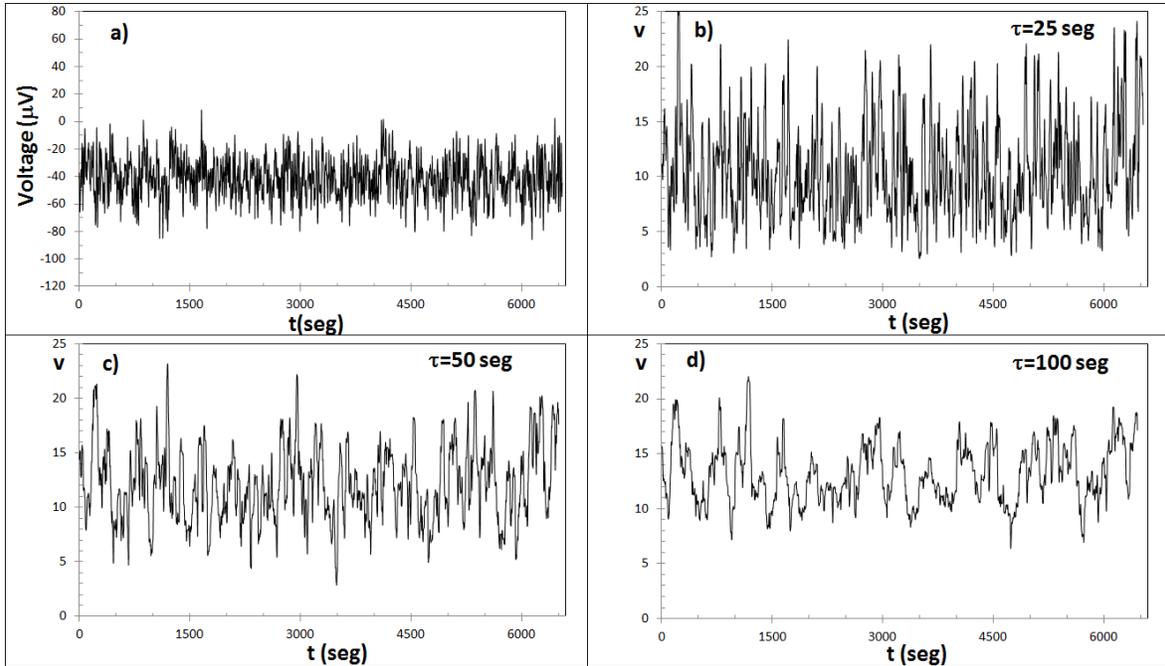


Figura 3.4. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_4 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_4 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

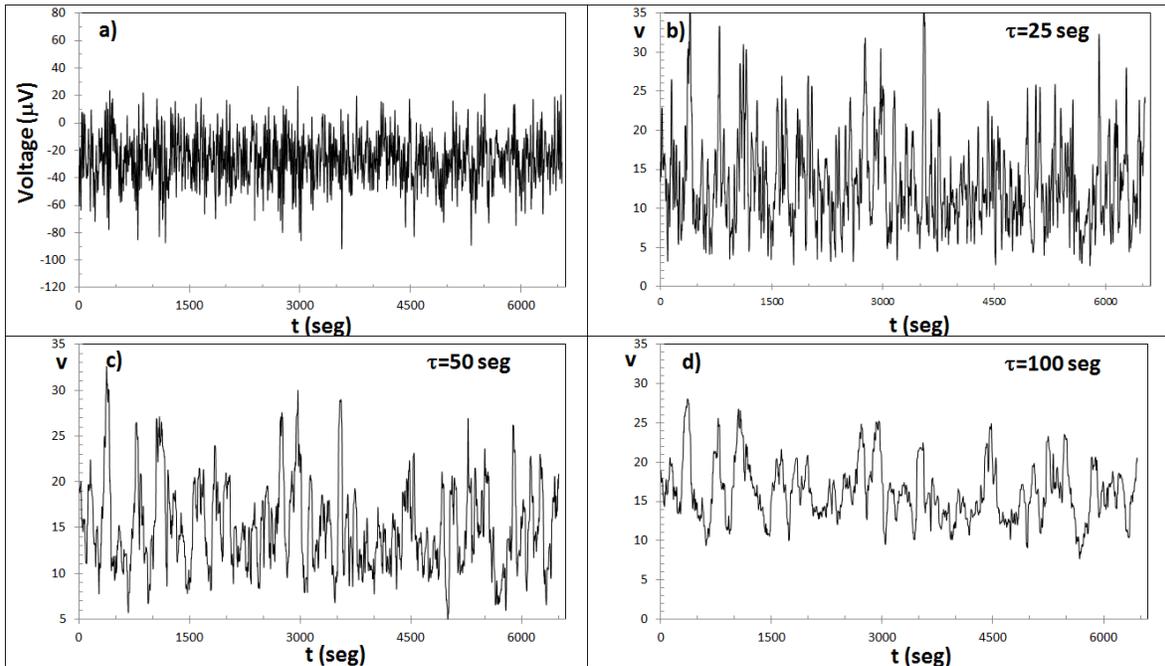


Figura 3.5. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal C_3 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal C_3 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

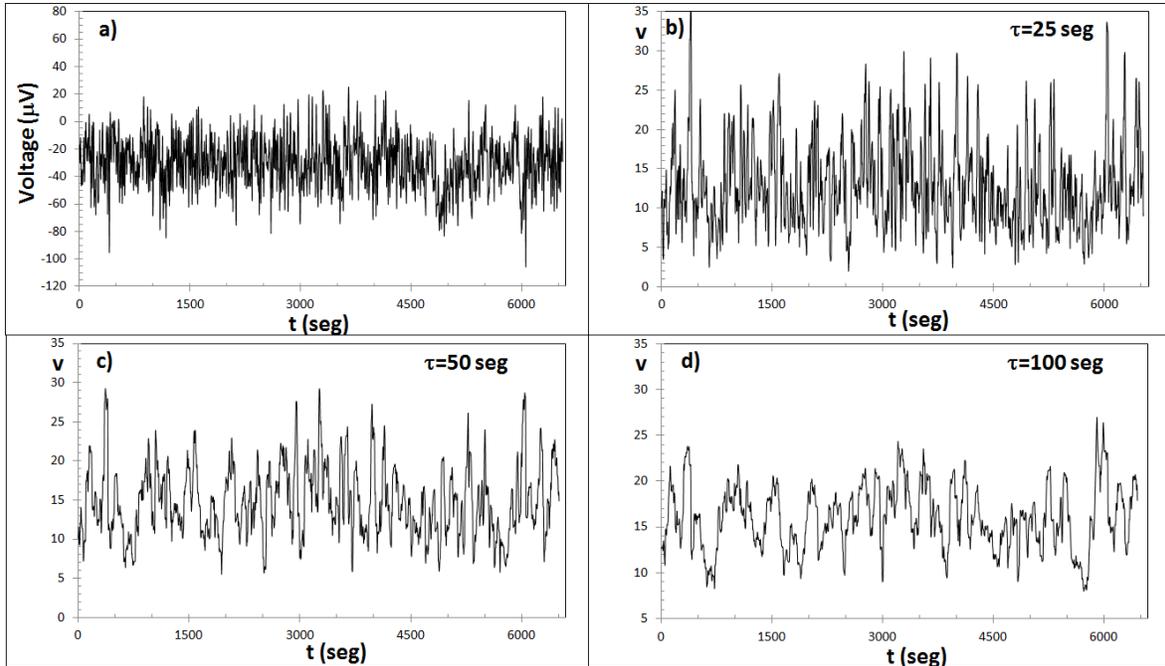


Figura 3.6. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal C_4 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal C_4 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

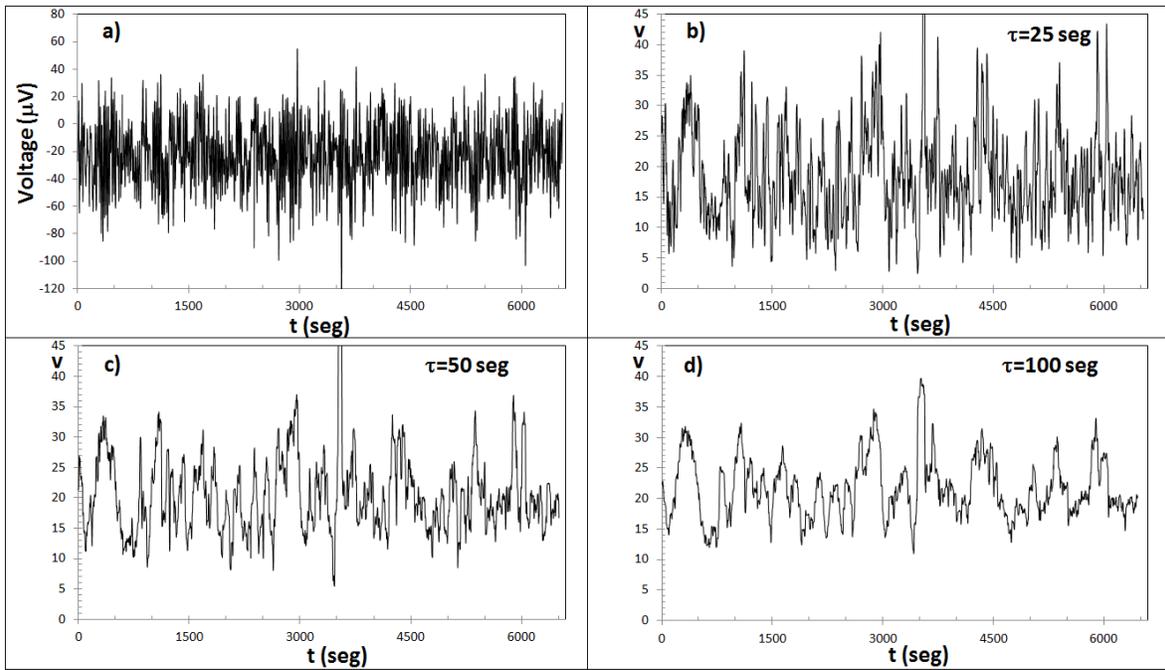


Figura 3.7. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal P_3 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal P_3 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

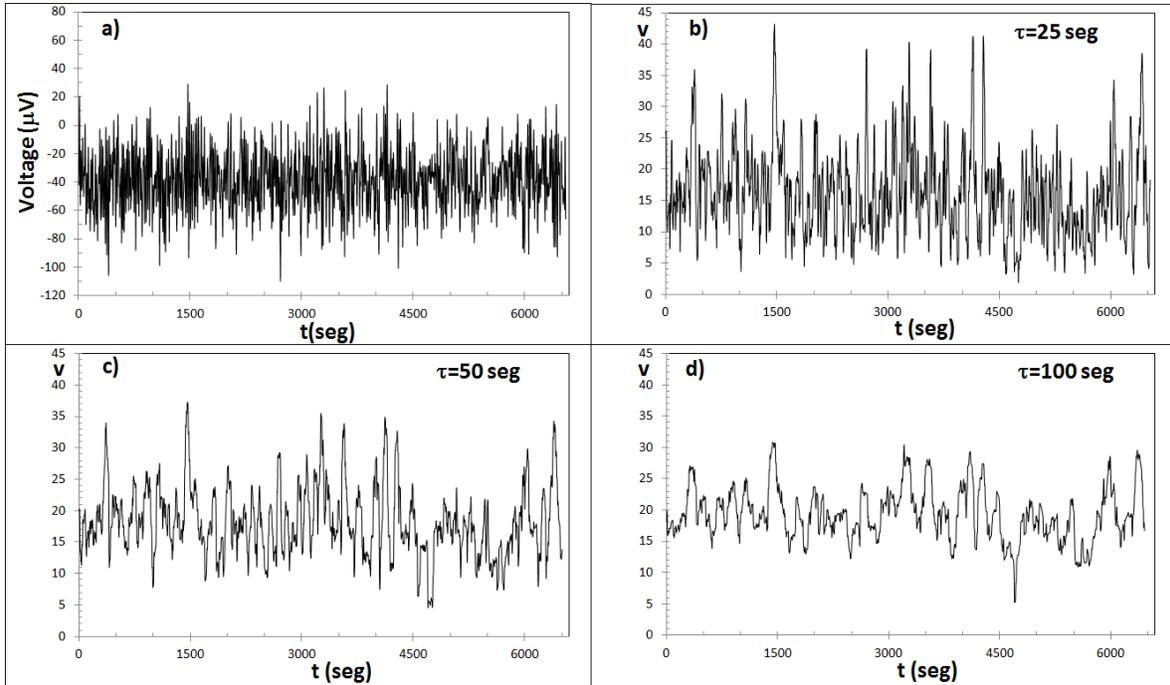


Figura 3.8. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal P₄ con T=6,655 datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal P₄ con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.

Fuente: Elaboración propia.

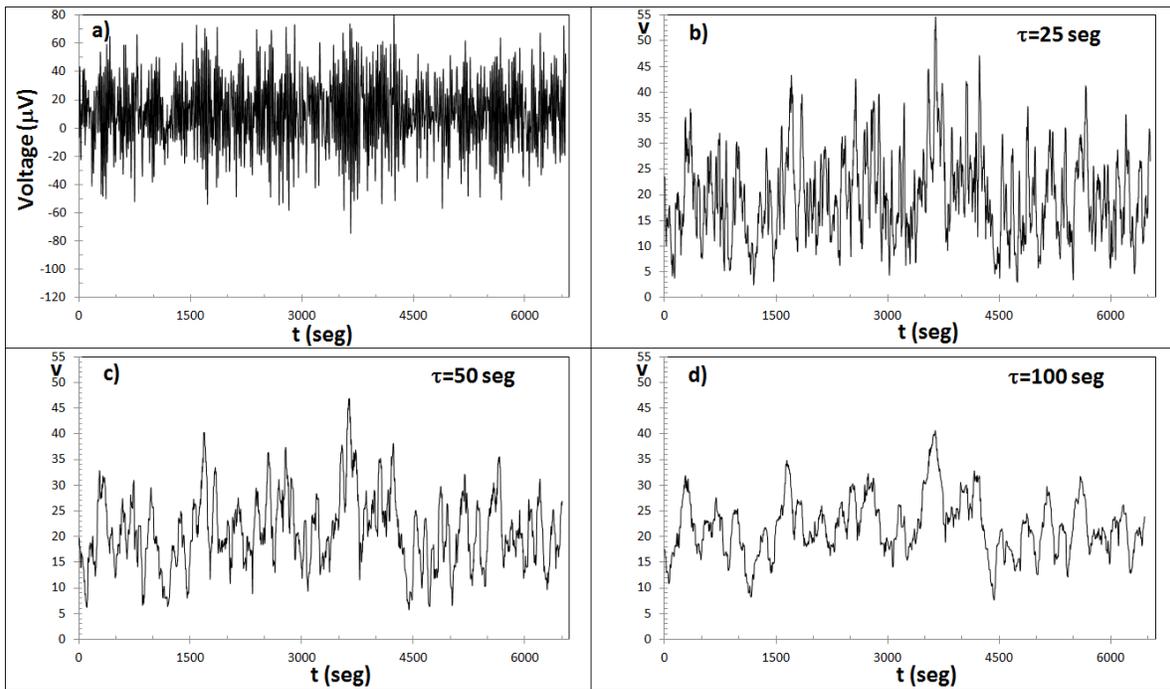


Figura 3.9. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal O₁ con T=6,655 datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal O₁ con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.

Fuente: Elaboración propia.

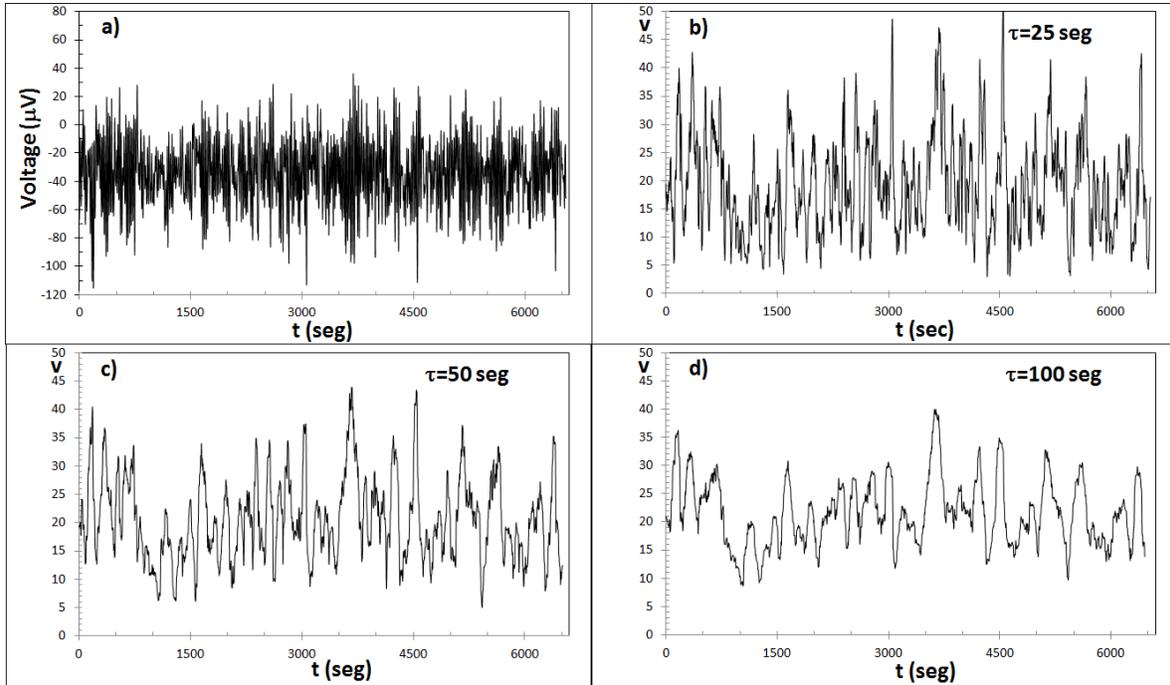


Figura 3.10. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal O₂ con T=6,655 datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal O₂ con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

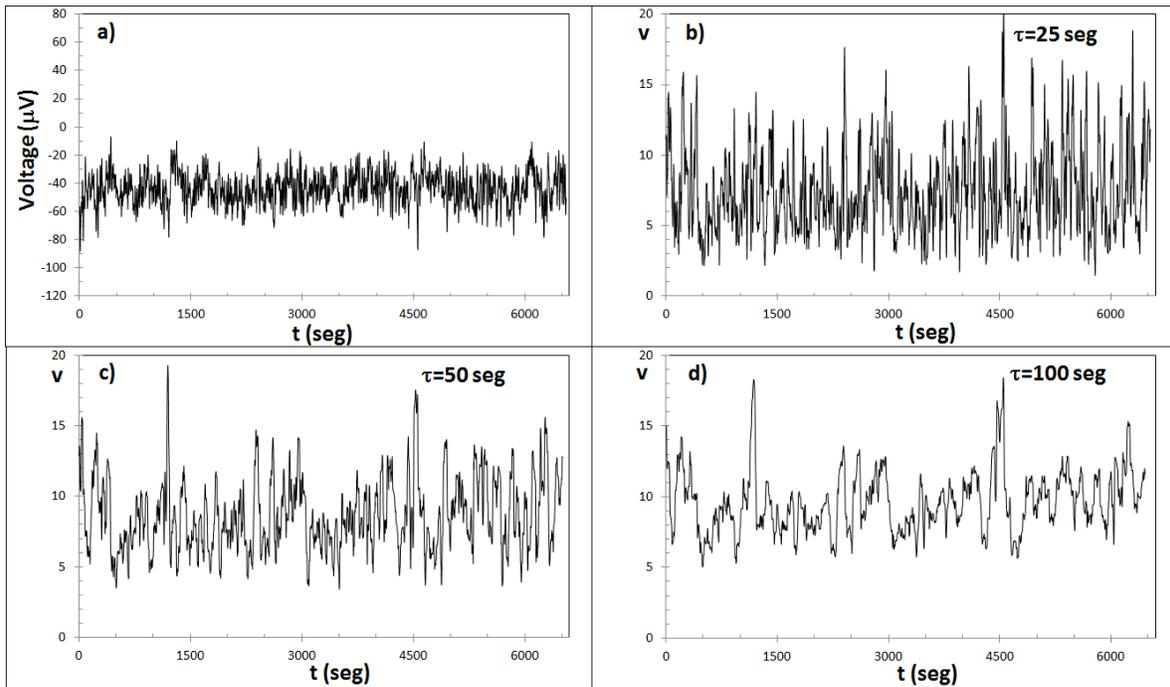


Figura 3.11. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F₇ con T=6,655 datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F₇ con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

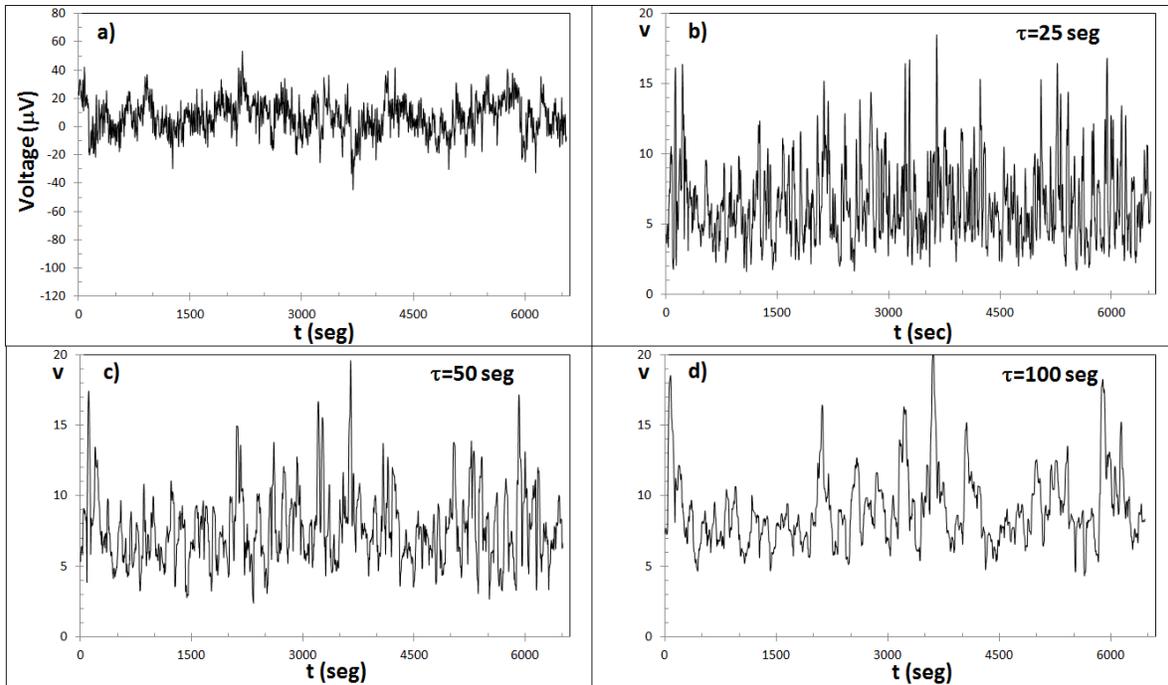


Figura 3.12. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_8 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_8 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

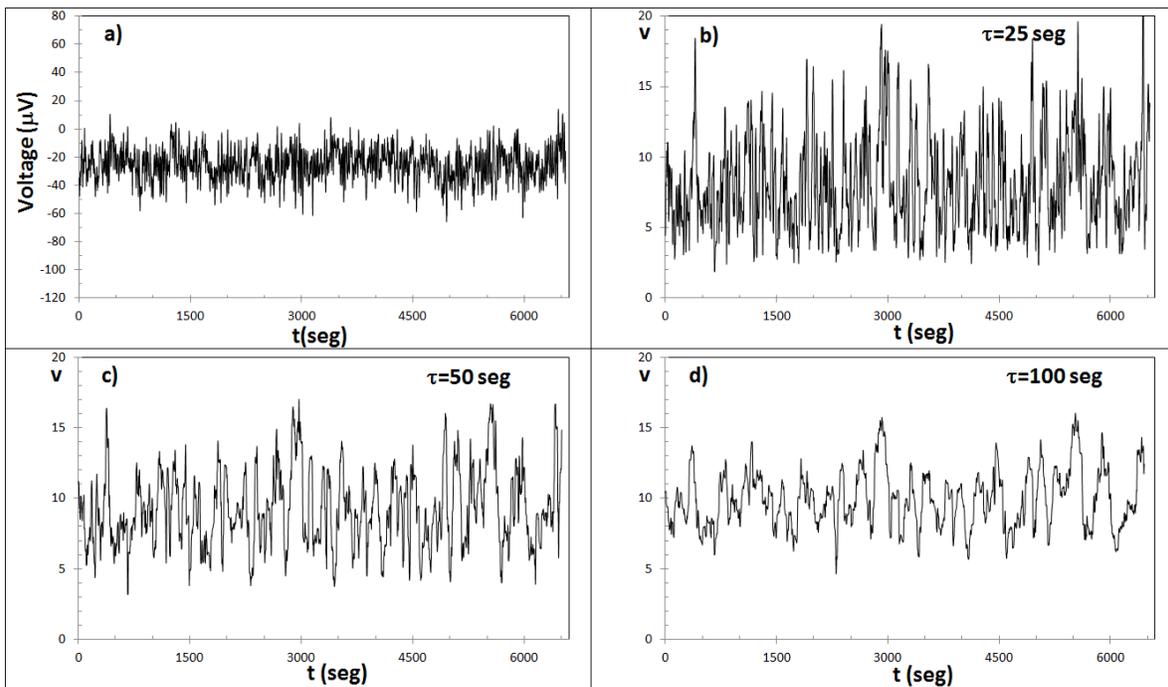


Figura 3.13. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal T_3 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal T_3 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

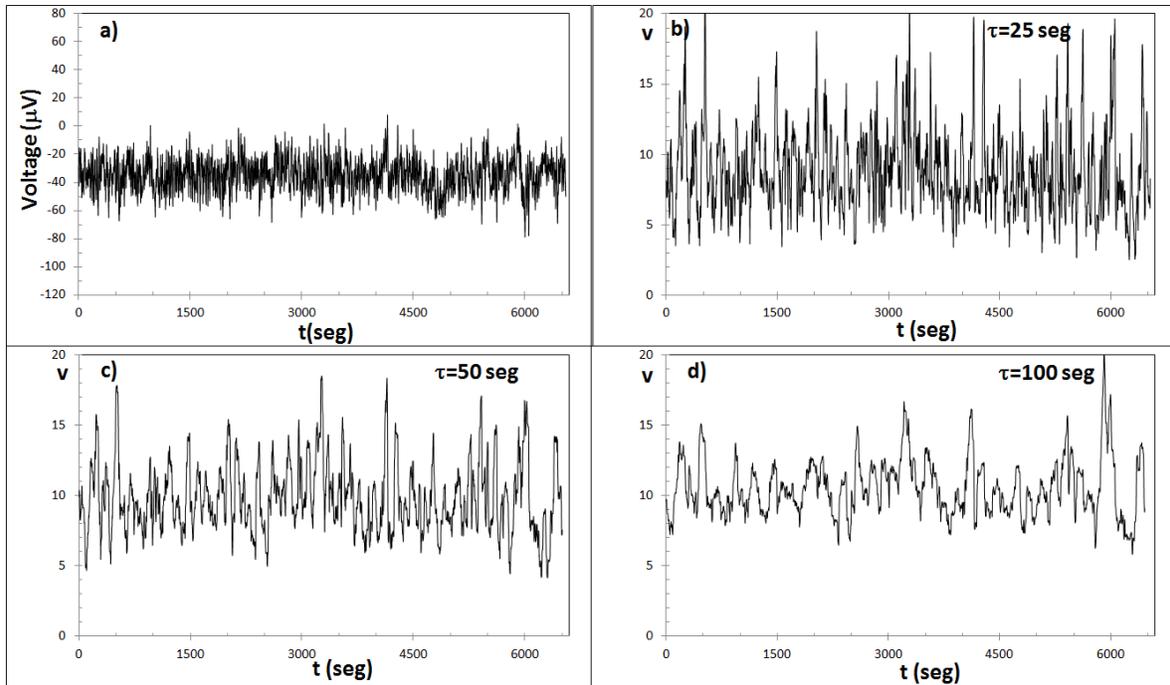


Figura 3.14. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal T_4 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal T_4 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.

Fuente: Elaboración propia.

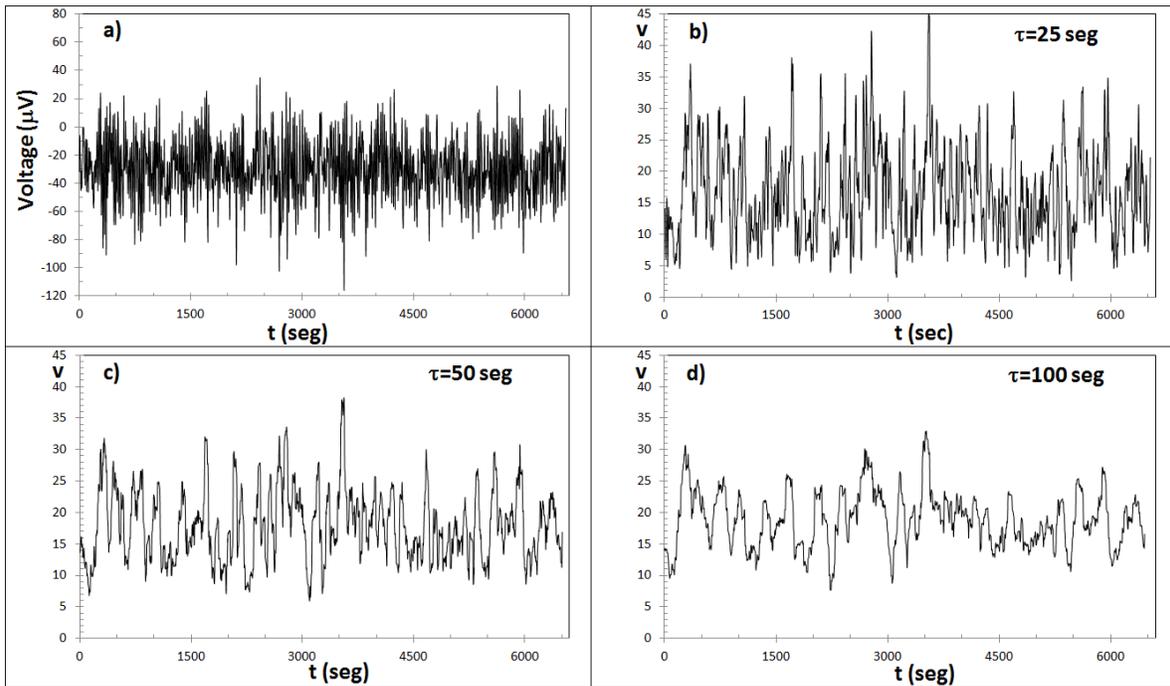


Figura 3.15. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal T_5 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal T_5 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.

Fuente: Elaboración propia.

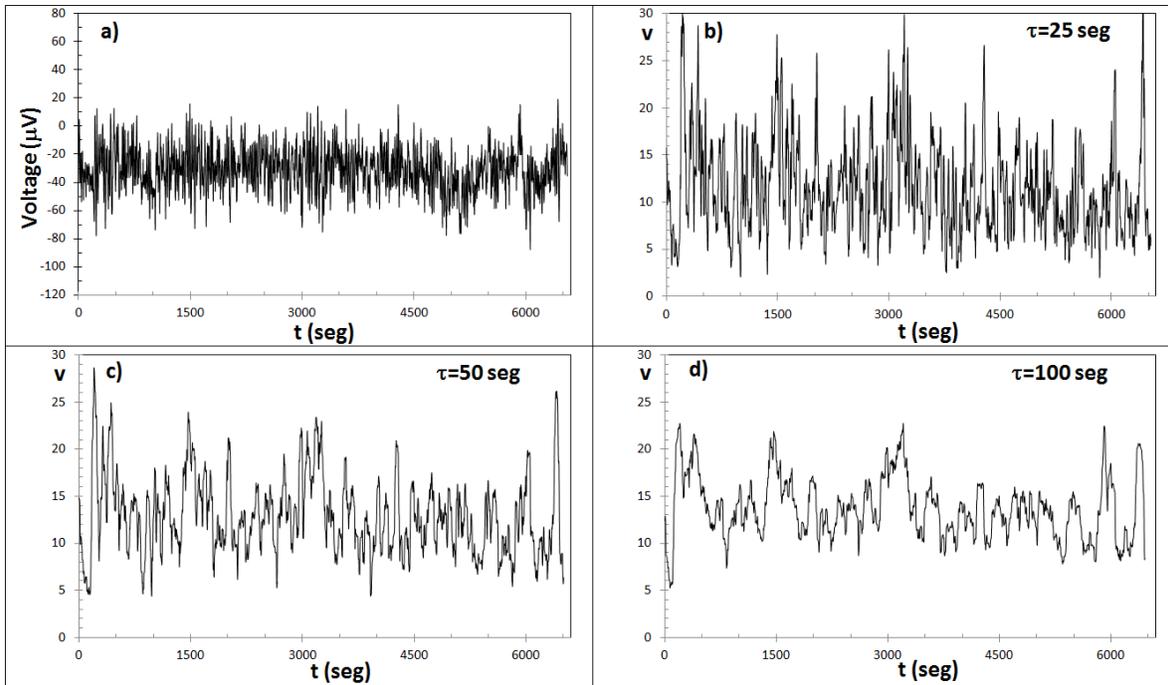


Figura 3.16. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal T_6 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal T_6 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

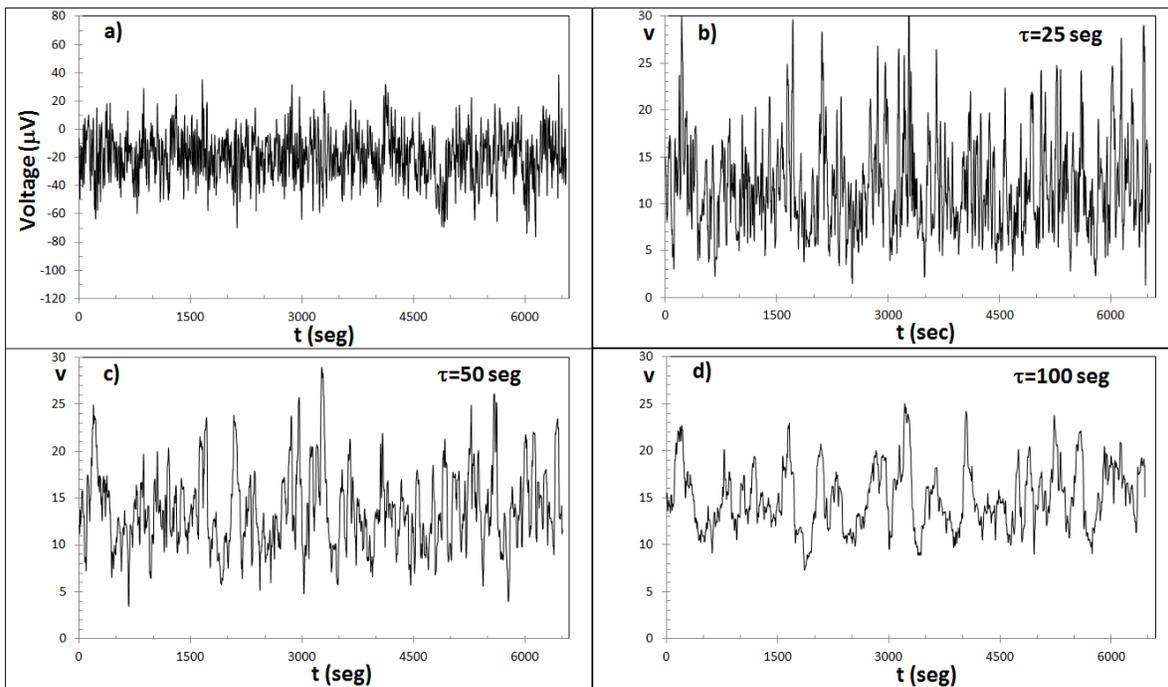


Figura 3.17. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_z con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_z con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

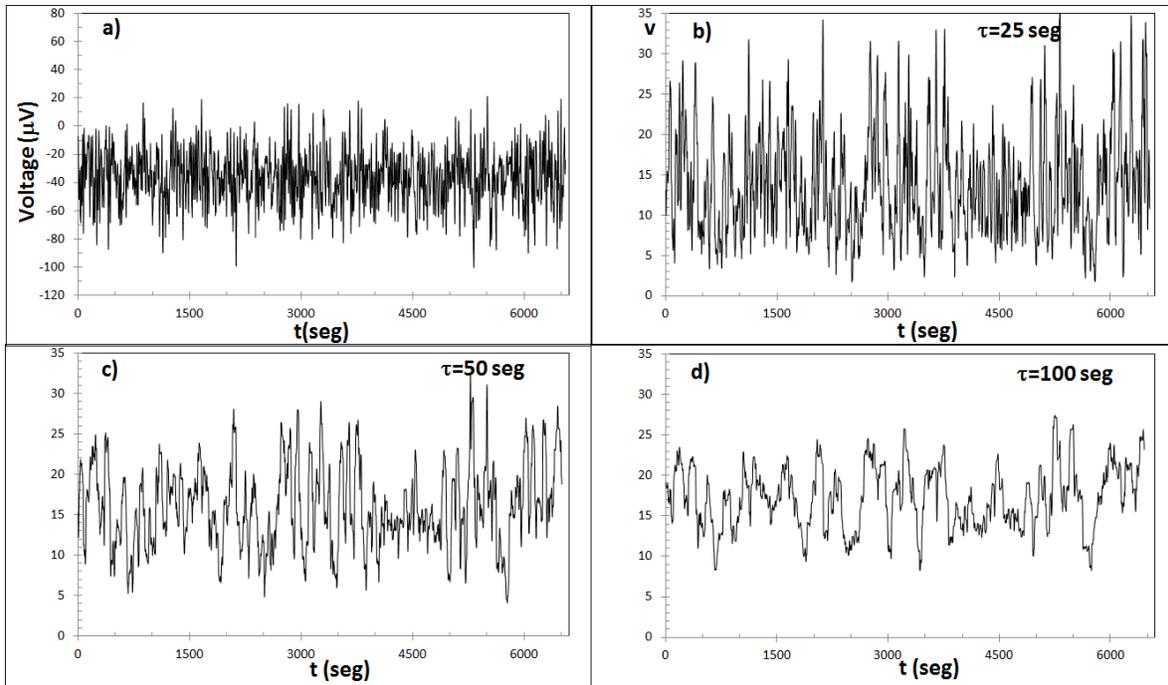


Figura 3.18. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal Cz con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal Cz con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

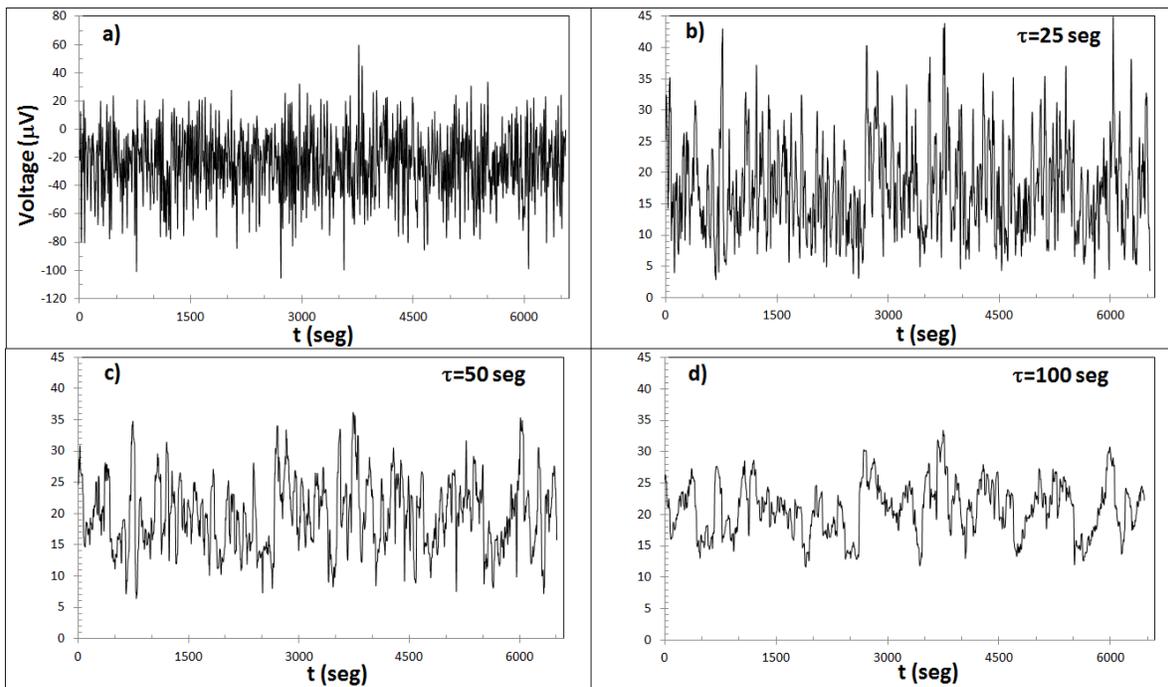


Figura 3.19. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal Pz con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal Pz con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Series de tiempo de fluctuaciones para grupo de control

En las figuras 3.20 – 3.38 (a) se muestran las gráficas de las series de tiempo originales, $z(t)$, de los canales F_{p1} , F_{p2} , F_3 , F_4 , C_3 , C_4 , P_3 , P_4 , O_1 y O_2 , F_7 , F_8 , T_3 , T_4 , T_5 , T_6 , F_z , C_z y P_z , respectivamente, de un niño del grupo de control evaluado.

Asimismo, en las figuras 3.20(b) – (d), 3.21(b) – (d), 3.22(b) – (d), 3.23(b) – (d), 3.24(b) – (d), 3.25(b) – (d), 3.26(b) – (d), 3.27(b) – (d), 3.28(b) – (d), 3.29(b) – (d), 3.30(b) – (d), 3.31(b) – (d), 3.32(b) – (d), 3.33(b) – (d), 3.34(b) – (d), 3.35(b) – (d), 3.36(b) – (d), 3.37(b) – (d), 3.38(b) – (d), se muestran las gráficas de series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, de los canales F_{p1} , F_{p2} , F_3 , F_4 , C_3 , C_4 , P_3 , P_4 , O_1 , O_2 , F_7 , F_8 , T_3 , T_4 , T_5 , T_6 , F_z , C_z y P_z para intervalos de tiempo $\tau = 25s$, $\tau = 50s$ y $\tau = 100s$, respectivamente, de un niño que pertenece al grupo de control.

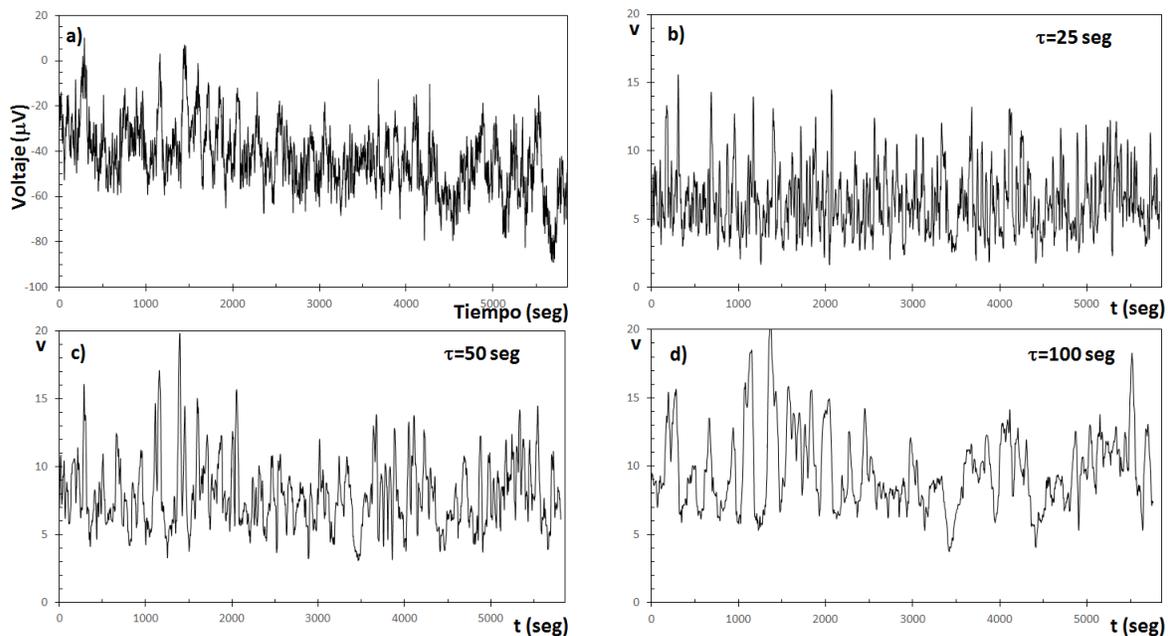


Figura 3.20. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_{P1} con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_{P1} con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.

Fuente: Elaboración propia.

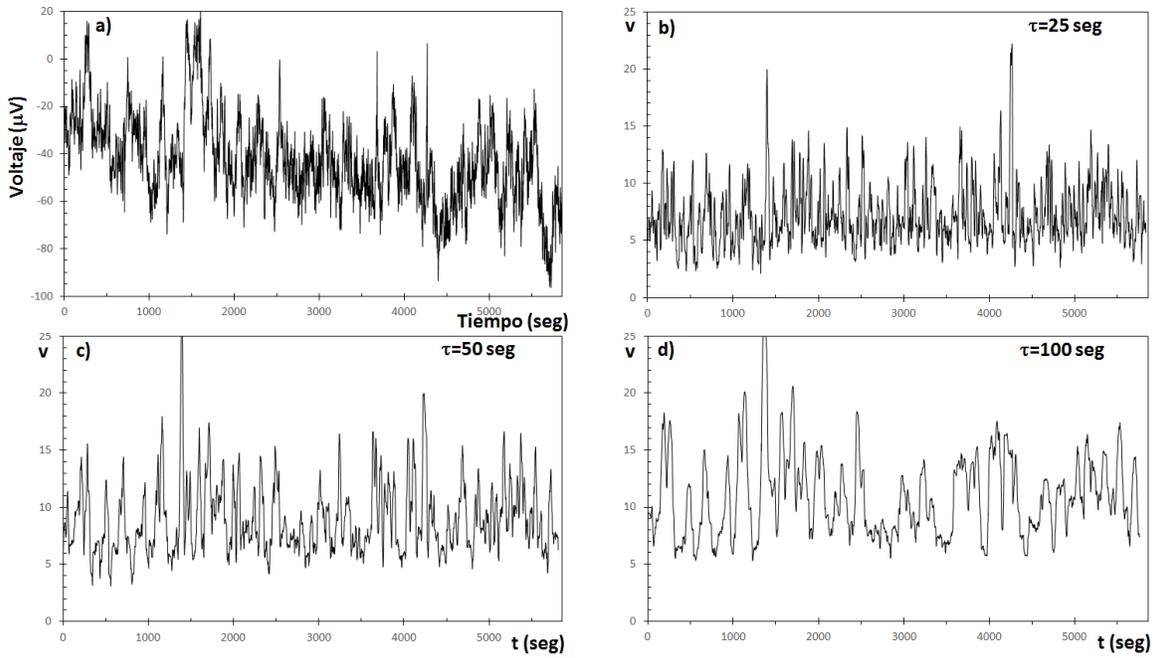


Figura 3.21. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_{P2} con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_{P2} con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

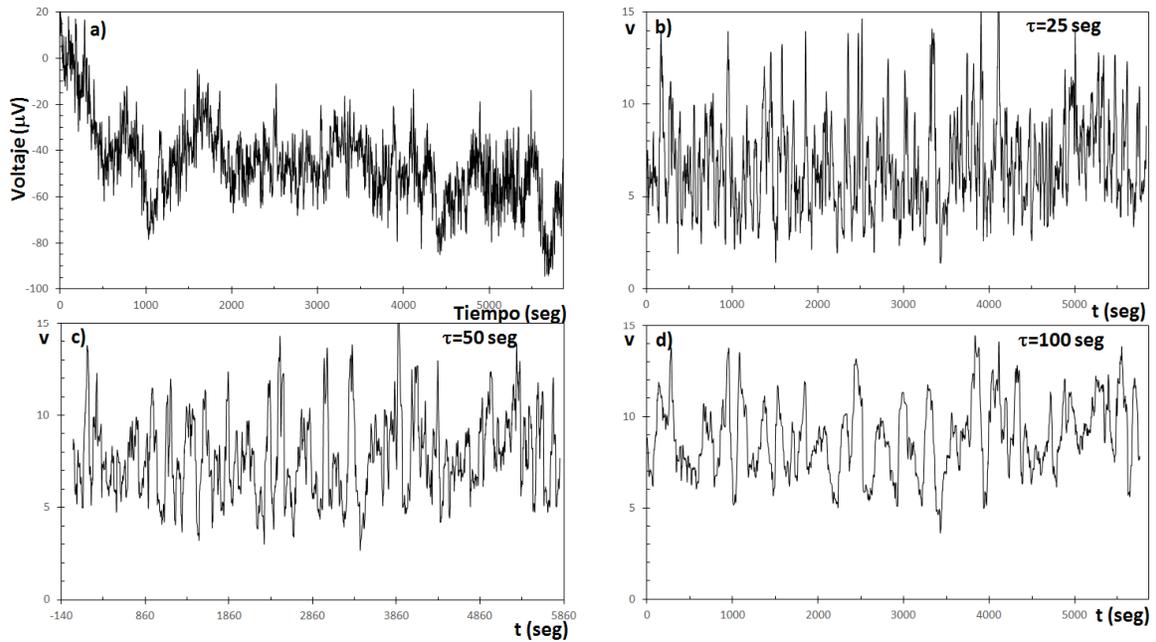


Figura 3.22. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_3 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_3 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

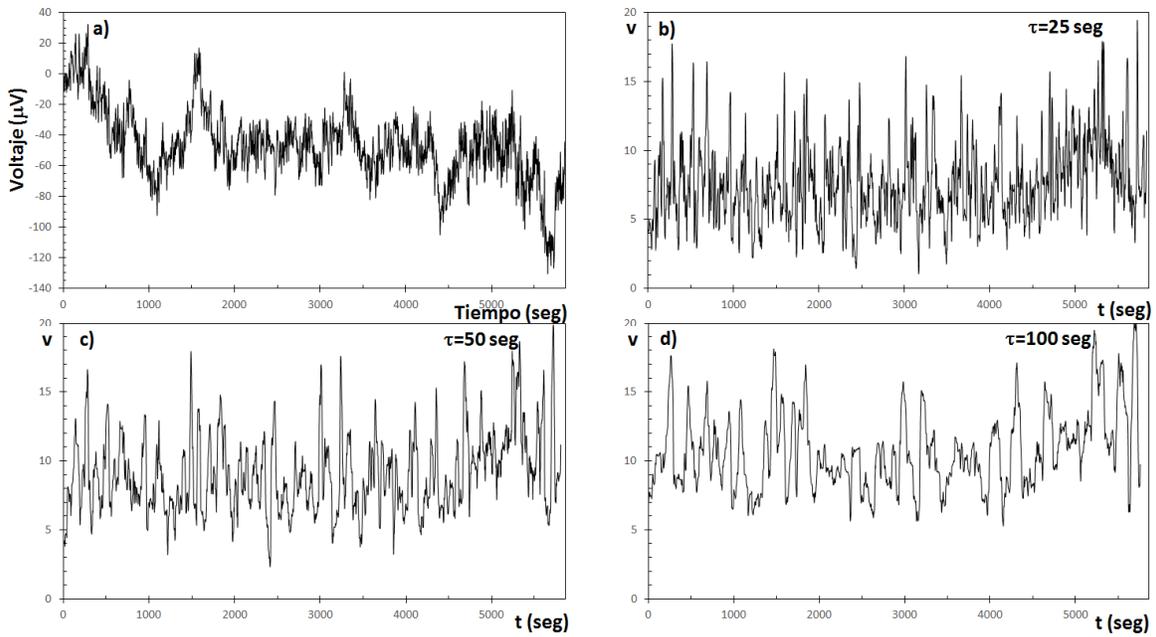


Figura 3.23. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_4 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_4 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

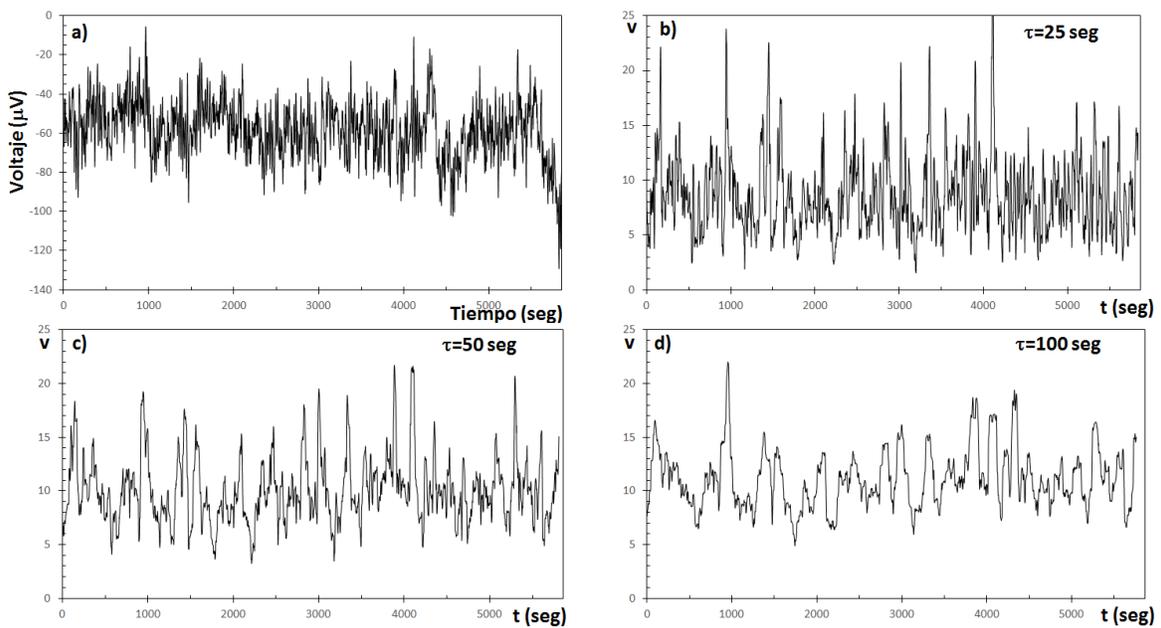


Figura 3.24. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal C_3 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal C_3 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

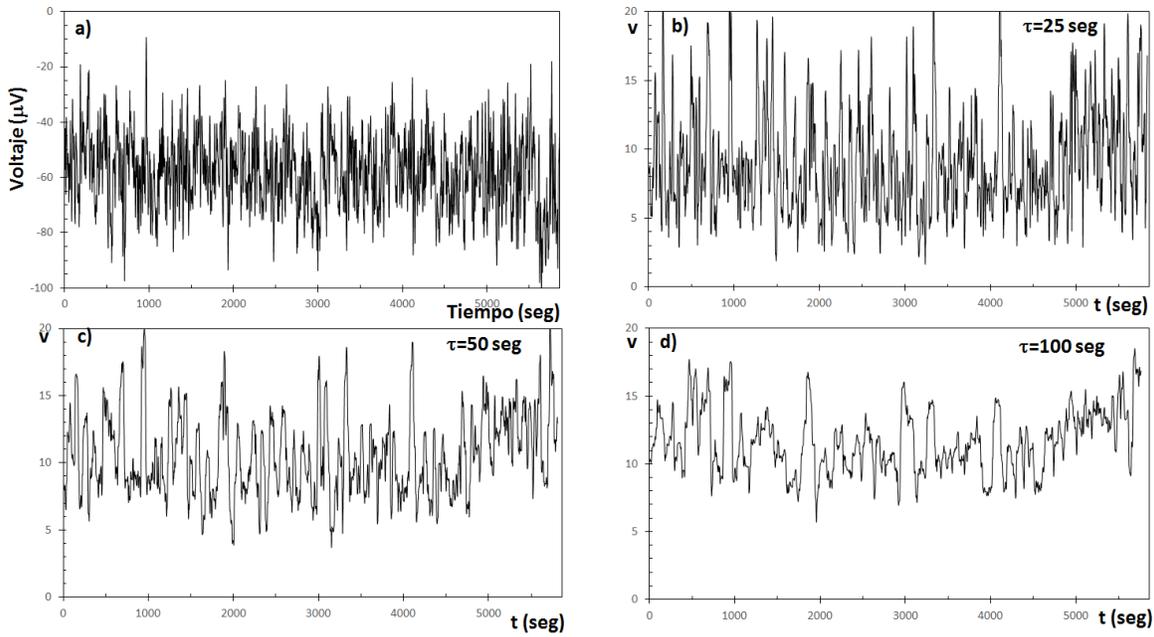


Figura 3.25. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal C_4 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal C_4 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

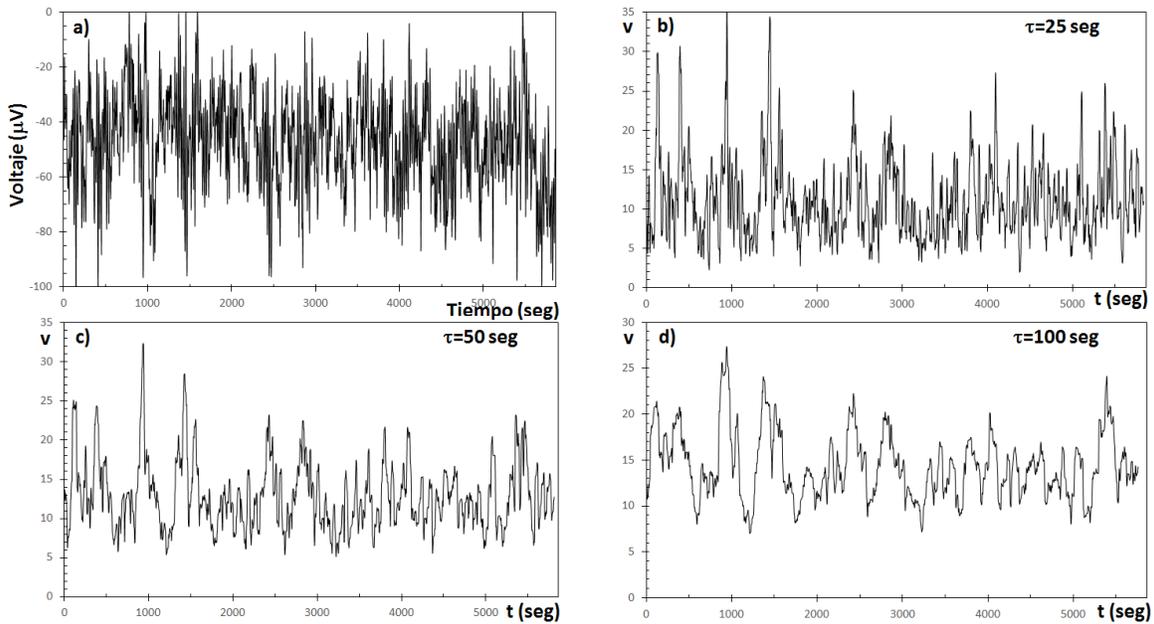


Figura 3.26. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal P_3 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal P_3 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

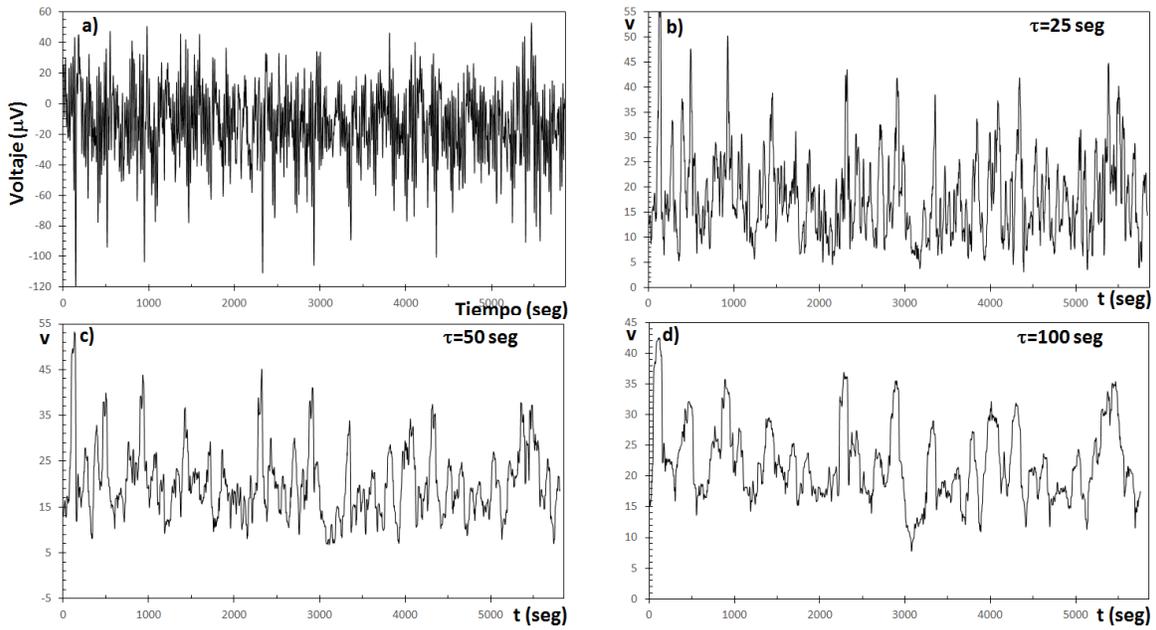


Figura 3.27. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal O_1 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal O_1 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

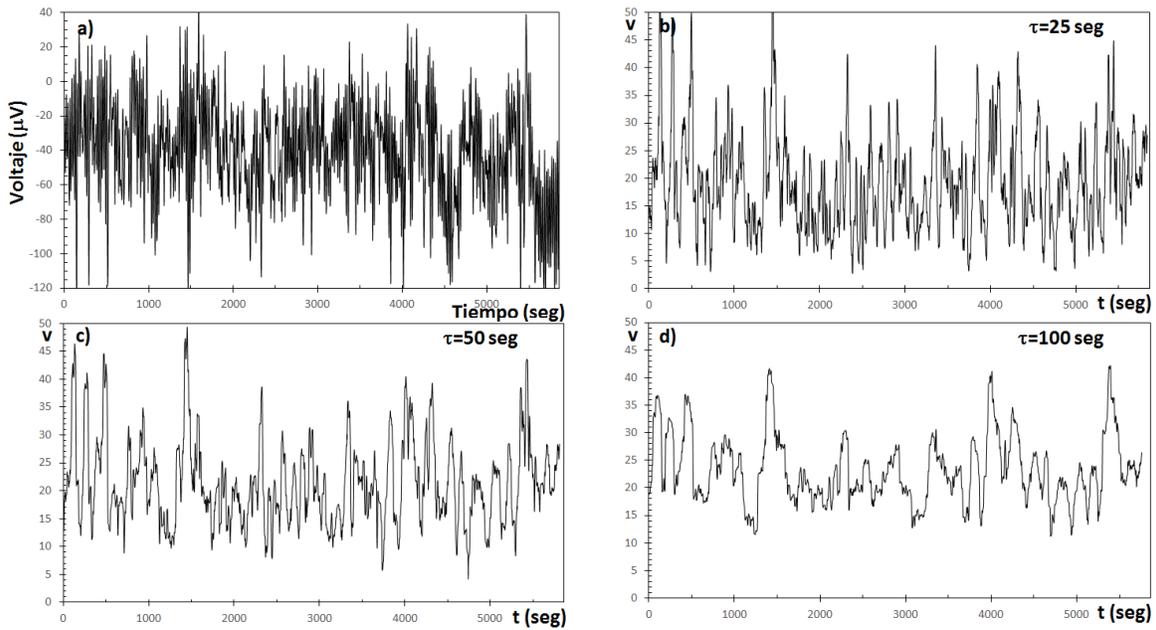


Figura 3.28. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal O_2 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal O_2 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

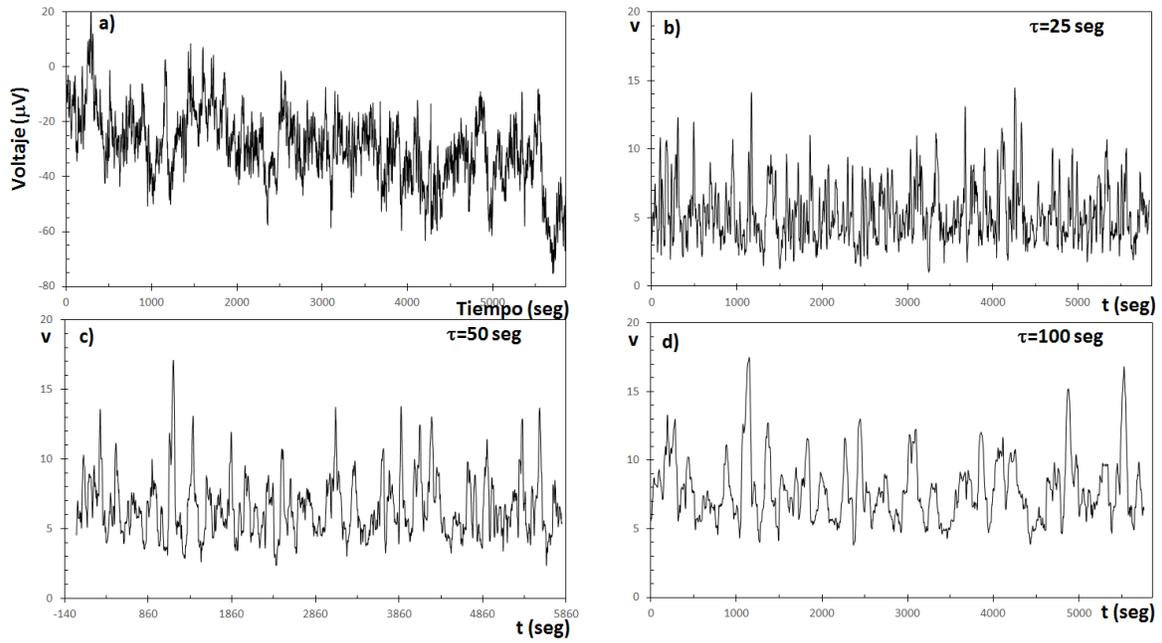


Figura 3.29. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_7 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_7 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

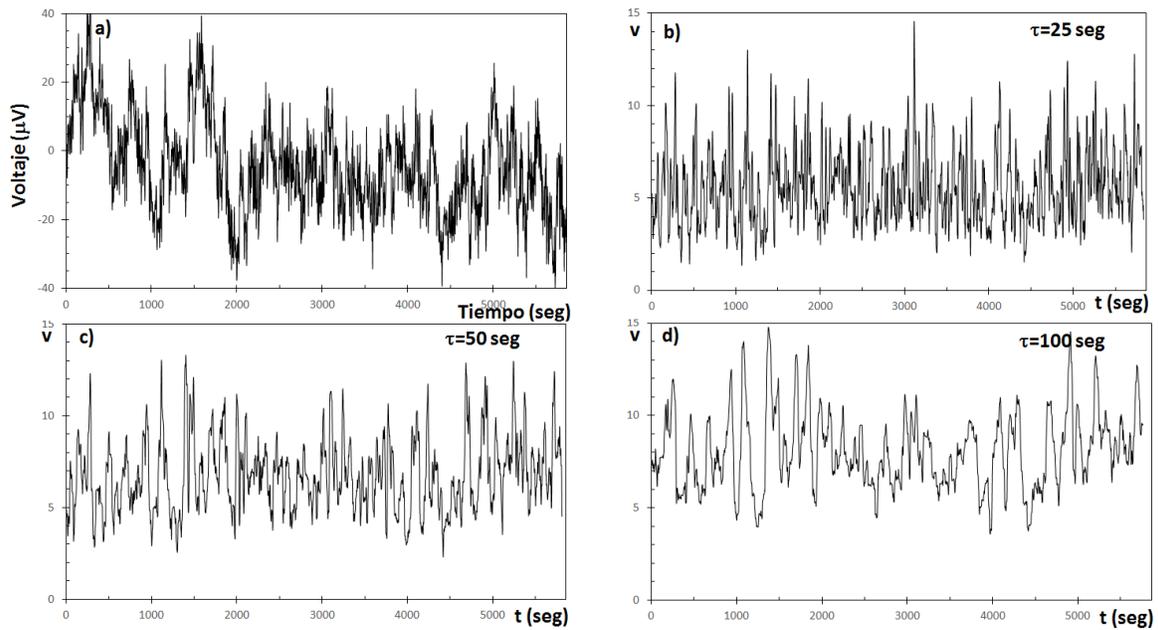


Figura 3.30. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_8 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_8 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

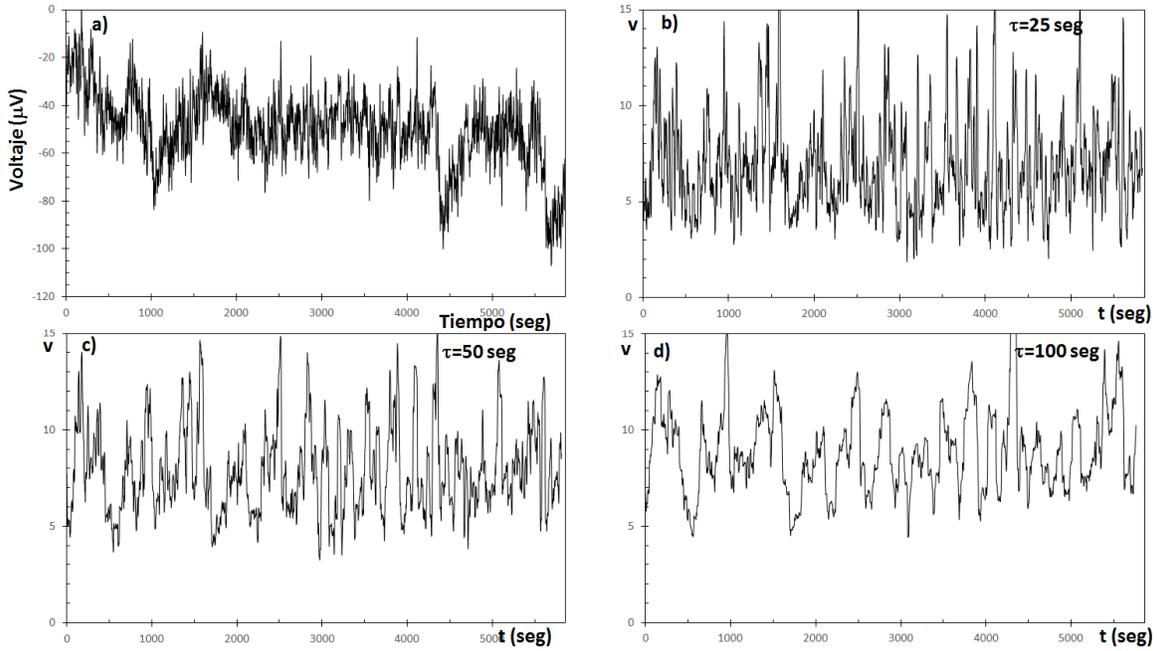


Figura 3.31. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal T_3 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal T_3 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

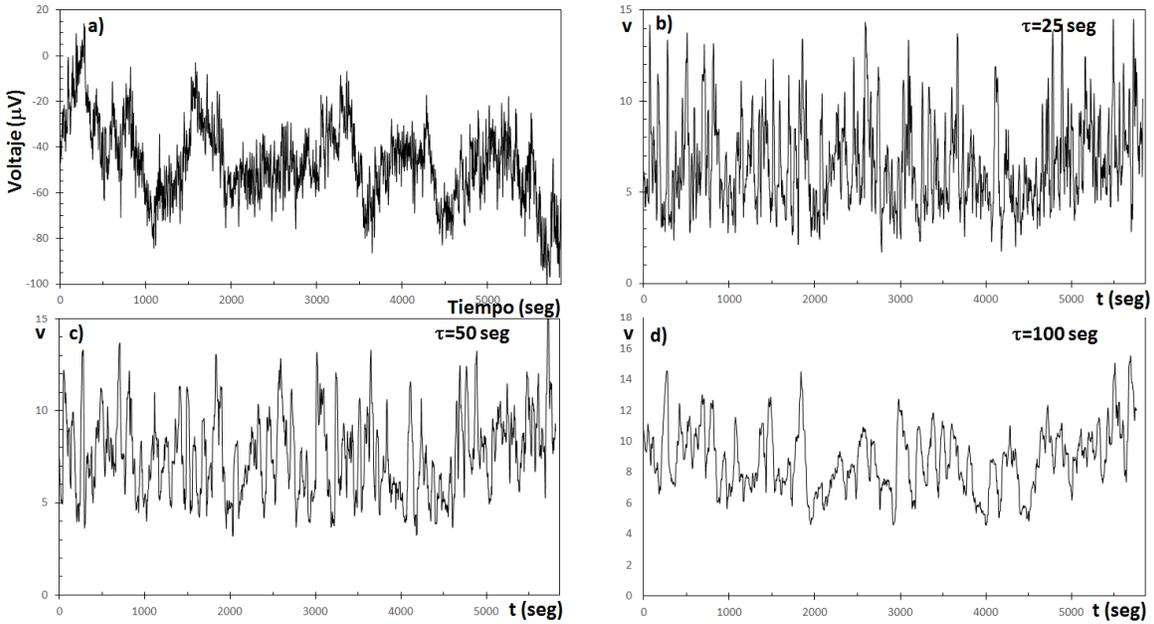


Figura 3.32. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal T_4 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal T_4 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

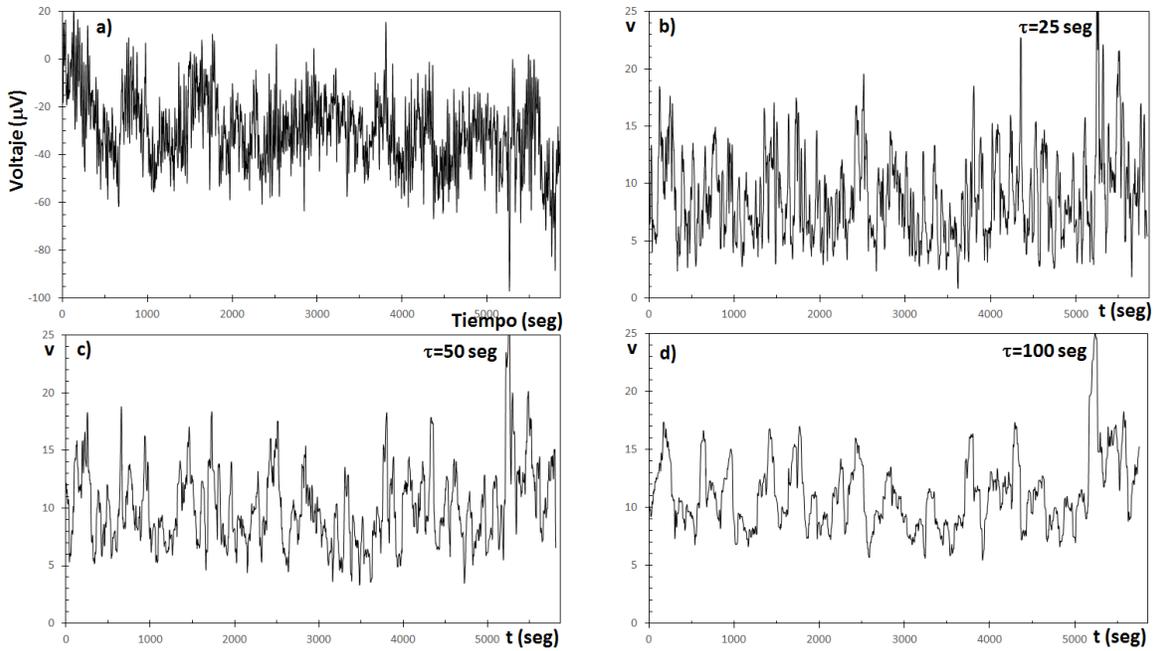


Figura 3.33. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal T_5 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal T_5 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

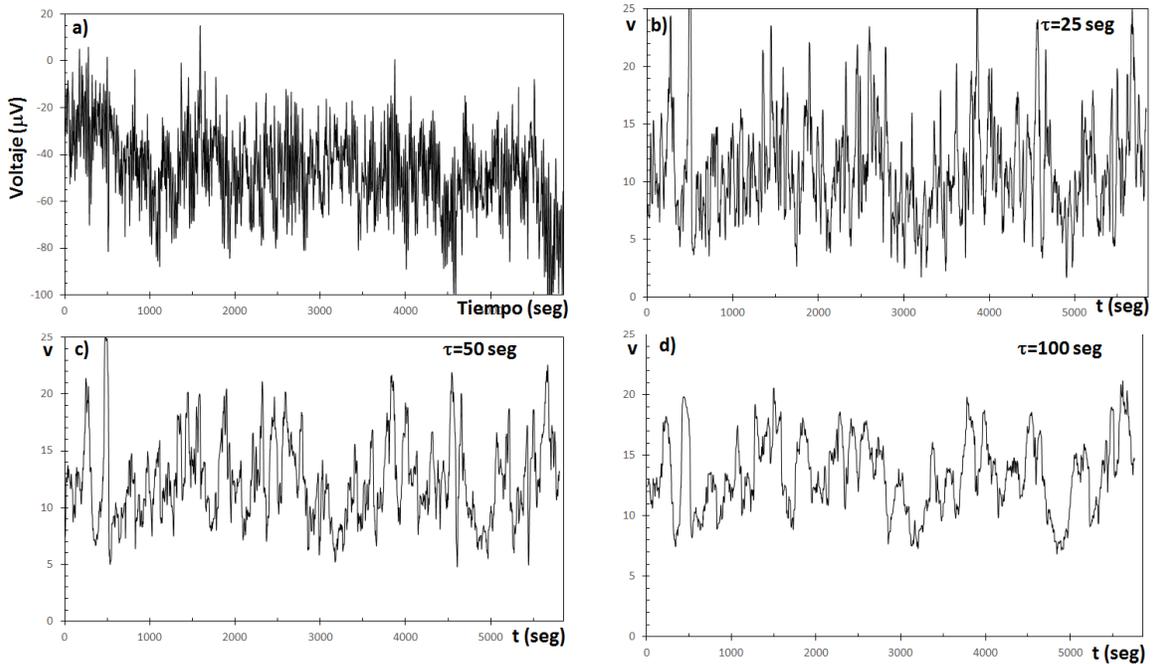


Figura 3.34. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal T_6 con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal T_6 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

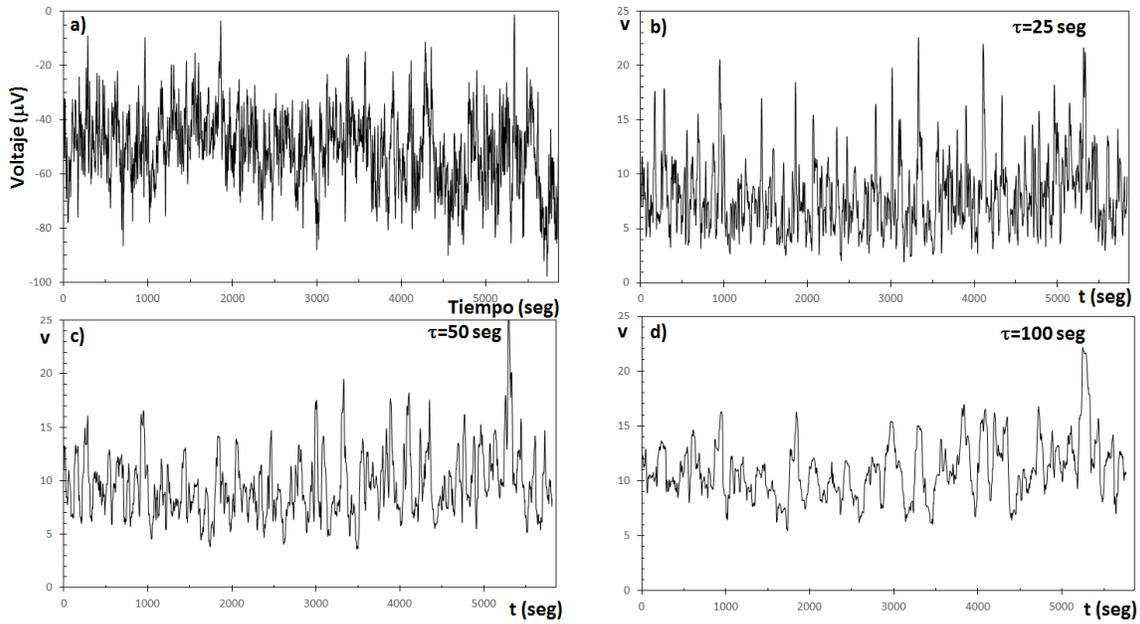


Figura 3.35. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal F_z con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal F_z con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

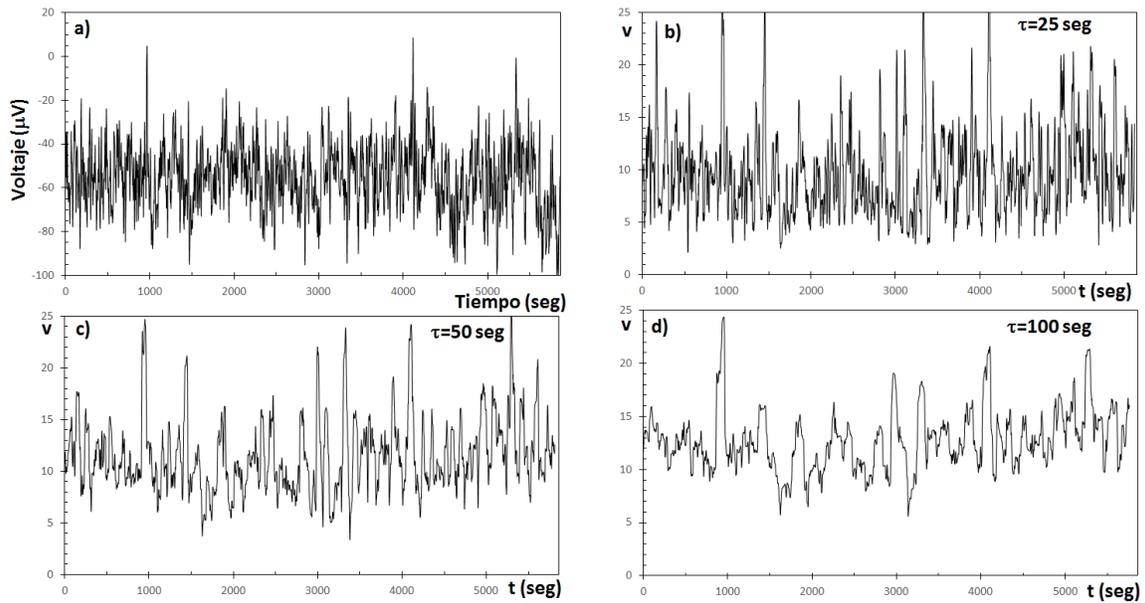


Figura 3.36. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal C_z con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal C_z con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25s$. (c) $\tau = 50s$. (d) $\tau = 100s$.
Fuente: Elaboración propia.

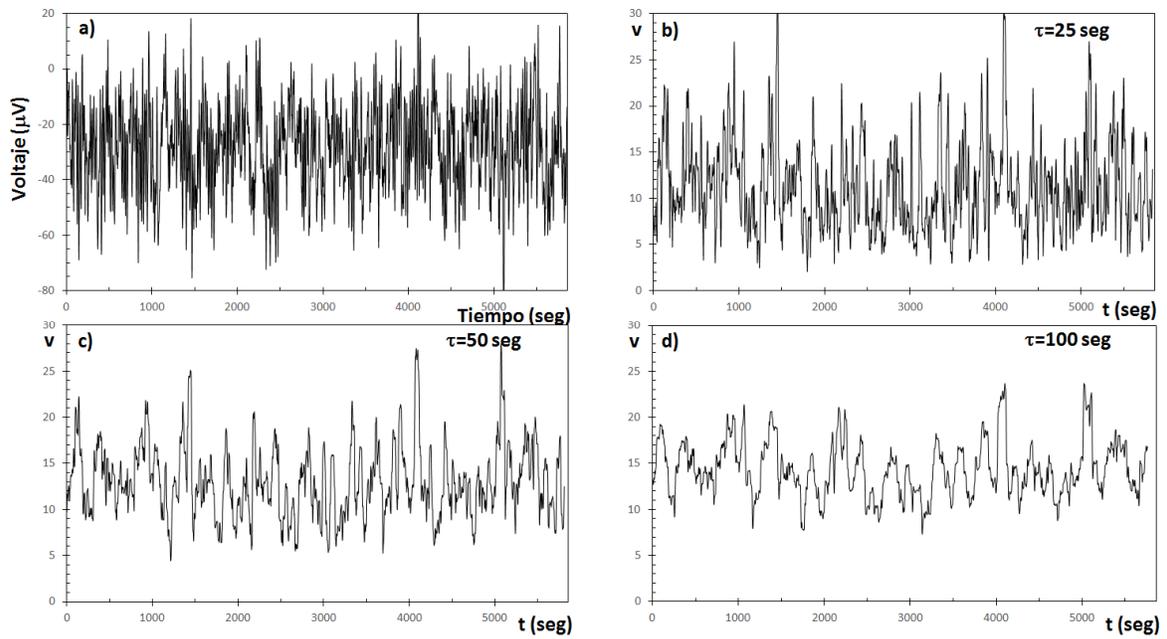


Figura 3.37. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal Pz con $T=6,655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal Pz con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25\text{s}$. (c) $\tau = 50\text{s}$. (d) $\tau = 100\text{s}$.
Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4: Dinámica fractal del trastorno de lectura

4.1 Caracterización fractal del trastorno de lectura

Balankin y Morales (2004) reportaron que las fluctuaciones, tratadas como desviaciones estándar, de algunos sistemas complejos despliegan una propiedad fundamental de los fractales: correlaciones de ley de potencia a largo plazo (persistencia), concluyendo que los sistemas no responden inmediatamente a cierta cantidad de información que fluye hacia los mismos, sino que éstos asimilan dicha información después de cierto periodo de tiempo.

De acuerdo a Constantin y Das Sarma (2005) y a Balankin y Morales (2004), la memoria a largo plazo en las series de tiempo de fluctuaciones se ha analizado frecuentemente a través de su función de estructura, definida como

$$\sigma(\tau, \delta_t) = \overline{[v(t + \delta_t, \tau) - v(t, \tau)]^2}^{1/2} \quad (4.1)$$

donde la barra superior denota promedio sobre todos los tiempos t en las series de tiempo de longitud $T - \tau$ (con T como la longitud de la serie de tiempo original $z(t)$) y los paréntesis triangulares indican promedio sobre diferentes realizaciones de la ventana de tiempo de tamaño δ_t .

Constantin y Das Sarma (2005), Balankin et al. (2005), Balankin y Morales (2004) y Balankin et al. (2006) han encontrado que la función de estructura de las fluctuaciones exhibe el comportamiento de ley de potencia, característico de los fractales auto-afines,

$$\sigma \propto (\delta_t)^\zeta \quad (4.2)$$

donde ζ es el exponente local (o de rugosidad, α , o de Hurst, H), el cual caracteriza el grado de intensidad de las correlaciones a largo plazo en la dinámica de las fluctuaciones (Ramasco, López y Rodríguez, 1997).

No obstante, una mejor comprensión de la dinámica de fluctuaciones requiere una adecuada descripción para las propiedades de correlación de las variables locales en diferentes intervalos de tiempo de las muestras τ , (Balankin y Morales, 2004). Por ende, en este trabajo se aplicó el enfoque propuesto por Balankin (2007) para estudiar la dinámica fluctuaciones de series de tiempo estocástica o auto-afines. Por consiguiente, se trataron las series de tiempo $v(t, \tau)$ como interfaces en movimiento, con el intervalo de tiempo de la muestra, τ , desempeña como la variable de tiempo y el tiempo físico, t , como la variable espacial.

Además, Balankin (2007) señala que la función de estructura de las fluctuaciones también escala con el intervalo de la muestra τ como

$$\sigma \propto \tau^\beta, \quad (4.3)$$

donde β es el exponente del crecimiento de fluctuaciones.

Con base en todo lo anteriormente expuesto, en este trabajo se caracterizó la dinámica de fluctuaciones de las series de tiempo originales (EEG), $z(t)$, correspondientes a los 19 canales de cada niño evaluado con problemas de lectura. Por cada serie de tiempo $z(t)$, se construyeron 198 series de tiempo de desviaciones estándar $v(t, \tau)$. Por consiguiente, se construyeron 3,762 (198×19) series de tiempo $v(t, \tau)$ por cada niño evaluado.

Para caracterizar la dinámica de las series de tiempo $v(t, \tau)$, se consideró, por una parte, la longitud de cada una de las 19 series de tiempo $z(t)$ de $T = 6,650$ registros de voltaje (μV) versus tiempo (segundos), con una tasa de muestreo $\Delta t = 1$ segundo. Por la otra, se consideró para las 3,762

series de tiempo $v(t, \tau)$ un rango del intervalo de tiempo de la muestra de $3 \leq \tau \leq 200$, con ventanas de tiempo de los intervalos de las muestras de $\delta_t = 1$ segundo. Donde en las figuras 3.1 – 3.19 en el inciso (a) se muestran las gráficas de las series de tiempo originales, $z(t)$, de los 19 canales y de las figuras 3.1 – 3.19 en los incisos (b) a (d) se muestran las gráficas de series de tiempo de desviaciones estándar, $v(t, \tau)$, de los 19 canales para $\tau = 25$, $\tau = 50$ y $\tau = 100$ segundos, respectivamente.

En las figuras 4.1 a 4.19 (a) se muestran las gráficas de la función de estructura $\sigma \propto (\delta_t)^\zeta$ versus δ_t , con distintas τ , para los canales F_{p1} , F_{p2} , F_3 , F_4 , C_3 , C_4 , P_3 , P_4 , O_1 y O_2 , F_7 , F_8 , T_3 , T_4 , T_5 , T_6 , F_z , C_z y P_z respectivamente. En cada gráfica, cada punto (círculo) de las curvas representa la desviación estándar promedio, σ , para cada una de las 198 realizaciones δ_t . Las líneas rectas representan el ajuste de los valores de σ promedio a una ley de potencia, con base en la ecuación (c). Y los valores de las pendientes de cada línea recta son los valores del exponente local ζ .

En la Tabla 4.1 se presentan los valores de los exponentes ζ para los 19 canales de un niño evaluado. En cuanto al exponente del crecimiento de fluctuaciones, β , este se obtuvo tomando como punto de partida a las series de tiempo de desviaciones estándar, $v(t, \tau)$. Para cada una de las 198 series de tiempo de fluctuaciones $v(t, \tau)$ se generaron, a su vez, otras 198 series de tiempo de desviaciones estándar de fluctuaciones, es decir, se construyeron 39,204 (198×19) series de tiempo de fluctuaciones de $v(t, \tau)$. Esto se realizó para determinar de qué manera ha estado fluctuando el comportamiento del sistema en estudio.

En la figuras 4.1 a 4.19 (b) se presentan las gráficas de la función de estructura $\sigma \propto \tau^\beta$ versus $\tau(s)$, con distintas δ_t , para los canales F_{p1} , F_{p2} , F_3 , F_4 , C_3 , C_4 , P_3 , P_4 , O_1 y O_2 , F_7 , F_8 , T_3 , T_4 , T_5 , T_6 , F_z , C_z y P_z , respectivamente. En estas figuras, cada punto (triángulo, cuadrado y círculo) de las gráficas representa la desviación estándar promedio de las fluctuaciones, σ , para cada uno de los 198 δ_t consideradas. Las líneas rectas representan el ajuste de los valores de σ promedio a una ley de potencia, con base en la ecuación (d). Y los valores de las pendientes de cada línea recta son los valores del exponente de fluctuaciones β . En la tabla 4.1 se presentan los valores de los exponentes β para los 19 canales de un niño evaluado.

Tabla 4.1. Valores de los exponentes de escalamiento ζ y β de las series de fluctuaciones de las desviaciones estándar.

Canal	ζ	β	Canal	ζ	β
C_3	0.590	0.817	O_1	0.580	0.801
C_4	0.600	0.813	O_2	0.585	0.816
C_z	0.614	0.591	P_3	0.598	0.805
F_3	0.605	0.824	P_4	0.591	0.792
F_4	0.639	0.799	P_z	0.633	0.819
F_7	0.595	0.816	T_3	0.559	0.791
F_8	0.561	0.840	T_4	0.441	0.791
F_{p1}	0.564	0.795	T_5	0.598	0.791
F_{p2}	0.560	0.829	T_6	0.554	0.791
F_z	0.613	0.819			

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la Tabla 4.1, 18 canales presentan una valor del exponente local ζ por arriba de 0.5, lo significa que las series de tiempo $v(t, \tau)$ despliegan comportamiento persistente (correlaciones positivas) con un ajuste de ley de potencia hasta aproximadamente $\tau \geq 30$ s (ver figuras 4.1 – 4.19 (a)).

En cuanto a los valores de β , en la Tabla 4.1 se observa que estos valores son mayores que 0.5 para los 19 canales. Esto indica que las fluctuaciones del sistema continúan creciendo en los diferentes intervalos de tiempo τ como una ley de potencia, lo que sugiere que el sistema en estudio tarda mucho tiempo en asimilar la información que fluye hacia el mismo, pero parece que en algún intervalo de tiempo mayor al considerado el sistema va a dejar de fluctuar (ver figuras 4.1 – 4.19 (b)).

4.1.1 Escalamiento dinámico de la función de estructura para grupo experimental

A continuación se muestran las gráficas de escalamiento dinámico de la función de estructura para un niño que pertenece al grupo experimental.

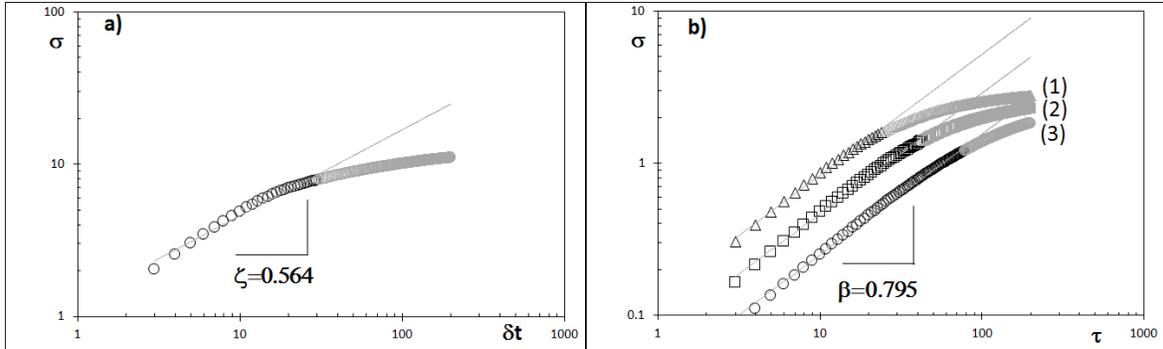


Fig.4.1. (a) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus δ_t ($3 \leq \delta_t \leq 200$ s), para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (10) de la gráfica es el valor del exponente local $\zeta = 0.564$, para el canal F_{p1} . **(b)** Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus τ (s) para distintas δ_t , para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (d) de la gráfica es el valor del exponente de fluctuaciones $\beta = 0.795$, del canal F_{p1} , para: $\tau = 25$ s (1), $\tau = 50$ s (2) y $\tau = 100$ s (3), respectivamente.

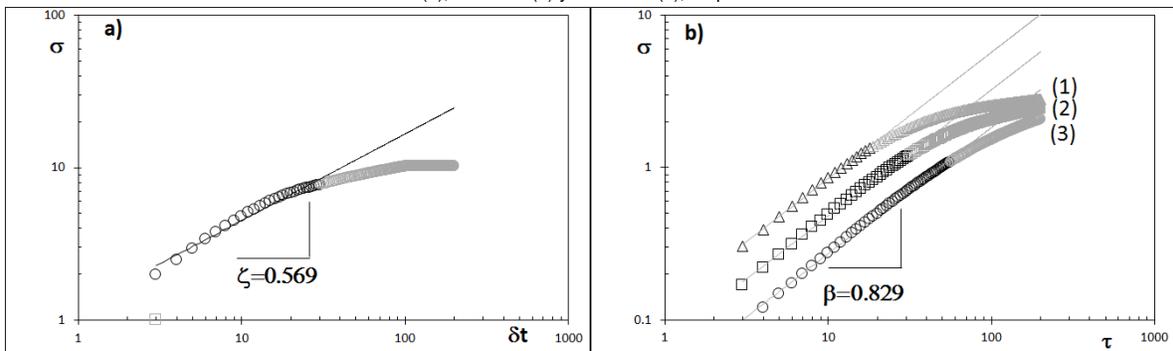


Fig.4.2. (a) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus δ_t ($3 \leq \delta_t \leq 200$ s), para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (10) de la gráfica es el valor del exponente local $\zeta = 0.564$, para el canal F_{p2} . **(b)** Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus τ (s) para distintas δ_t , para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (d) de la gráfica es el valor del exponente de fluctuaciones $\beta = 0.795$, del canal F_{p2} , para: $\tau = 25$ s (1), $\tau = 50$ s (2) y $\tau = 100$ s (3), respectivamente.

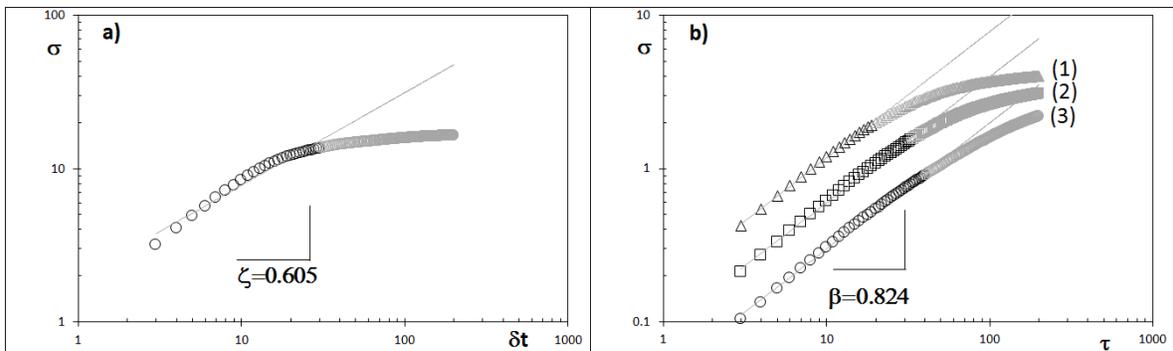


Fig.4.3. (a) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus δ_t ($3 \leq \delta_t \leq 200$ s), para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (10) de la gráfica es el valor del exponente local $\zeta = 0.564$, para el canal F_3 . **(b)** Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus τ (s) para distintas δ_t , para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (d) de la gráfica es el valor del exponente de fluctuaciones $\beta = 0.795$, del canal F_3 , para: $\tau = 25$ s (1), $\tau = 50$ s (2) y $\tau = 100$ s (3), respectivamente.

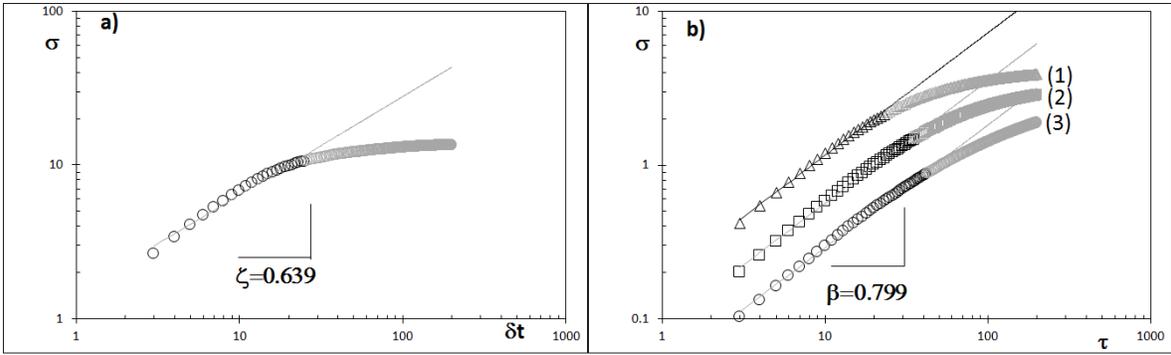


Fig.4.4. (a) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus δ_t ($3 \leq \delta_t \leq 200$ s), para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (10) de la gráfica es el valor del exponente local $\zeta = 0.564$, para el canal F₄. **(b)** Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus τ (s) para distintas δ_t , para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (d) de la gráfica es el valor del exponente de fluctuaciones $\beta = 0.795$, del canal F₄, para: $\tau = 25$ s (1), $\tau = 50$ s (2) y $\tau = 100$ s (3), respectivamente.

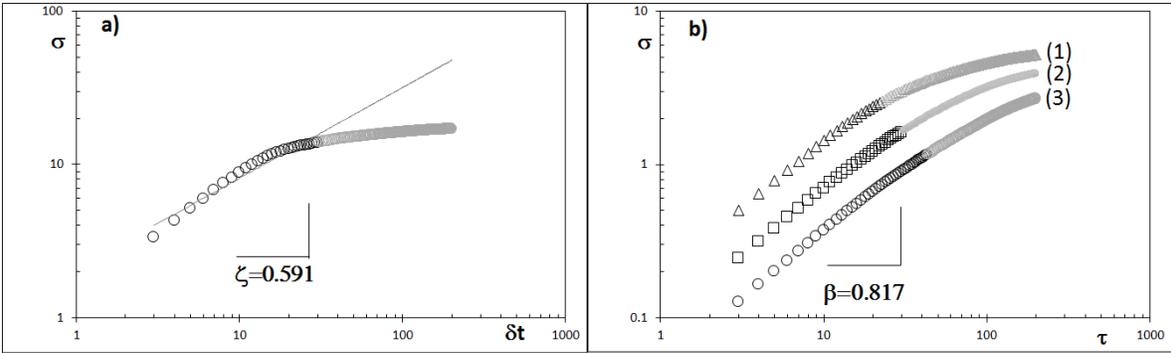


Fig.4.5. (a) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus δ_t ($3 \leq \delta_t \leq 200$ s), para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (10) de la gráfica es el valor del exponente local $\zeta = 0.564$, para el canal C₃. **(b)** Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus τ (s) para distintas δ_t , para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (d) de la gráfica es el valor del exponente de fluctuaciones $\beta = 0.795$, del canal C₃, para: $\tau = 25$ s (1), $\tau = 50$ s (2) y $\tau = 100$ s (3), respectivamente

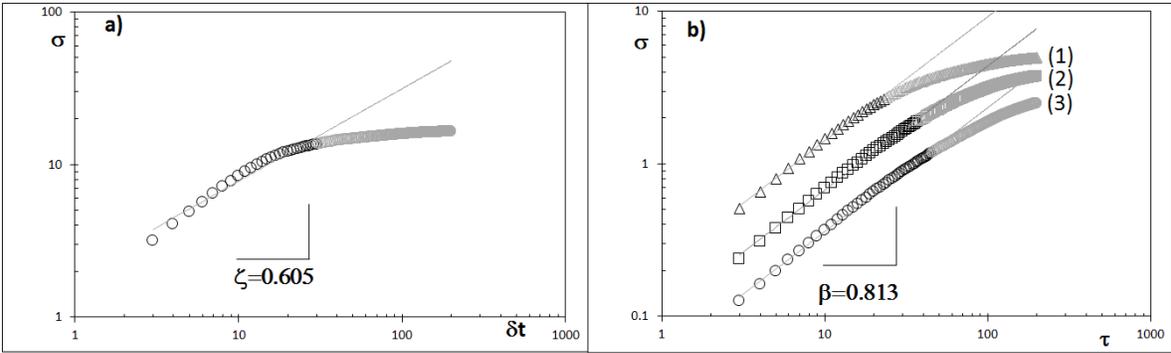


Fig.4.6. (a) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus δ_t ($3 \leq \delta_t \leq 200$ s), para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (10) de la gráfica es el valor del exponente local $\zeta = 0.564$, para el canal C₄ **(b)** Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus τ (s) para distintas δ_t , para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (d) de la gráfica es el valor del exponente de fluctuaciones $\beta = 0.795$, del canal C₄, para: $\tau = 25$ s (1), $\tau = 50$ s (2) y $\tau = 100$ s (3), respectivamente.

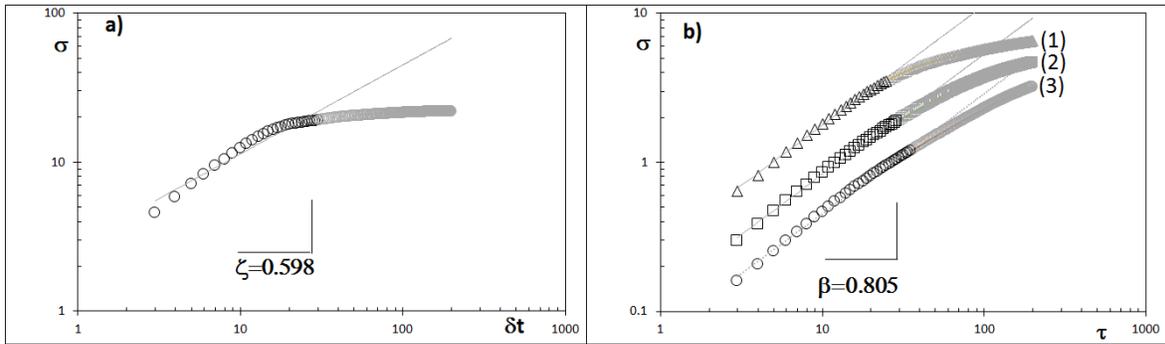


Fig.4.7. (a) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus δ_t ($3 \leq \delta_t \leq 200$ s), para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (10) de la gráfica es el valor del exponente local $\zeta = 0.564$, para el canal P₃. **(b)** Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus τ (s) para distintas δ_t , para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (d) de la gráfica es el valor del exponente de fluctuaciones $\beta = 0.795$, del canal P₃, para: $\tau = 25$ s (1), $\tau = 50$ s (2) y $\tau = 100$ s (3), respectivamente.

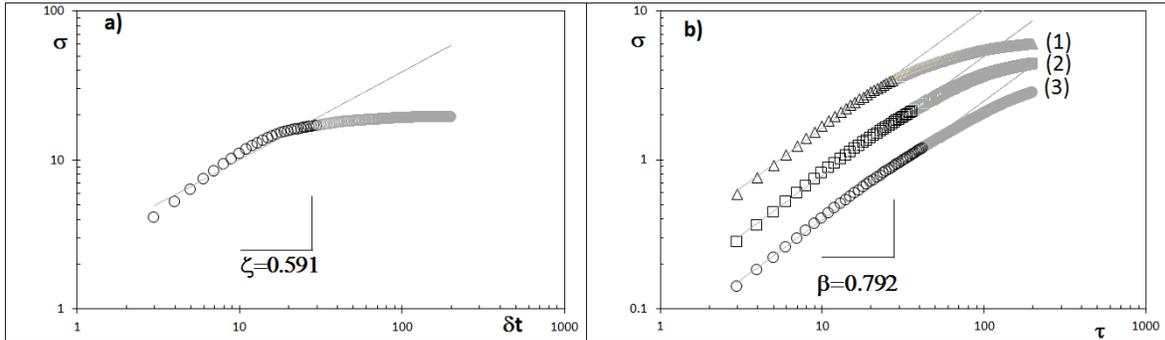


Fig.4.8. (a) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus δ_t ($3 \leq \delta_t \leq 200$ s), para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (10) de la gráfica es el valor del exponente local $\zeta = 0.564$, para el canal P₄. **(b)** Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus τ (s) para distintas δ_t , para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (d) de la gráfica es el valor del exponente de fluctuaciones $\beta = 0.795$, del canal P₄, para: $\tau = 25$ s (1), $\tau = 50$ s (2) y $\tau = 100$ s (3), respectivamente.

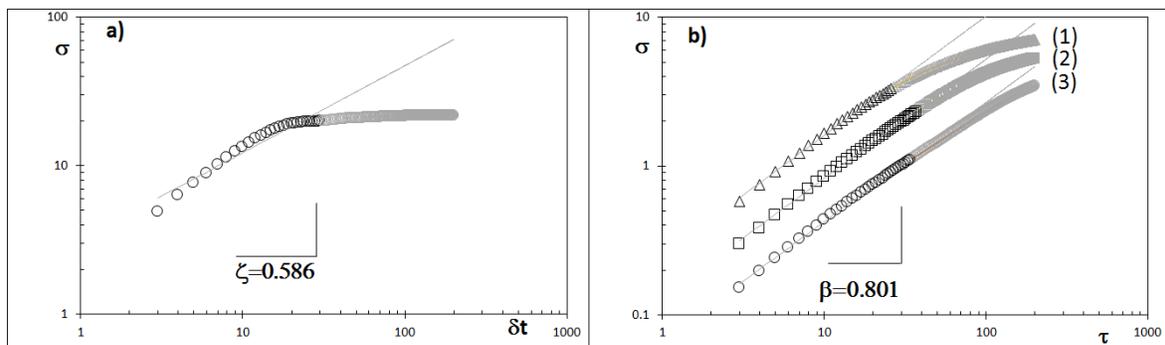


Fig.4.9. (a) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus δ_t ($3 \leq \delta_t \leq 200$ s), para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (10) de la gráfica es el valor del exponente local $\zeta = 0.564$, para el canal O₁. **(b)** Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus τ (s) para distintas δ_t , para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (d) de la gráfica es el valor del exponente de fluctuaciones $\beta = 0.795$, del canal O₁, para: $\tau = 25$ s (1), $\tau = 50$ s (2) y $\tau = 100$ s (3), respectivamente.

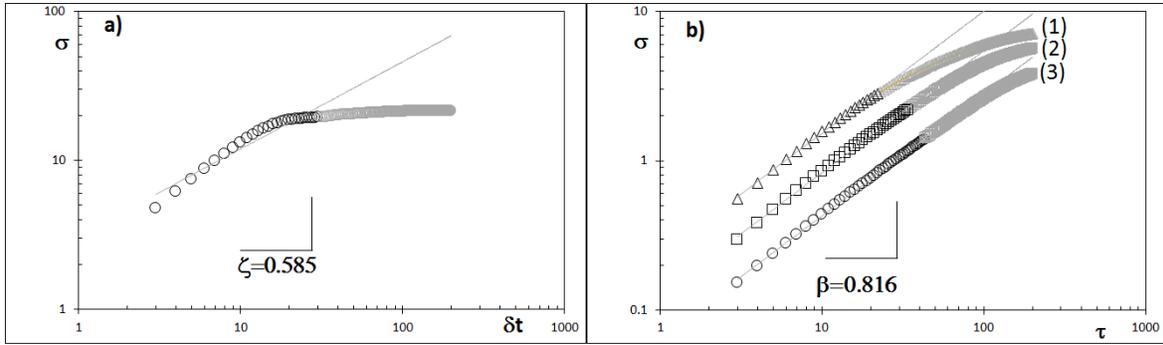


Fig.4.10. (a) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus δ_t ($3 \leq \delta_t \leq 200$ s), para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (10) de la gráfica es el valor del exponente local $\zeta = 0.564$, para el canal O₂. **(b)** Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus τ (s) para distintas δ_t , para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (d) de la gráfica es el valor del exponente de fluctuaciones $\beta = 0.795$, del canal O₂, para: $\tau = 25$ s (1), $\tau = 50$ s (2) y $\tau = 100$ s (3), respectivamente.

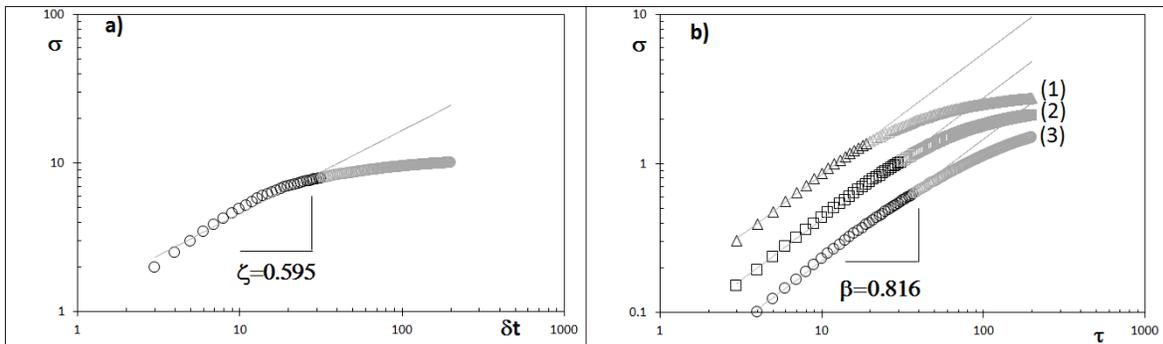


Fig.4.11. (a) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus δ_t ($3 \leq \delta_t \leq 200$ s), para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (10) de la gráfica es el valor del exponente local $\zeta = 0.564$, para el canal F₇. **(b)** Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus τ (s) para distintas δ_t , para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (d) de la gráfica es el valor del exponente de fluctuaciones $\beta = 0.795$, del canal F₇, para: $\tau = 25$ s (1), $\tau = 50$ s (2) y $\tau = 100$ s (3), respectivamente.

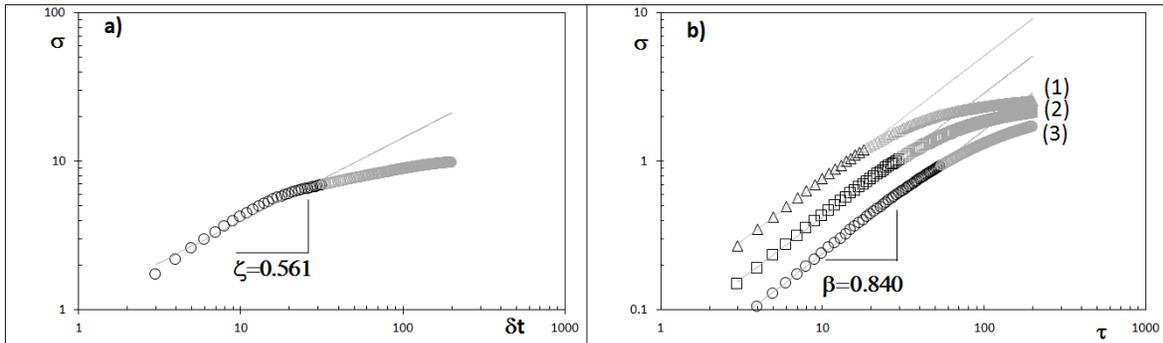


Fig.4.12. (a) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus δ_t ($3 \leq \delta_t \leq 200$ s), para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (10) de la gráfica es el valor del exponente local $\zeta = 0.564$, para el canal F₈. **(b)** Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus τ (s) para distintas δ_t , para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (d) de la gráfica es el valor del exponente de fluctuaciones $\beta = 0.795$, del canal F₈, para: $\tau = 25$ s (1), $\tau = 50$ s (2) y $\tau = 100$ s (3), respectivamente.

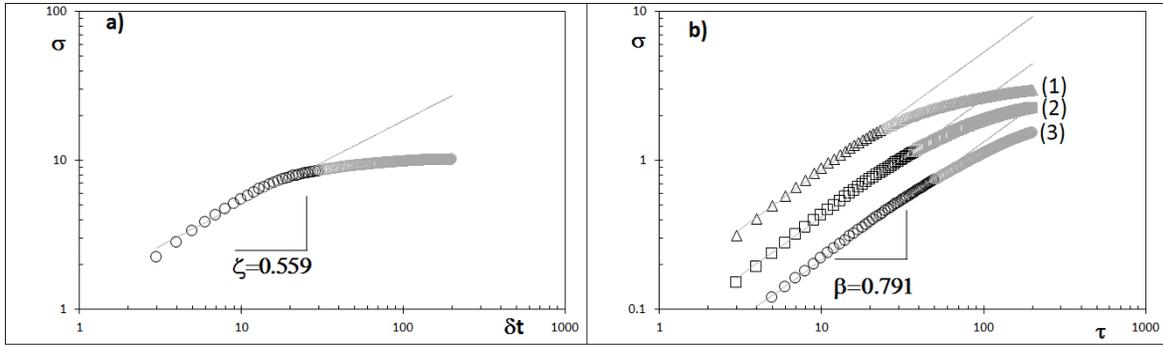


Fig.4.13. (a) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus δ_t ($3 \leq \delta_t \leq 200$ s), para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (10) de la gráfica es el valor del exponente local $\zeta = 0.564$, para el canal T₃. **(b)** Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus τ (s) para distintas δ_t , para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (d) de la gráfica es el valor del exponente de fluctuaciones $\beta = 0.795$, del canal T₃, para: $\tau = 25$ s (1), $\tau = 50$ s (2) y $\tau = 100$ s (3), respectivamente.

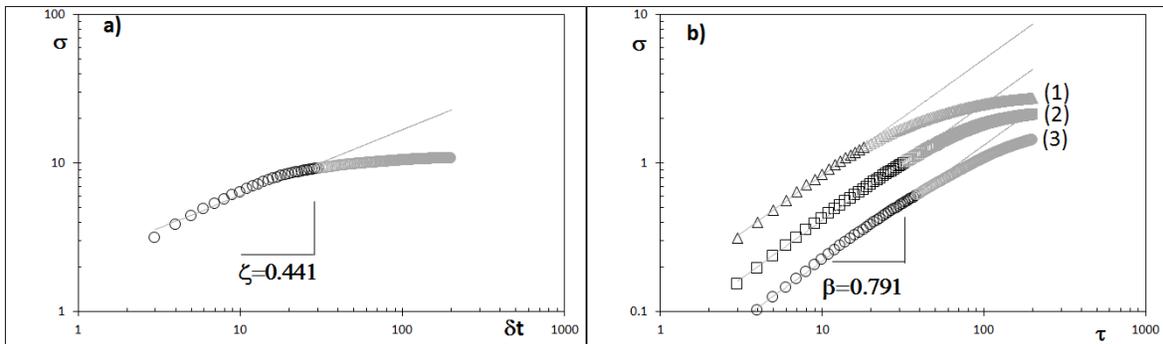


Fig.4.14. (a) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus δ_t ($3 \leq \delta_t \leq 200$ s), para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (10) de la gráfica es el valor del exponente local $\zeta = 0.564$, para el canal T₄. **(b)** Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus τ (s) para distintas δ_t , para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (d) de la gráfica es el valor del exponente de fluctuaciones $\beta = 0.795$, del canal T₄, para: $\tau = 25$ s (1), $\tau = 50$ s (2) y $\tau = 100$ s (3), respectivamente.

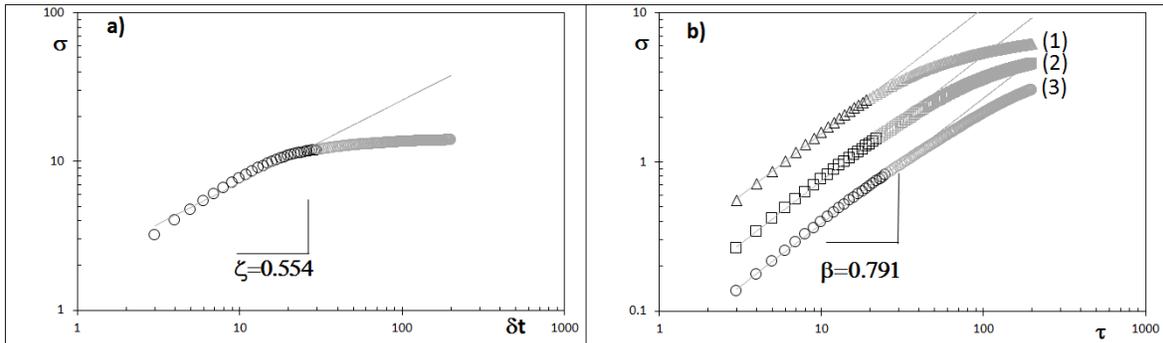


Fig.4.15. (a) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus δ_t ($3 \leq \delta_t \leq 200$ s), para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (10) de la gráfica es el valor del exponente local $\zeta = 0.564$, para el canal T₅. **(b)** Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus τ (s) para distintas δ_t , para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (d) de la gráfica es el valor del exponente de fluctuaciones $\beta = 0.795$, del canal T₅, para: $\tau = 25$ s (1), $\tau = 50$ s (2) y $\tau = 100$ s (3), respectivamente.

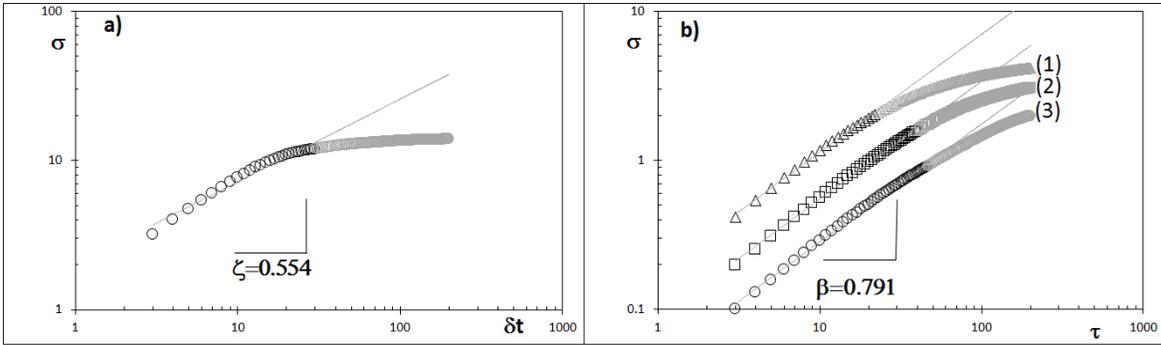


Fig.4.16. (a) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus δ_t ($3 \leq \delta_t \leq 200$ s), para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (10) de la gráfica es el valor del exponente local $\zeta = 0.564$, para el canal T_6 . **(b)** Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus τ (s) para distintas δ_t , para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (d) de la gráfica es el valor del exponente de fluctuaciones $\beta = 0.795$, del canal T_6 , para: $\tau = 25$ s (1), $\tau = 50$ s (2) y $\tau = 100$ s (3), respectivamente.

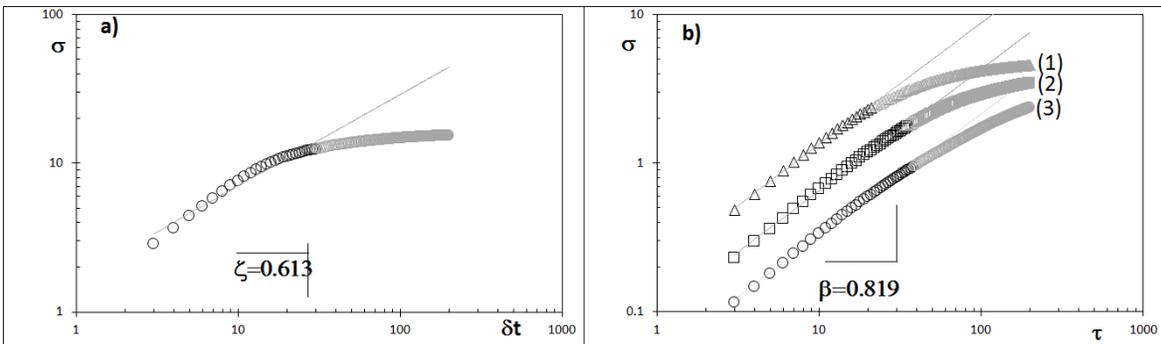


Fig.4.17. (a) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus δ_t ($3 \leq \delta_t \leq 200$ s), para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (10) de la gráfica es el valor del exponente local $\zeta = 0.564$, para el canal F_z . **(b)** Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus τ (s) para distintas δ_t , para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (d) de la gráfica es el valor del exponente de fluctuaciones $\beta = 0.795$, del canal F_z , para: $\tau = 25$ s (1), $\tau = 50$ s (2) y $\tau = 100$ s (3), respectivamente.

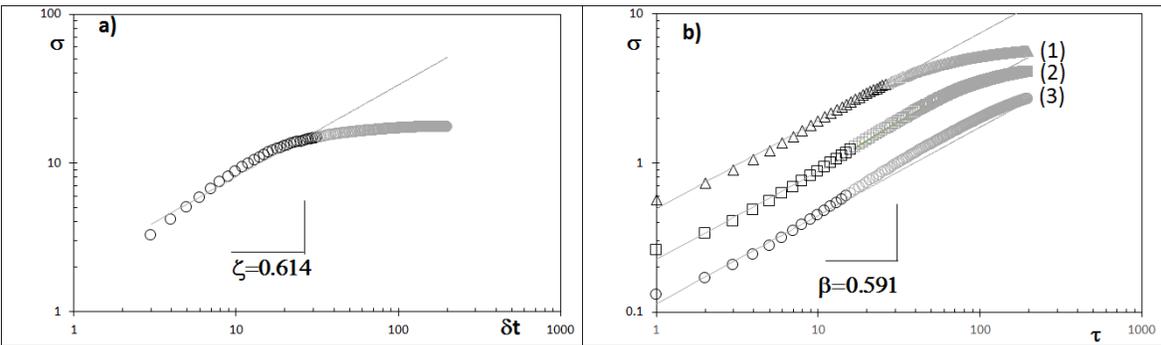


Fig.4.18. (a) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus δ_t ($3 \leq \delta_t \leq 200$ s), para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (10) de la gráfica es el valor del exponente local $\zeta = 0.564$, para el canal C_z . **(b)** Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus τ (s) para distintas δ_t , para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (d) de la gráfica es el valor del exponente de fluctuaciones $\beta = 0.795$, del canal C_z , para: $\tau = 25$ s (1), $\tau = 50$ s (2) y $\tau = 100$ s (3), respectivamente.

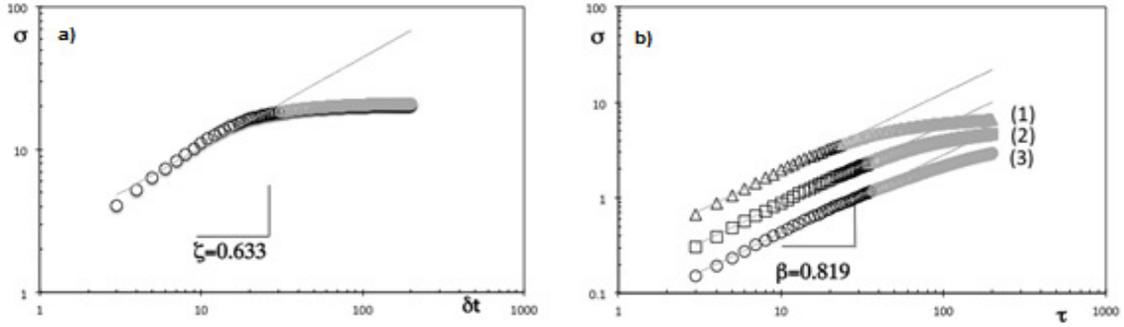


Fig.4.19. (a) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus δ_t ($3 \leq \delta_t \leq 200$ s), para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (10) de la gráfica es el valor del exponente local $\zeta = 0.564$, para el canal Pz. **(b)** Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus τ (s) para distintas δ_t , para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (d) de la gráfica es el valor del exponente de fluctuaciones $\beta = 0.795$, del canal Pz, para: $\tau = 25$ s (1), $\tau = 50$ s (2) y $\tau = 100$ s (3), respectivamente.

4.2 Análisis y Discusión de Resultados

Primeramente conviene observar en las figuras 3.1 – 3.19 en los incisos (b) a (d) la similitud visual entre las series de tiempo de desviaciones estándar $v(t, \tau)$ con diferentes intervalos de tiempo considerados ($\tau = 25$, $\tau = 50$ y $\tau = 100$ segundos). Cuantitativamente, la auto-afinidad de las series de tiempo $v(t, \tau)$ se caracterizó por el comportamiento de escalamiento de la ecuación (c), como se observa en las figuras 4.1 – 4.19 (a).

La función de estructura despliega una ley de potencia (ecuación (c)) con $\zeta(\tau) = const$ dentro de un rango de intervalos δ_t . las figuras 4.1 – 4.19 (a) se presentan las gráficas del escalamiento dinámico de la función de estructura para los canales Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1 y O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6, Fz, Cz y Pz, respectivamente. Además se encontró que la función de estructura de las desviaciones estándar $v(t, \tau)$ también escala con τ cómo $\sigma \propto \tau^\beta$. En las figuras 4.1 – 4.19 (b) se presentan las gráficas de la función de estructura de las desviaciones estándar de los canales Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1 y O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6, Fz, Cz y Pz, respectivamente.

Estos hallazgos apuntan a la existencia de un comportamiento de escalamiento dinámico semejante al escalamiento dinámico de Family-Vicsek para la cinética de rugosidad de una interface en movimiento (Meakin, 1998). Las relaciones de escalamiento (4.3) y (4.4) implican que la función de estructura de las series de tiempo de fluctuaciones exhiba el comportamiento de escalamiento dinámico

$$\sigma(\tau, \delta t) \propto \tau^\beta f\left(\frac{\delta t}{\tau^{\beta/\zeta}}\right), \quad (4.4)$$

donde la función de escalamiento se comporta como

$$f(u) \propto u^\zeta \text{ si } u < 1 \quad (4.5)$$

y como

$$f(u) \propto const \text{ si } u \gg 1. \quad (4.6)$$

Por último, puede observarse que las relaciones del escalamiento dinámico de Family-Vicsek, expresadas en leyes de potencia, con exponentes de escalamiento críticos reflejan la invariancia de escala de las series de tiempo de fluctuaciones de niños con trastornos en el aprendizaje. Cabe destacar que, debido a que los valores de los exponentes de escalamiento ζ y β son mayores que 0.5, en el área crítica las fluctuaciones de las dificultades en la lectura despliegan correlaciones positivas a largo plazo, es decir, presentan un comportamiento persistente.

Conclusiones

Los trastornos del aprendizaje son dificultades que se manifiestan en distintas formas en los primeros años escolares, en función de los problemas que presente la persona para adquirir habilidades de lectura, escritura y/o matemáticas, que, de manera progresiva mientras el paciente se desarrolla, genera mayores repercusiones en el aprendizaje en niveles posteriores a la educación básica y que, si no son tratados a tiempo, conllevan a problemas sociales, culturales, entre otros.

Los distintos enfoques lineales (cualitativos y cuantitativos) han buscado, a través de pruebas y evaluaciones, estudiar los problemas del trastorno del aprendizaje en sus variantes; y ya que estos enfoques muestran conexión, las pruebas también están diseñadas para medir aspectos entrelazados. Con esta información se generan intervenciones que ayuden a la persona a disminuir las diferencias entre su rendimiento y lo esperado, conforme a su edad. Sin embargo, para el procesamiento de estos datos tradicionalmente se ha aplicado la estadística inferencial, la cual hace uso de un paradigma reduccionista que no considera del todo las variables inmersas, dejando fuera aspectos particulares de cada persona. Si se toma en consideración que el aprendizaje, como un proceso cognitivo que emerge en el cerebro humano, se genera a partir de las interrelaciones no lineales entre las neuronas, es pertinente estudiar este proceso cognitivo empleando herramientas cualitativas y cuantitativas no lineales, a fin de complementar el diagnóstico realizado con los enfoques tradicionales, a través del cual se determinan y explican las posibles causas que ocasionan los trastornos para adquirir diversas habilidades, como es el caso de la lectura y la escritura.

Dado lo anterior, en la presente tesis doctoral, se propuso estudiar el trastorno del aprendizaje, específicamente el de la lectura, bajo el paradigma de la Sistémica, con el cual se definió el sistema objeto de estudio, y estableció qué enfoque era la más pertinente para estudiar dicho sistema, con base en la en las tablas 1.5, 1.6, 1.7 y 1.8 propuestas por Jackson (2003), se concluyó que el sistema en estudio es complejo y coercitivo; lo que a su vez llevó a seleccionar el Pensamiento de Sistemas Posmodernistas como base para el desarrollo de la presente investigación. Este pensamiento de sistemas posmodernistas se centra en el estudio de sistemas complejos, cuyos elementos interactúan de manera no lineal; por ende, se incluyen herramientas cuantitativas para abordar la complejidad del sistema objeto de estudio, como es el caso de la teoría del caos y la geometría fractal. Por consiguiente, para estudiar las dificultades en la adquisición de la lectura, e intentar explicar qué mecanismos llevan a trastornos, en el presente trabajo de investigación se aplicaron dos herramientas cuantitativas no lineales: (i) la geometría fractal y (ii) la teoría de la rugosidad cinética, buscando complementar el diagnóstico efectuado actualmente a partir de la estadística inferencial (enfoque lineal y reduccionista).

Debido a que la dinámica interna de muchos sistemas complejos se ha estudiado a través de la caracterización de las fluctuaciones de las series de tiempo generadas por estos sistemas, en este trabajo se caracterizó la dinámica de fluctuaciones de las series de tiempo originales (EEG), $z(t)$, correspondientes a los 19 canales (electrodos) usados para registrar la actividad cerebral de niños diagnosticados con dificultades de lectura (grupo experimental). Por cada serie de tiempo $z(t)$ se construyeron 198 series de tiempo de desviaciones estándar $v(t, \tau)$, las cuales fueron consideradas como interfaces rugosas en movimiento con el intervalo de tiempo de la muestra τ como la variable de tiempo y el tiempo físico t como la variable espacial. Como el análisis de las propiedades de escalamiento de las fluctuaciones, a partir de su función de estructura, ha generado información relevante concerniente a la memoria a largo plazo en las series de tiempo de fluctuaciones, en este trabajo se determinó la función de estructura (como una ley de potencia o una simetría de invariancia de escala) de las fluctuaciones del sistema en estudio.

Con base en la aplicación de las dos ecuaciones de la función de estructura (en su forma de ley de potencia): (i) $\sigma \propto (\delta_t)^\zeta$ para calcular el valor del exponente (local o de rugosidad) ζ , con el propósito de establecer el tipo de intensidad de correlaciones que generan las fluctuaciones de las series de tiempo originales; y (ii) $\sigma \propto \tau^\beta$ para calcular el valor del exponente (de crecimiento de fluctuaciones) β , con el fin de estimar qué tiempo tarda el sistema en asimilar la información que fluye dentro del

mismo (por las interrelaciones no lineales de sus componentes) y hacia el mismo (por la relación con su entorno cambiante).

En primera instancia, se halló (como se aprecia en la tabla 4.1), que 18 canales presentan un valor del exponente local ζ por arriba de 0.5, lo cual significa que las fluctuaciones de la series originales $v(t, \tau)$ despliegan comportamiento persistente (correlaciones positivas) con un ajuste de ley de potencia hasta aproximadamente $\tau \geq 30$ s. Esto se puede interpretar, en principio, como el hecho de que las fluctuaciones en prácticamente todos los canales se comportan como una interfase rugosa en movimiento, cuyo ancho crece en el tiempo a través de dos regiones separadas por un tiempo de cruce (crossover) $t_x = 30$ s. En la primera región (o fase), $\tau \geq 30$ s, se tiene un comportamiento de ley de potencia con el exponente de escalamiento ζ , pero empieza a tender hacia la saturación a partir de $t_x = 30$ s. Por tanto, el comportamiento fractal de las fluctuaciones de los EEG estudiados se dan en el rango del intervalo de tiempo de las muestras $2s \leq \tau \leq 30$ s.

En cuanto al exponente del crecimiento de fluctuaciones, β , este se obtuvo tomando como punto de partida a las series de tiempo de desviaciones estándar, $v(t, \tau)$. Para cada una de las 198 series de tiempo de fluctuaciones $v(t, \tau)$ se generaron, a su vez, otras 198 series de tiempo de desviaciones estándar de fluctuaciones, es decir, se construyeron 39,204 (198 x198) series de tiempo de fluctuaciones de $v(t, \tau)$; esto se realizó para determinar de qué manera ha estado fluctuando el comportamiento del sistema objeto de estudio. Como se aprecia en la tabla 4.1, los valores de β son mayores que 0.5 para los 19 canales. Esto indica que las fluctuaciones del sistema continúan creciendo en los diferentes intervalos de tiempo τ como una ley de potencia, suponiendo que podrían converger en el rango $300s \leq \tau \leq 500$ s, lo que sugiere que el sistema tarda mucho tiempo en asimilar la información que fluye hacia el mismo, es decir, se trata de un sistema muy complejo y muy dinámico, cuyas numerosas y diversas interrelaciones no lineales entre sus elementos (neuronas de distintos tipos) provocan que el sistema pueda alcanzar demasiados estados o comportamientos posibles.

Con base en los hallazgos anteriores y en el Marco Teórico expuestos a lo largo del presente trabajo, se puede concluir, en principio, que las ecuaciones (e), (f) y (g) apuntan a que el comportamiento de niños con trastornos en el aprendizaje en México (específicamente niños diagnosticados con problemas de lectura que cursaban tercero, cuarto y quinto grados de primaria) es semejante al escalamiento dinámico de Family-Vicsek para la cinética de rugosidad de una interface en movimiento. Por consiguiente, se pueden emplear las herramientas de la teoría de la rugosidad cinética para caracterizar y modelar las fluctuaciones de series de tiempo de procesos cognitivos que emergen del cerebro humano, como es el caso de los niños con trastorno de aprendizaje.

Debido a que la cinética del crecimiento de interfaces rugosas y la dinámica de fluctuaciones en niños con problemas de lectura pueden ser caracterizados y modelados por el escalamiento dinámico de Family-Vicsek, sería posible establecer una ecuación cinética que gobierne la dinámica de fluctuaciones de este trastorno de aprendizaje, empleando las ecuaciones de la teoría de la rugosidad cinética, como las del tipo Langevin: $\frac{\partial v}{\partial \tau} = \Phi \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right) + \eta(\tau, t) + F$, donde F es la fuerza externa, mientras que el término de ruido $\eta(\tau, t)$ y la forma real de la función Φ son determinadas por un modelo particular que obedezca a la clase de universalidad correspondiente (Meakin, 1998).

Por último, se considera que la aportación de este trabajo de investigación es, fundamentalmente, la de generar una metodología de diagnóstico, sustentada en herramientas cuantitativas no lineales, que permita abordar las dificultades en la lectura desde un enfoque del Pensamiento de Sistemas Posmodernista, apuntando hacia una explicación de los mecanismos que pueden generar los trastornos en el aprendizaje de niños en México, concretamente de niños con problemas para adquirir habilidades de lectura que cursen tercero, cuarto y quinto grados de primaria, complementando los enfoques tradicionales (que se apoyan en la estadística inferencial). **Sin embargo, es muy prematuro concluir que los hallazgos obtenidos en la presente investigación sean robustos para hacer aseveraciones contundentes.**

Recomendaciones y trabajos a futuro

Como se explica en las Conclusiones, se ha dado un gran paso hacia una explicación más formal de los mecanismos que pueden generar los trastornos en el aprendizaje de niños en México, concretamente de niños con problemas para adquirir habilidades de lectura que cursen tercero, cuarto y quinto grados de primaria en México, al establecer los pasos necesarios para realizar una caracterización fractal, a partir de las señales obtenidas de los EEG que reflejan parte de la actividad cerebral de los niños diagnosticados con trastornos de aprendizaje.

Es por ello que se recomienda estudiar la mayor cantidad posible de EEG tanto de niños que presenten dificultades como aquellos que muestran un desarrollo normal (experimental y de control) para tener las condiciones e información suficiente para proponer un diagnóstico, basado en el Pensamiento de Sistemas Posmodernista y en herramientas cuantitativas no lineales, los que de manera conjunta complementen y enriquezcan las explicaciones de las causas que llevan a trastornos en el aprendizaje de los niños. Realizar esto implica mucho tiempo, si se considera que por cada niño evaluado (tanto del grupo experimental como del grupo de control) se tienen que generar y caracterizar, al menos, 3,762 series de tiempo de desviaciones estándar y 39,204 series de tiempo de fluctuaciones de desviaciones estándar.

Finalmente, con el estudio de los EEG de un mayor número de niños (de ambos grupos) se recomienda intercambiar resultados con los investigadores de la UAEM-Ecatepec.

Todo lo anterior se pretende realizar, a fin de cumplir cabalmente con el Objetivo General planteado en el presente trabajo de investigación.

Referencias

Andersen T., Bollerslev T., Diebold F. 2002. *Handbook of Financial Econometrics*. Amsterdam: North Holland.

Ashkenazy Y., Havlin S., Ivanov P.C., Peng C.K., Schulte-Frohlinde V., Stanley H.E. 2003. Magnitude and sign scaling in power-law correlated time series. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, [revista electrónica] 323, pp.19-41. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437103000086>. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(03\)00008-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(03)00008-6).

Ashkenazy Y., Ivanov P.C., Havlin S., Peng C.K., Goldberger A.L., Stanley H.E. 2001. Magnitude and sign correlations in heartbeat fluctuations. *Physical Review Letters*, [revista electrónica] 86 (1), pp. 1900-1903. <https://journals.aps.org/prl/issues/86/1>.

Bahar S., Kantelhardt J.W., Neiman A., Rego H.H.A., Russell D.F., Wilkens L., Bunde A., Moss F. 2001. Long range temporal anticorrelations in paddlefish electro-receptors. *Europhysics Letter* [revista electrónica] 56(3), pp. 454. <http://iopscience.iop.org/article/10.1209/epl/i2001-00540-7/fulltext/>. doi: <https://doi.org/10.1209/epl/i2001-00540-7>.

Balankin A. 2007. Dynamic scaling approach to study time series fluctuations. *Physical Review E*, [revista electrónica] 76(5), pp. 056120. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.76.056120>. doi: 10.1103/PhysRevE.76.056120.

Balankin A., Morales O., Gálvez M.E., Pérez A. 2005. Crossover from antipersistent to persistent behavior in time series possessing the generalized dynamic scaling law. *Physical Review E*, [revista electrónica] 69(3), pp.036121. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.69.036121>. doi: 10.1103/PhysRevE.69.036121.

Barabási A.L., Stanley H.E. 1995. *Fractal Concepts in Surface Growth*. Reino Unido: Cambridge University Press.

Barbey A. K., Colom R. y Grafman J.. 2014. Distributed neural system for emotional intelligence revealed by lesion mapping. *Oxford University Press, Soc. Cogn. Affect Neuroscience*, [revista electrónica] 9(3), pp. 265-72. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23171618>. doi: 10.1093/scan/nss124.

Bartsch R., Henning T., Heinen A., Heinrichs S., Maass P. 2005. Statistical analysis of fluctuations in the ECG morphology. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, [revista electrónica] 354, pp. 415-431. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437105002335>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2005.03.019>.

Bartsch R. P., Schumann A. Y., Kantelhardt J. W., Penzel T. e Ivanov P. Ch. 2012. Phased transitions in physiologic coupling. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, [revista electrónica] 109(26), pp. 10181-10186. <http://www.pnas.org/content/109/26/10181.full>. doi: doi:10.1073/pnas.1204568109/-/DCSupplemental.

Bashan A., Bartsch R., Kantelhardt J.W., Havlin S. 2008. Comparison of detrending methods for fluctuation analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, [revista electrónica] 387(21) pp. 5080-5090. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437108003695>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2008.04.023>.

Beer S. 1981. *Brain of the firm*. 2da. edición. Padstow: Editorial John Wiley & Sons.

Bogachev M., Schumann A.Y., Kantelhardt J.W., Bunde A. 2009. On distinguishing long-term and short-term memory in finite data. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, [revista electrónica] 388(2-3), pp.1-90 <http://www.sciencedirect.com/science/journal/03784371/388/1?sdc=1>.

Bouchaud J.P., Matacz S., Potters M. 2001. The leverage effect in financial markets: retarded volatility and market panic. *Physical Review Letters*, [revista electrónica] 87(22), pp. 228701 <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.87.228701>. doi: [10.1103/PhysRevLett.87.228701](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.87.228701)

Bouchaud J.P., Potters M. 2003. *Theory of financial risks: from statistical physics to risk management*. 2da edición. Cambridge: Cambridge University Press.

Box G.E.P., Jenkins G.M. and Reinsel G.C. 1994. *Time Series Analysis; Forecasting and Control*. 3ra edición, Englewood Cliff: Editorial Prentice Hall.

Bunde A., Havlin S. 2009. Fractal Geometry a brief introduction to. *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*. Springer Science. [Libro electrónico], pp. 3700-3720 <http://www.springer.com/us/book/9780387758886#reviews>. doi: 10.1007/978-0-387-30440-3.

Bunde A., Havlin S., Kantelhardt J.W., Penzel T., Peter J.H., Voigt K., 2000. Correlated and uncorrelated regions in heart-rate fluctuations during sleep. *Physical Review Letters*, [revista electrónica] 85, pp. 3736. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.85.3736>. doi: 10.1103/PhysRevLett.85.3736.

Campbell N. A., Reece J. B., Urry L., Molles M., Zimmer C., Wills C., Minorsky P., Niles M. J. y Stretton A.. 2005. *Biología*. 7ma. edición. Madrid: Editorial Médica Panamericana.

Chatfield C. 2003. *The analysis of time series. An introduction*. 6ta. edición. Boca Raton: Editorial Chapman & Hall/CRC.

Checkland P. 1999. *Systems thinking, Systems Practice*. Padstow: Editorial John Wiley & Sons.

Checkland P., Scholes J. 2002. *La Metodología de los Sistemas Suaves en acción*. Ciudad de México: Editorial Limusa.

Chen Z., Hu K., Carpena P., Bernaola-Galvan P., Stanley H.E., Ivanov P.C. 2005. Effect of nonlinear filters on Detrended fluctuation analysis. *Physical Review E*, [revista electrónica] 71(1), pp. 011104. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.71.011104>. doi: 10.1103/PhysRevE.71.011104.

Chen Z., Hu K., Stanley H.E., Novak V. and Ivanov P. Ch. 2006. Cross-correlation of instantaneous phase increments in pressure-flow fluctuations: Applications to cerebral autoregulation. *The American Physical Society*, [revista electrónica] 73(3), pp. 031915-14. <https://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.73.031915>. doi: 10.1103/PhysRevE.73.031915.

Chen Z., Ivanov P.C., Hu K., Stanley H.E. 2002. Effect of non-stationarities on Detrended fluctuation analysis. *Physical Review E*, [revista electrónica] 65(4), pp. 041107. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.65.041107>. doi: 10.1103/PhysRevE.65.041107.

Clauset A., Shalizi C.R., Newman M. E. J. 2009. Power-law distributions in empirical data. *Society for Industrial and Applied Mathematics*, [revista electrónica] 51(4), pp. 661-703. <http://arxiv.org/abs/0706.1062>. doi: 10.1137/070710111.

Constantin M., Das Sarma S. 2005. Volatility, persistence, and survival in financial markets. *Physical Review E*, [revista electrónica] 72(5), pp. 051106. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.72.051106>. doi: 10.1103/PhysRevE.72.051106.

Coronel-Brizio, H.F., & Hernandez-Montoya, A.R.. (2005). Asymptotic behavior of the daily increment distribution of the IPC, the Mexican stock market index. *Revista mexicana de física*, 51(1), 27-31. Recuperado en 01 de julio de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0035-001X2005000100005&lng=es&tlng=en.

Costa A., Iáñez E., Úbeda A., Hortal E., Del-Ama A. J., Agudo-Gil A., y Azorín J. M. 2016. Decoding the attentional demands of gait through EEG gamma band features. *PLOS ONE*, [revista electrónica] 11(4), pp. 21. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4846000/pdf/pone.0154136.pdf>. doi:10.1371/journal.pone.0154136.

Daubechies I.1988. Orthogonal bases of compactly supported wavelets. *Communications on Pure and Applied Mathematics*, [revista electrónica] 41(7), pp. 909-996. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cpa.3160410705/abstract>. doi: 10.1002/cpa.3160410705.

Davidoff L. 1984. *Introducción a la Psicología*. 2da. edición. Ciudad de México: Editorial Mac Graw-Hill.

Davis T., Love B. C. y Preston A. R. 2012. Striatal and hippocampal entropy and recognition signal category learning: simultaneous processes revealed by model-based fMRI. *National Institute of Health, J exp Psychol Learn Mem Cogn*, [revista electrónica] 38(4), pp.821-839. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3403290/pdf/nihms391821.pdf>. doi: 0.

Delignieres D., Ramdania S., Lemoinea L., Torrea K., Fortesb M., Ninot G. 2006. Fractal analyses for 'short' time series: A reassessment of classical methods. *Journal of Mathematical Psychology*, [revista electrónica] 50(6), pp. 525-544. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022249606000939>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmp.2006.07.004>Get rights and content.

De Queiroz S.L.A. 2005. Roughness of time series in a critical interface model. *Physical Review E*, [revista electrónica] 72(6), pp.066104. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.72.066104>. doi: 10.1103/PhysRevE.72.066104

Francois C. 2004. *International Encyclopedia of Systems and Cybernetics*. 2da. edición. Volume 1 and 2. München K G Saur Verlag.

Freitas da Rocha A., Rocha F. T. y Massad E. 2011. The brain as a distributed intelligent processing system: an EEG study. *PLOS ONE*, [revista electrónica] 6(3). pp.13. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0017355>. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017355>.

Feder J. 1988. *Fractals*. New York: Plenum Press.

Frohlinde V. S., Ashkenazy Y., Goldberger A. L., Ivanov P. Ch., Costa M., Davies Morley A., Stanley H. E. and Glass L. 2002. Complex patterns of abnormal heartbeats. *The American Physical Society*, [revista electrónica] 66(3), pp. 031901-12. <https://journals.aps.org/prl/issues/66/3>. doi: 10.1103/PhysRevE.66.031901.

Fuchs K., Schumann A. Y., Kuhnhold A., Guzik P., Piskorski J., Schmidt G. y Kantelhardt J. W. 2010. Comparing analysis of heart rate and blood pressure fluctuations in healthy subjects. In: Proceedings of the Biosignal, *3rd International on Bio-inspired System and Signal Processing*. Valencia, España, 20-23 Enero 2010.

Grau-Carles P. 2006. Bootstrap testing for detrended fluctuation analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, [revista electrónica] 360(1), pp. 89-98.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437105004371>. doi:
<https://doi.org/10.1016/j.physa.2005.05.074>.

Goldberger A. L., Nuñez Amaral L. A., Hausdorff J. M., Ivanov P. Ch., Peng C.K., Stanley H. E. 2002. Fractal dynamics in physiology: alterations with disease and aging. *PNAS*, [revista electrónica] 99(1), pp.2466-2472. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.012579499. doi: 10.1073/pnas.012579499.

Goupillaud P., Grossmann A., Morlet J.1984. Cycle-octave and related transforms in seismic signal analysis. *Journal of Applied Geophysics Geoexploration* [revista electrónica] 23 (1), pp. 1-170. <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00167142/23/1?sdc=1>. doi:
[https://doi.org/10.1016/0016-7142\(84\)90025-5](https://doi.org/10.1016/0016-7142(84)90025-5).

Gu G.F., Zhou W.X. 2006. Detrended fluctuation analysis for fractals and multifractal in higher dimensions. *Physical Review E*, [revista electrónica] 74 (6), pp. 061104. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.74.061104>. doi: 10.1103/PhysRevE.74.061104.

Heneghan C., McDarby G. 2000. Establishing the relation between detrended fluctuation analysis and power spectral density analysis for stochastic processes. *Physical Review E*, [revista electrónica] 62(5), pp. <https://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.62.61036103>. doi: 10.1103/PhysRevE.62.61036110.

Hu K., Ivanov P.C., Chen Z., Carpena P., Stanley H.E. 2001. Effect of trends on Detrended fluctuation analysis. *Physical Review E*, [revista electrónica] 64(1), pp. 011114. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.64.011114>. doi: 10.1103/PhysRevE.64.011114.

Hunt G.A.1951. Random Fourier transforms. *Transactions of the American Mathematical Society*, [revista electrónica] 71(1), pp. 38-69. http://www.jstor.org/stable/1990858?seq=1#page_scan_tab_contents. doi: 10.2307/1990858.

Hurst H.E. 1956. Long-term storage capacity of reservoirs. *International Association of Scientific Hydrology*, [revista electrónica] 1(3), pp. 13-27. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02626665609493644>. doi:
<http://dx.doi.org/10.1080/02626665609493644>.

Hurst H.E., Black R.P., Simaika Y.M. 1965. *Long-term storage: An experimental study*. London: Constable.

Ivanov P. Ch., Ma Q. D., Bartsch R. P., Hausdorff J. M., Nuñez Amaral L. A., Schulte-Frohlinde V., Stanley H. E. and Yoneyama M. 2009. Levels of complexity in scale-invariant neural signals. *Physical Review E*, [revista electrónica] 79(4), pp. 041920-12. <https://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.79.041920>. doi: 10.1103/PhysRevE.79.041920.

Jackson M. C. Systems. 2003. *Thinking Creative Holism for Managers*. Padstow: Editorial John Wiley & Sons.

Kalisky T., Ashkenazy Y., Havlin S. 2005. Volatility of linear and nonlinear time series. *Physical Review E*, [revista electrónica] 72(2), pp. 011913. <https://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.72.026409>. doi: 10.1103/PhysRevE.72.026409.

Kantelhardt J.W., Gans F., Schumann A. Y., Penzel T., 2010. EEG Cross- modulation during sleep and wake. In: Proceedings of the Biosignal, *3rd International on Bio-inspired System and Signal Processing*. Valencia, España, 20-23 Enero 2010.

Kantelhardt J.W., Koscielny-Bunde E., Rego H.H.A., Havlin S., Bunde A. 2001. Detecting long-range correlations with Detrended fluctuation analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, [revista electrónica] 295 (3-4), pp.441-454. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437101001443>. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(01\)00144-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(01)00144-3).

Kantelhardt J.W., Koscielny-Bunde E., Rybski D., Braun P., Bunde A., Havlin S. 2006. Long-term persistence and multifractality of precipitation and river runoff records: *Journal of Geophysical Research Atmosphere* [revista electrónica] 111 (D1), pp. D01106. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2005JD005881/full>. doi: 10.1029/2005JD005881.

Kantelhardt J.W., Roman H.E., Greiner M. 1995. Discrete wavelet approach to multi fractality. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, [revista electrónica] 220(3), pp. 219-238. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037843719500267B>. doi: [https://doi.org/10.1016/0378-4371\(95\)00267-B](https://doi.org/10.1016/0378-4371(95)00267-B).

Kantelhardt J. W., Tismer S., Gans F., Schumann A. Y. y Penzel T.. 2015. Scaling behavior of EEG amplitude and frequency time series across sleep stages. *EPL Sciences*, [revista electrónica] 112(1), pp.6. <http://iopscience.iop.org/article/10.1209/0295-5075/112/10005>. doi: <https://doi.org/10.1209/0295-5075/112/18001>.

Kantelhardt J.W., Zschiegner S.A., Bunde A., Havlin S., Koscielny-Bunde E., Stanley H.E. 2002. Multifractal Detrended fluctuation analysis of non-stationary time series. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, [revista electrónica] 316 (1-4), pp. 87-114. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437102013833>. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(02\)01383-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(02)01383-3).

Kantz H., and Schreiber T. 1997. *Nonlinear Time Series Analysis*, Cambridge: Cambridge University Press.

Karuza E. A., Emberson L. L., Aslin R. N. 2014. Combining fMRI and behavioral measures to examine the process of human learning. *National Institute of Health, Neurobiol Learn Mem*, [revista electrónica], 0(193-206), pp. 24. doi:10.1016/j.nlm.2013.09.012 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24076012>.

Kendrick K. M., Zhan Y., Fischer H., Nicol A. U., Zhang X. y Feng J. 2014. Learning alters theta amplitude, theta-gamma coupling and neuronal synchronization in inferotemporal cortex. *BMC Neuroscience*, [revista electrónica] 12(55), pp. 23 <https://bmcneurosci.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2202-12-55>. doi: <https://doi.org/10.1186/1471-2202-12-55>.

Koscielny-Bunde E., Bunde A., Havlin S., Roman H.E., Goldreich Y., Schellnhuber H.J. 1998. Indication of a universal persistence law governing atmospheric variability. *The American Physical Society*, [revista electrónica] 81 (3), pp.729. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.81.729>. doi: 10.1103/PhysRevLett.81.729.

Koscielny-Bunde E., Kantelhardt J.W., Braun P., Bunde A., Havlin S. 2006. Long-term persistence and multifractality of river runoff records. Detrended fluctuation studies. *Journal of Hydrology*, [revista electrónica] 322 (1-4), pp.120-137. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169405001095>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.03.004>.

Krauzlis R. J., Bollimunta A., Arcizet F. y Wang L. 2014. Attention as an effect not a cause. *National Institute of Health, Trends in Cognitive Sciences*, [revista electrónica] 18 (9), pp. 457-464. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24953964>. doi:10.1016/j.tics.2014.05.008.

Kuhnhold A., Schumann A.Y, Bartsch R.P., Schmidt G., Kantelhardt J.W. 2010. Cardio- Respiratory phase synchronization from reconstructed respiration. In: Proceedings of the Biosignal, *3rd International on Bio-inspired System and Signal Processing*. Valencia, España, 20-23 Enero 2010.

Liebovitch L.S., Penzel T., Kantelhardt J. W. 2002. Physiological relevance of scaling of heart phenomena. *The Science of Disasters*. Springer [libro electrónico] pp. 258-281. https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-56257-0_8. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-56257-0_8.

Lloyd S. 2001. Measures of Complexity: a Nonexhaustive List. *IEEE Control Systems Magazine*, [revista electrónica] 21(4), pp. 7-8. <http://ieeexplore.ieee.org/document/939938/>. doi: 10.1109/MCS.2001.939938.

Makse H.A., Havlin S., Schwartz M., Stanley H.E. 1996. Method for generating long-range correlations for large systems. *Physical Review E*, [revista electrónica] 53(5), pp. 5445-5449. <https://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.53.5445>. doi: 10.1103/PhysRevE.53.5445.

Malevergne Y., Pisarenko V.F., Sornette D. 2005. Empirical Distributions of Log>Returns: between the Stretched Exponential and the Power Law? *Cornell University Library*, [revista electrónica] 5(4), pp. 379-401. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.262.3981&rep=rep1&type=pdf>. doi: 10.1.1.262.3981.

Mandelbrot B.B., Van Ness J. W. 1968. Fractional Brownian motions, fractional noises and applications. *Society for Industrial and Applied Mathematics*, [revista electrónica] 10 (4), pp. 422-437. <http://epubs.siam.org/doi/abs/10.1137/1010093>. doi: <https://doi.org/10.1137/1010093>.

Mandelbrot B.B., Wallis J.R. 1969. Some long-run properties of geophysical records. In: Barton C. C., La Pointe P.R. (Eds) *Fractals in Earth Sciences*. Springer Boston 1995. https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4899-1397-5_2. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1397-5_2.

Mandelbrot B. B. 1971. A fast fractional Gaussian noise generator. *Water Resource Research* [revista electrónica] 7(3), pp. 543-553. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/WR007i003p00543/full>. doi: 10.1029/WR007i003p00543.

Mandelbrot B. B. 1999. *Multifractals and 1/f noise: wild self-affinity in physics*. New York: Springer-Verlag.

Mantegna R.N., Stanley H.E. 1999. *An introduction to econophysics—correlations and complexity in finance*. Cambridge: Cambridge University Press.

Martínez Miguélez M. 2008. *Epistemología y metodología cualitativa en las Ciencias Sociales*. Ciudad de México: Editorial Trillas.

Martínez Miguélez M. 2014. *Nuevos fundamentos de la investigación científica*. Ciudad de México: Editorial Trillas.

Márton L.F., Brassai S.T., Bakó L., Losonczi L. 2013. Detrended fluctuation analysis of EEG signals. In: SciVerse ScienceDirect, Elsevier B.V., *the 7th International Conference Interdisciplinarity in Engineering*. 8, pp.123-129. Disponible en: www.sciencedirect.com.

Maurer B. A. 2009. Ecological Complexity. *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*. Springer Science. [Libro electrónico] pp.2697-2711 <http://www.springer.com/us/book/9780387758886#reviews>. doi: 10.1007/978-0-387-30440-3.

Mehregan M., Kahreh M. y Yousefi H.. 2011. Strategic planning by use of Total System Intervention towards the strategic alignment. *International Journal of Trade, Economics and Finance*, [revista electrónica] 2(2), pp. 166-170. <http://www.ijtef.org/show-30-343-1.html>. doi: 10.7763/IJTEF.2011.V2.97.

Meier B., Matter S., Baumann B., Walter S. y Koenig T. 2014. From episodic to habitual prospective memory: ERP-evidence for a linear transition. *Frontiers in human Neuroscience*, [revista electrónica] 8(489), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4079104/>. doi: 10.3389/fnhum.2014.00489.

Mielniczuk J., Wojdylo P. 2007. Estimation of Hurst exponent revisited. *Computational Statistics & Data Analysis*, [revista electrónica] 51 (9), pp. 4510-4525. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167947306002337>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csda.2006.07.033>.

Mobus G. E. y Kalton M. C. 2015. *Principles of Systems Science*. London: Springer.

Morales-Matamoros O., Tejeida-Padilla R. y Badillo-Piña I. 2010. Fractal behavior of Complex Systems. *Wiley InterScience*, [revista electrónica] 27, pp. 71-86. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sres.984>.

Nagarajan R. 2006. Effect of coarse-graining on detrended fluctuation analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, [revista electrónica] 363 (2), pp. 226-236. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437105008307>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2005.08.029>.

Nuñez Amaral L. A., Goldberger A. L., Ivanov P. Ch., Stanley H. E. 1998. Scale-independent measures and pathologic cardiac dynamics. *The American Physical Society*, [revista electrónica] 81(11), pp. 2388-4. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.81.2388>. doi: 10.1103/PhysRevLett.81.2388.

Nuñez Amaral L. A., Havlin S., Ivanov P. Ch., Penzel T., Peter J.H. and Stanley H.E. 2002. Dynamics of sleep-wake transitions during sleep. *EDP Sciences*, [revista electrónica] 57(5), pp. 625-631. <http://iopscience.iop.org/article/10.1209/epl/i2002-00508-7/meta>. doi: 10.1209/epl/i2002-00508-7.

Penzel T., Kantelhardt J. W., Lo C.C., Voigt K. y Vogelmeier C.2003. Dynamics of heart rate and sleep stages in normal's and patients with sleep apnea. *Neuropsychopharmacology Nature Publishing Group*, [revista electrónica] 8, pp. 48-53. <https://www.nature.com/npp/journal/v28/n1s/pdf/1300146a.pdf>. doi: 10.1038/sj.npp.1300146.

Peng C.K., Buldyrev S.V., Goldberger A.L., Havlin S., Sciortino F., Simons M., Stanley H.E.1992. Long-range correlations in nucleotide sequences. *Nature*, [revista electrónica] 356 (6365), pp.168-170. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1301010>. doi: 10.1038/356168a0.

Peng C.K., Buldyrev S.V., Havlin S., Simons M., Stanley H.E., Goldberger A.L.1994. Mosaic organization of DNA nucleotides. *Phys Rev E*, [revista electrónica] 49 (2), pp.1685. <https://dbiom.org/component/content/article?id=52:ck-peng-mosaic-organization-of-dna-nucleotides-1994>.

Peng C.K., Mietus J., Hausdorff J.M., Havlin S, Stanley H.E., Goldberger A.L. (1993) Long-range anti-correlations and non-Gaussian behavior of the heartbeat. *Physical Review Letters*, [revista electrónica] 70(9), pp.1343. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.70.1343>. doi: 10.1103/PhysRevLett.70.1343.

Popper K.R. y Eccles J. C. 1993. *El yo y su cerebro*. Barcelona: Editorial Labor S.A.

- Portellano A. J. 2005. *Introducción a la Neuropsicología*. Ciudad de México: Editorial McGraw-Hill.
- Ramasco J.J., López J. M. y Rodríguez M.A. 2000. Superroughening versus intrinsic anomalous scaling of surfaces. *Physical Review Letters*, [revista electrónica] 84(10), pp. 2199-2202. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.84.2199>. doi: 10.1103/PhysRevLett.84.2199
- Rodríguez-Iturbe I., Rinaldo A. 1997. *Fractal river basins change and self-organization*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Santhanam M.S., Bandyopadhyay J.N., Angom D. 2006. Quantum spectrum as a time series: fluctuation measures. *Physical Review E*, [revista electrónica] 73(1), pp.015201. <https://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.73.015201>. doi: 10.1103/PhysRevE.73.015201.
- Sadock B. J. y Sadock V. A. 1999. *Comprehensive textbook of Psychiatry*. Philadelphia: Wolters Kluwer Lippincott Williams & Wilkins.
- Satinover J.B., Sornette D. 2007. "Illusion of Control" in Minority and Parrondo Games. *The European Physical Journal B*, [revista electrónica] 60 (3), pp. 369-384. <https://epjb.epj.org/articles/epjb/abs/2007/23/b07270/b07270.html>. doi: <https://doi.org/10.1140/epjb/e2007-00353-6>.
- Schmitt D.T., Schulz M. 2006. Analyzing memory effects of complex systems from time series. *American Physical Society*, [revista electrónica] 73 (5). <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.73.056204>. doi: 10.1103/PhysRevE.73.056204.
- Schreiber T., Schmitz A. 1996. Improved surrogate data for nonlinearity tests. *Physical Review Letter*, [revista electrónica] 77(4), pp. 635-638. <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.77.635>. doi: 10.1103/PhysRevLett.77.635.
- Schreiber T., Schmitz A. 2000. Surrogate time series. *Physica D: Non linear Phenomena*, [revista electrónica] 142 (3-4), pp. 346-382. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016727890000439>. doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-2789\(00\)00043-9](https://doi.org/10.1016/S0167-2789(00)00043-9).
- Schumann A. Y., Bartsch R. P., Penzel T., Ivanov P. Ch., Kantelhardt J. W. 2010. Aging effects on cardiac and respiratory dynamics in healthy subjects across sleep stages. *US National Library of Medicine National Institutes of Health, Sleep Research Society*, [revista electrónica] 33(7), pp.943-955. <https://academic.oup.com/sleep/article/33/7/943/2454642/Aging-Effects-on-Cardiac-and-Respiratory-Dynamics>. doi: <https://doi.org/10.1093/sleep/33.7.943>.
- Schumann Y. Aicko, Kuhnhold Anja, Fuchs Katharina, Bartsch Ronny P., Bauer Axel, Schmidt Georg y Kantelhardt Jan W. 2010. Reconstructed respiration and cardio-respiratory phase synchronization in post-infarction patients. In: Proceedings of the Biosignal, *3rd International on Bio-inspired System and Signal Processing*. Valencia, España, 20-23 Enero 2010.
- Squire L. R., Bloom F. E., Spitzer N. C., Du Lac C., Ghosh A. y Berg D. 2008. *Fundamental Neuroscience*. 3ra. edición. San Diego: Academic Press-Elsevier.
- Stanley H.E., *Introduction to Phase Transitions and Critical Phenomena*, New York: Oxford University Press, 1971.
- Stanley H.E., Buldyrev S.V., Goldberger A.L., Hausdorff J.M., Havlin S., Mietus J., Peng C.K., Sciortino F. and Simons M. 1992. Fractal landscapes in biological systems: long-range correlations in DNA and interbeat heart intervals. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, [revista

electrónica] 191(1-4), pp.1-12. <http://www.sciencedirect.com/science/journal/03784371/191?sdc=1>. doi: [https://doi.org/10.1016/0378-4371\(92\)90497-E](https://doi.org/10.1016/0378-4371(92)90497-E).

Sterman J. D. 2000. *Business Dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. Montreal: Editorial Mac Graw-Hill.

St. Louis E. K. y Frey L. C. 2016. *Electroencephalography an introductory text and atlas of normal findings in adults, children and infants*. Chicago: American Epilepsy Society.

Szava S., Valdés P., Biscay R., Galan L., Bosch J., Clark I., Jiménez J.C. "High resolution quantitative EEG analysis". *Brain Topography*, vol. 6, no.3, pp. 211-219. Marzo 1994. [en línea] Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01187711>.

Taqqu M.S., Teverovsky V., Willinger W. 1995. Estimators for long-range dependence: An empirical study. *Electronic Journal of Statistics*, [revista electrónica] 3, pp. 785-798. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/versions?doi=10.1.1.55.8251>. doi: doi=10.1.1.55.8251.

Voss R.F. 1985. *Fundamental algorithms for computer graphics*. New York: Springer-Verlag.

Vyushin D., Zhidkov I., Havlin S., Bunde A., Brenner S. 2004. Volcanic forcing improves atmosphere-ocean coupled general circulation model scaling performance. *Geophysical Research Letters*, [revista electrónica] 31, pp.L10206. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2004GL019499/pdf>. doi: doi:10.1029/2004GL019499.

Wang F., Yamasaki K., Havlin S., Stanley H.E. 2005. Scaling and memory of intraday volatility return intervals in stock markets. *Physical Review E*, [revista electrónica] 73(2) pp. 026117. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.73.026117>. doi: 10.1103/PhysRevE.73.026117.

Weaver W. 1947. Science and Complexity. Weaver W, Wirth R. Science and complexity. Emergence: Complexity and Organization. 2004. *Journal emergent publications*, [revista electrónica] 6(3). pp. 2. <https://journal.emergentpublications.com/article/science-and-complexity/> doi: 10.emerg/10.17357.345ffb2dee3c447ad904eef44952cc0a.

Weron R. 2002. Estimating long-range dependence: finite sample properties and confidence intervals. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, [revista electrónica] 312 (1-2), pp.285-299. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437102009615>. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(02\)00961-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(02)00961-5).

Wu T. 2007. Contemporary Systems and Complexity Studies in china: Review and prospect. *Wiley InterScience*. [Revista electrónica] 24, pp. 381-392. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sres.842/full>. doi: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sres.842>.

Wulun J. 2007. Understanding Complexity, challenging traditional ways of thinking. *Wiley InterScience*, [revista electrónica] 24, pp. 393-402. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sres.840/full>. doi: 10.1002/sres.840.

Wyart V., Myers N. E. y Summerfield C. 2015. Neural mechanism of human perceptual choice under focused and divided attention. Europe PMC Funders Group, [revista electrónica] 35(8), 3485-3498. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4402727/>. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3276-14.2015.

Wykowska A., Chaminade T. y Cheng G. 2015. Embodied artificial agents for understanding human social cognition. *The Royal Society Publishing*, [revista electrónica] 371 (1693), pp. 125-134. <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/371/1693/20150375>. doi: 10.1098/rstb.2015.0375.

Anexo 1. Cerebro Humano

A.1.1 Enfoque fisiológico

Como características físicas, el cerebro humano tiene como unidad fundamental a las neuronas, células capaces de almacenar por lo menos su último estado, brindándole al cerebro la aptitud de restablecer todos los estados que ha tenido; posee un pH de 7.2 que tiende a la alcalinidad; su estructura lógica neuronal conecta alrededor de diez mil millones de neuronas y da forma a la organización que prevalece en su corteza cerebral, parte que presenta un ritmo cortical con un promedio de periodicidad de diez ciclos por segundo; posee como mecanismo regulador el líquido cefalorraquídeo, que circula por los cuatro ventrículos y drena en las venas, aportando nutrientes, hormonas, eliminando desechos y auxiliando como amortiguador del cerebro y la médula.

Para lograr realizar todas sus funciones, el cerebro requiere de glucosa obtenida por medio del proceso biológico de la nutrición, para después ser transformada en ácido pirúvico y quemado por medio del oxígeno en la sangre como dióxido de carbono y agua; la energía es almacenada como fosfato-creatina, manteniéndola constante y liberada como adenosín trifosfato. El cerebro proporciona la capacidad de mantener la homeóstasis del cuerpo humano e integrar y desarrollar patrones emergentes que tienen las siguientes tareas fundamentales (Beer, 1981):

1. Probar los datos de entrada (exteriores e interiores), asegurando que en cada nivel sean procesados apropiadamente, reconocer cualquier comando de acción que debe ser realizado, tomar dicha acción y enviar la información original modificada adecuadamente.
2. Comunicar de forma ascendente una versión modificada de la información que ha sido operada; si dichos datos no pueden generar acciones de comando por parte del cerebro, existen dos alternativas: ya sea dejar que los datos pasen, sin ser tocados, o filtrarlos para reducir la variedad e inhibiendo el sendero ascendente.
3. Almacenar un registro de las transacciones en caso de que se tengan que recuperar datos.

Lo anterior se logra ya que las neuronas poseen memoria a largo plazo lo que permite al cerebro recuperar datos que pudieran haber sido aparentemente olvidados y evocar estados anteriores que han asumido (Beer, 1981).

Como unidad, las neuronas trabajan con un índice de cerca de 30 milisegundos poseen características complejas dinámicas no lineales que son adaptativamente sintonizables, altamente diferenciadas al poseer un cuerpo en forma de diamante con un axón que emana de uno de sus vértices y del resto emergen dendritas que dan vueltas a través del tejido y se adhieren a un gran número de cuerpos celulares de otras neuronas, produciendo una red neuronal intrincada, particularmente en la neocorteza, que permite a los seres humanos poseer una estructura lógica más rica y capacidades mayores de cálculo (Beer, 1981).

Los componentes de una neurona son un cuerpo celular (núcleo y el citoplasma), responsables de regular los aspectos metabólicos de la neurona y dos tipos de prolongaciones, el primero un axón ramificado que sirve para transmitir las señales hacia otras neuronas objetivo, y el segundo las dendritas, que se extienden desde el nervio del cuerpo celular, reciben contactos sinápticos de otras neuronas y pueden ramificarse en patrones extremadamente complejos que contienen múltiples protuberancias cortas denominadas espinas dendríticas.

Las dendritas contienen zonas especializadas de contacto denominadas sinapsis, se caracterizan por tener vesículas sinápticas paramembranas de proteínas específicas que tienen roles particulares para el almacén, liberación, respuesta y catabolismo de los transmisores, así como el almacenaje, reciclaje y re-almacén de las moléculas de los transmisores liberados en la sinapsis. El paso de la información de una neurona a otra es a través de pequeños potenciales de acción (bioeléctrico) que saltan por los axones con núcleos especializados que permiten la regeneración química y remodelan los impulsos (Squire *et al.*, 2008).

Los organelos existentes en el cuerpo de la neurona son los encargados de empaquetar todos aquellos productos que segrega y que hace posible su transportación hacia el axón o las dendritas, se concreta a través de los micro-túbulos contenidos en ambas estructuras que funcionan como soporte para las elongaciones y asisten en el transporte recíproco de macromoléculas esenciales y organelos entre el cuerpo de la célula y los distantes axones o dendritas. Ver Figura A1.41.

Las neuronas tienen seis funciones básicas (Squire *et al.*, 2008):

1. Generan actividad intrínseca en cualquier parte de la neurona, a través de las propiedades de la membrana que dependen del voltaje y de un mecanismo secundario interno de mensajería.
2. Reciben entradas sinápticas en su mayoría en las dendritas, algunas se extienden hacia los cuerpos celulares y, en algunos casos, en los axones.
3. Integran señales, combinando respuestas sinápticas con actividad intrínseca de la membrana.
4. Cifran patrones de salida en patrones potenciales, graduados por potenciales de acción en cualquier parte de la neurona.
5. Distribuyen salidas sinápticas desde segmentos terminales del axón hasta el cuerpo celular y en algunos casos de las dendritas.
6. Reciben y envían señales no sinápticas en forma de campos eléctricos y conducen volumen de neurotransmisores y gases, lográndolo por medio de liberación de hormonas en el torrente sanguíneo usando el medio ambiente extracelular.

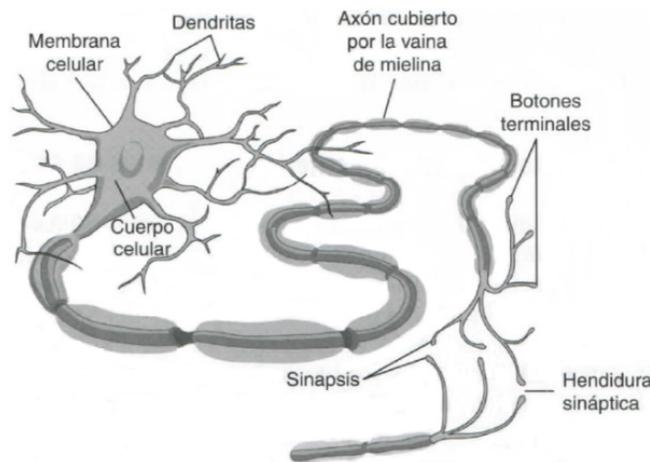


Figura. A1.1. Componentes de la neurona.
Fuente: (Smith y Kosslyn, 2008).

Las funciones anteriores están soportadas por células no neuronales la macroglia y microglia, que permiten regular parámetros, las primeras se refieren a los astrocitos y células de mielina, mientras que las segundas son vasos sanguíneos de las células cerebrales, células del plexo coroide y las meninges. Las funciones que apoyan son las de suministrar energía, retirar excesos de secreciones de neurotransmisores, aislamiento bioeléctrico de axones largos, acelerar velocidad de conducción de potenciales de acción, reclutar glóbulos blancos y otras células para retirar tejido necrótico, circulación apropiada de sangre y protección del cerebro. Adicionalmente, tiene como barrera biológica el líquido cefalorraquídeo, que le permite disminuir el índice de químicos lipofóbicos entre la sangre y el cerebro y limpiar de transmisores al fluido cerebroespinal (Squire *et al.*, 2008).

La clasificación de las neuronas es de acuerdo a su forma, función que desempeñan, localización y a la identidad del transmisor que genera y libera. Con base en esto, será la naturaleza de la molécula receptora en la neurona, glándula o músculo post-sináptico, así como el mecanismo de transducción que utilice la célula post-sináptica para transducir la señal del neurotransmisor cuando se presenten cambios en la permeabilidad de la membrana y sea posible permitir el intercambio de información entre neuronas. Las interconexiones neuronales básicamente se categorizan en dos: la primera

categoría engloba la conexión entre axón-dendrita y axón-cuerpo, la segunda categoría incluye las conexiones entre cuerpos de células adyacentes y superposición de dendritas (Squire *et al.*, 2008).

Las operaciones funcionales de las neuronas es la base neural del comportamiento, se genera a través de tres patrones básicos para formar circuitos: (i) conexiones jerárquicas neuronales largas, el flujo de información es secuencial en neuronas interconectadas unas con otras de forma categorizada, los estímulos son captados primero por receptores primarios situados en todo el cuerpo, son comunicados hacia células primarias transmisoras que la comparten a células secundarias, hasta alcanzar los sensores primarios que se encuentran en la corteza cerebral, ésta procesa la información y se define una acción a realizar que se transmite a las neuronas motoras espinales por medio de impulsos que descienden jerárquicamente de la corteza motora; esta forma de patrón genera que cualquier interrupción en las conexiones entre neuronas incapacite todo el sistema de transmitir información ya que es en serie, (ii) conexión entre las neuronas de forma local, los cortos axones de las neuronas no producen potenciales de acción, por lo que expanden o contraen el flujo de información en su pequeño dominio espacial y (iii) neuronas situadas en una región determinada del cerebro (hipotálamo, pons y médula), que tienen extensas, múltiples, ramificadas y divergentes conexiones con muchas otras células objetivo que le permiten la regulación de distintos procesos corporales (Squire *et al.*, 2008) (Beer, 1981).

A nivel global la organización del cerebro inicia con una división del mismo en dos hemisferios: derecho e izquierdo, conectados entre sí por medio de comisuras (cuerpo calloso). El hemisferio izquierdo de la corteza recibe información del lado derecho del cuerpo y controla el movimiento de ese lado, y viceversa, es más hábil para el lenguaje, matemáticas, operaciones lógicas, procesamiento seriado de secuencias de información, procesamiento serial de actividades detalladas y optimizadas por velocidad necesarias para controlar el músculo esquelético, detalles auditivos y visuales finos. El hemisferio derecho se encarga de reconocer patrones, rostros, relaciones espaciales, pensamiento no verbal, procesamiento emocional, así como de otros tipos de información; es en este hemisferio, donde se da el conocimiento y la generación de patrones de estrés y de entonación del habla que permiten comunicar el estado emocional, se especializa en percibir la relación entre las imágenes y el contexto total en el que se desarrollan (Campbell *et al.*, 2005).

En la zona interna de cada división hemisférica existen dos ventrículos laterales, y debajo de estos, otros dos ventrículos de menor tamaño; cada ventrículo contiene líquido cefalorraquídeo con un doble sistema de circulación. Por encima de estos ventrículos se encuentra una sustancia blanca (haces de nervios), formada por comisuras, fascículos y pedúnculos cerebrales. Las comisuras conectan los hemisferios entre sí y con el sistema límbico; asimismo, permiten sincronizar los datos sensoriales, cognitivos y motores, favoreciendo la laterización. Los fascículos son haces de nervios que comunican a los elementos de cada hemisferio, y permiten conformar circuitos locales, así como la comunicación entre zonas del cerebro y aquellas que estén más alejadas. Los pedúnculos cerebrales vinculan el cerebro con el tronco cerebral, que facilita el flujo de información sensorial y motora de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba, así como de lograr la conexión entre el sistema límbico y los hemisferios.

Encima de la sustancia blanca se encuentra la sustancia gris (cuerpos celulares), que aloja estructuras como los ganglios basales (cuerpos estriados y antemuros), diencefalo (tálamo, hipotálamo, subtálamo y epitálamo) y el sistema límbico (hipocampo y núcleo amigdalino). Los ganglios basales se encargan de actividades motoras involuntarias y automáticas, se ven relacionados con la atención y planificación de actividades. El diencefalo filtra el nivel de alerta y funciona como una estación de relevo de los datos en la corteza cerebral; regula las funciones autónomas y neuroendocrinas, actividad emocional y motivacional, y participa en conjunto con los ganglios para normalizar las actividades motoras, pigmentación de la piel y regulación de la pubertad. El límbico coordina los estados emocionales con las respuestas autónomas y endocrinas.

Por encima de la sustancia gris, en la parte superficial, se encuentra la corteza cerebral, capa de neuronas subdividida en dos: la allocorteza (3 capas de neuronas internas) y la neocorteza (6 capas de neuronas externas) (Portellano, 2005). Ver Tabla A1.1.

Tabla A1.1. Capas de la neocorteza.

Capa	Células	Función
Molecular	<ul style="list-style-type: none"> Fibras y escasos gránulos 	<ul style="list-style-type: none"> Conexiones entre las cortezas
Granular externa	<ul style="list-style-type: none"> Células granulares Fibras de neuronas internas y externas 	<ul style="list-style-type: none"> Función sensitiva Recibir información de corteza y neocorteza y asociar zonas próximas a la corteza
Piramidal externa	<ul style="list-style-type: none"> Células piramidales 	<ul style="list-style-type: none"> Función eferente Enviar información a otras zonas de la corteza cerebral Origina las fibras de asociación entre los hemisferios cerebrales
Granular interna	<ul style="list-style-type: none"> Células granulares 	<ul style="list-style-type: none"> Función sensitiva Recibir información desde núcleos talámicos y otras partes de la corteza cerebral
Piramidal interna	<ul style="list-style-type: none"> Células piramidales medianas, grandes Células piramidales gigantes 	<ul style="list-style-type: none"> Función eferente Enviar mensajes a ganglios basales, tronco cerebral y médula espinal
Poliforma	<ul style="list-style-type: none"> Diversos tipos de células, con preponderancia de fusiformes 	<ul style="list-style-type: none"> Forman las fibras comisurales de unión entre hemisferios y envía fibras hacia el tálamo

Fuente: Portellano, 2005.

La neocorteza se divide en cuatro lóbulos: frontal, occipital, parietal y temporal, los cuales tienen áreas primarias y asociativas; sus funciones radican en recibir y percibir la información sensorial, interpretarla y generar los comandos necesarios que serán ejecutados en forma de comportamiento. Cada tipo de información, proveniente de los sentidos, tiene su primera escala en las regiones sensitivas primarias de cada lóbulo para luego ser transmitida a áreas de asociación cercanas que puedan procesar ciertas características de la misma y permitan su integración. Esta información es enviada a la corteza cerebral, donde se definen comandos motores que produzcan algún movimiento o comportamiento específico. Los comandos o potenciales de acción (señales eléctricas) se producen por las neuronas localizadas en la corteza motora primaria (situada en la parte posterior del lóbulo frontal), y viajan a través de los axones de las neuronas hasta el tronco encefálico y la médula espinal para, finalmente, inducir a las células del músculo a realizar el movimiento (Campbell *et al.*, 2005).

Las sensaciones son procesadas en módulos especializados de la neocorteza: el lóbulo occipital se encarga de la información visual; el lóbulo temporal de la auditiva; información somato-sensitiva del tacto, dolor, presión, temperatura, posición de músculos y extremidades son enviadas hacia el lóbulo parietal, donde primero a través de regiones primitivas de la corteza, viaja hacia el tálamo para llegar, finalmente, a una parte interior del lóbulo frontal (Campbell *et al.*, 2005); de forma conjunta en los lóbulos parietales y los temporales procesan el equilibrio y la cinestesia y los ejecutores del comportamiento se encuentran situados en el lóbulo frontal (Portellano, 2005).

El cerebro obtiene toda la información necesaria para mantener al cuerpo humano dentro de un balance debido a que forma parte del Sistema Nervioso, una estructura de control bi-dimensional cuyo tipo de organización da lugar a propiedades emergentes como la autonomía o funcionamiento vertical y la integración de actividad local en un balance orgánico o funcionamiento horizontal (Beer, 1981). Se divide a su vez en el Sistema Nervioso Central (SNC) y el Sistema Nervioso Periférico (SNP), el primero se compone del encéfalo (cerebro, cerebelo y tronco cerebral) y la médula espinal, protegidos por el cráneo y las vértebras, respectivamente y el segundo se compone de todos los nervios (craneales o espinales) y ganglios nerviosos (neuronas intercaladas en los nervios) (Squire *et al.*, 2008).

El funcionamiento en conjunto de ambos sistemas (SNC y SNP) se genera en dos fases: la primera consiste en obtener toda la información interna y externa a través de los receptores existentes en todo el cuerpo sus funciones radican en transducción sensitiva, amplificación, transmisión e integración de datos. La información del medio se registra por medio de externo-receptores, divididos en tele-receptores (oídos y ojos) que trabajan a distancia, receptores químicos (gusto y olfato) y receptores cutáneos (tacto), los cuales recaban datos de tres distintas formas principales (registro de presión ligera, presión intensa, frío, calor y sensibilidad a través de los vellos); en cambio, la

información del medio interno proveniente de los órganos se obtiene de los interno-receptores, ambos tipos de aferencias viajan por los nervios del SNP para llegar a la médula espinal y después al cerebro (SNC), donde la información es integrada por las inter-neuronas que consideran el contexto inmediato y el pasado, estos datos procesados o comandos dejan el SNC (cerebro primero y después médula) para ser comunicados por medio del SNP a neuronas motoras que se comunican con células efectoras que generan un comportamiento. Ver Figura A1.2 (Squire et al., 2008) (Campbell et al., 2005) (Beer, 1981).

Cada fase se encuentra controlada por medio de bucles de retroalimentación que permiten comparar los parámetros imperantes en un determinado lapso de tiempo en distintas partes del organismo con los valores necesarios para continuar viviendo, si se detectan variaciones se generan acciones de ajuste para corregir los parámetros (Squire et al., 2008) (Davidoff, 1984) (Beer, 1981).

Los canales de comunicación, denominados nervios (SNP) que soportan cada etapa son un conjunto de fibras pertenecientes a las neuronas, son estructuras disipativas que muestran auto-organización con propiedades autopoiéticos; estos axones o conductores están hechos de protoplasma, poseen intersecciones denominadas sinapsis y están cubiertos de una vaina de mielina que funciona como aislante y permite a los impulsos nerviosos llegar más rápido hacia el siguiente punto de comunicación, este aislador desaparece al llegar al final de los axones y en las cercanías de la médula espinal.

Al intervenir en la regulación del cuerpo, el SNP se divide en dos: Sistema Nervioso Somático (SNS), que participa en las actividades motoras y cognitivas que se realizan de forma voluntaria transmitiendo señales a los músculos esqueléticos debido a estímulos externos, y el Sistema Nervioso Autónomo (SNA), que regula distintos músculos y órganos internos, a través de tres divisiones (simpática, parasimpática y entérica) que generan energía, el despertar, activan los mecanismos de respuesta (lucha o huida), produce respuestas que promueven la calma, el retorno a las funciones de auto-mantenimiento y el funcionamiento de los músculos peristálticos (Campbell et al., 2005).

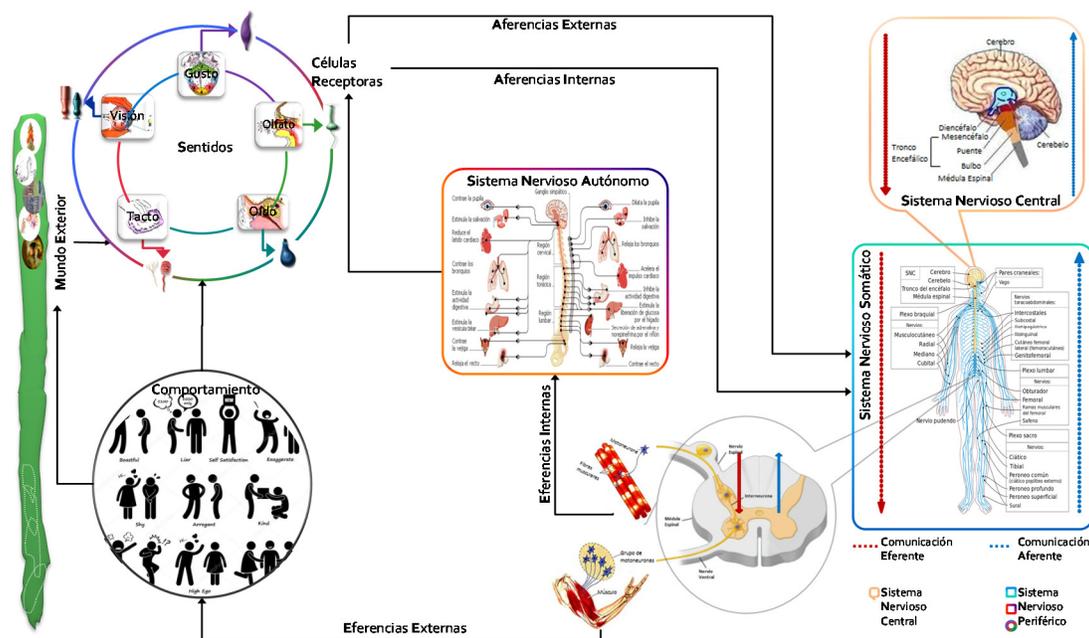


Figura A1.2. Estructura del Sistema Nervioso en los seres humanos.
Fuente: Elaboración propia con base en (Squire et al., 2008) y (Beer, 1981).

El SNC tiene cinco niveles de organización jerárquica; el primero está referenciado por la médula espinal, órgano al que llega a comunicarse la información interna y externa por medio de los nervios

y el tallo cerebral (recolecta información de sentidos especializados), domina el eje de control lateral, permite la comunicación entre la columna vertebral y el cerebro, provee las acciones de reflejo de coordinación en un alto nivel, consigue control local a un bajo nivel (control vertical) y mantiene integrales los controladores intrínsecos; el segundo nivel es la Pons, encargada del eje comando central a través del uso de largas fibras de nervios y la coordinación de las dos mitades del cerebelo por medio de fibras transversales cortas; en el tercer nivel se encuentra el mesencéfalo, sección donde toma lugar el filtro de los datos y se monitorean los reflejos correctos que permiten al cuerpo mantenerse en equilibrio; el cuarto nivel corresponde al diencéfalo que junto al tálamo y a la ganglia basal permiten la conexión entre las partes bajas y altas del cerebro, en este nivel se encuentra también el cerebelo, órgano que recibe información tanto de niveles superiores como de inferiores, posee una estructura que permite controlar los actos finos auxiliándose de los datos acerca de los músculos, el uso de información sensorial especial mediada por el encéfalo y la que ha sido procesada por la corteza cerebral; finalmente el quinto nivel es el encargado de la inteligencia operativa, procesar datos, tomar decisiones y comunicarlas hacia el primer nivel, el tallo cerebral, donde se traduce en comandos que serán enviados a la médula espinal para que sean ejecutados por los nervios eferentes que inervan los músculos (Beer, 1981).

A.1.2 Enfoque neurológico

El punto de vista neurológico propone el cerebro humano puede brindar homeóstasis por medio de cuatro sistemas: el sensorial, cognitivo, intrínseco y motor. El primer sistema genera sensaciones que son dirigidas a las partes correspondientes del cerebro para que sean interpretadas como percepciones, construcciones que existen sólo dentro del cerebro y que pueden variar de una persona a otra, con base en su experiencia (Campbell *et al.*, 2005) (Squire *et al.*, 2008).

El sistema cognitivo se encarga de mediar las respuestas voluntarias del cuerpo utilizando la corteza cerebral; asimismo, permite la planeación, priorización, iniciación y evolución de las consecuencias del comportamiento voluntario. Esta estructura hace posible asociar emociones a la conducta y a la información sensorial de retroalimentación, y obtener la capacidad de que un determinado tipo de comportamiento pueda o no ser reforzado y repetido en otra situación similar.

En el caso del sistema intrínseco, los datos son generados desde todas las partes del organismo, trabajando de forma conjunta con el sistema motor permite al organismo mantener su funcionamiento continuo, aun cuando el cuerpo humano se encuentra bajo patrones rítmicos de actividad como el ciclo de sueño, completamente despierto, o en algún estado motivacional.

El sistema motor (SM) que ejecuta el comportamiento en el primer nivel contiene moto-neuronas, que inervan a un músculo estriado para generar componentes individuales de comportamiento; en el siguiente nivel es posible encontrar grupos de inter-neuronas que están interconectadas e inervan grupos específicos de moto-neuronas; en el nivel más elevado se visualizan grupos adicionales de inter-neuronas interconectadas, que inervan grupos específicos de colecciones del segundo nivel, cuyas salidas activan un comportamiento estereotipado complejo (Squire *et al.*, 2008).

Cada uno de los tres sistemas (sensitivo, cognitivo e intrínseco) se encuentran interconectados entre sí de manera bidireccional, es decir, generan un bucle de retroalimentación; la información obtenida del sistema sensorial busca los sistemas cognitivos e intrínsecos y, en forma paralela, alcanza directamente al SM. Como resultado de este proceso, se genera nueva información sensorial que sirve para ser utilizada por los sistemas cognitivos e intrínseco (Squire *et al.*, 2008). Ver Figura A2.1.

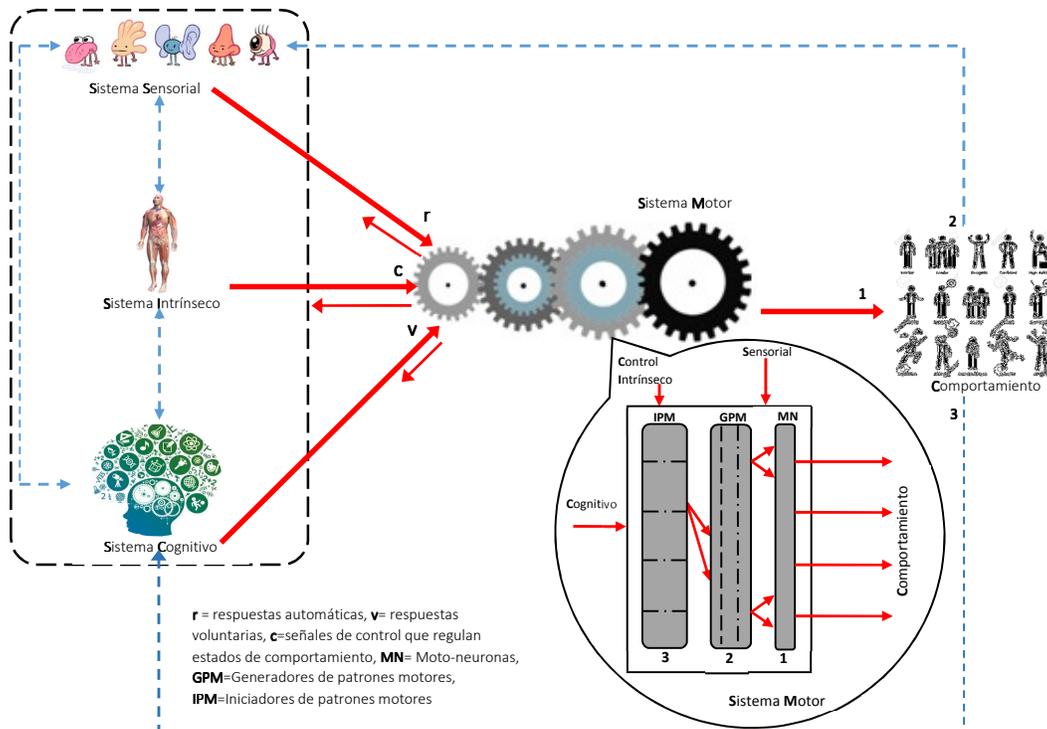


Figura A1.3. Funcionamiento del Sistema Nervioso Central.
Fuente: Elaboración propia con base en (Squire *et al.*, 2008).

A.1.3 Enfoque psicológico

Ninguna de las funciones cognitivas es efectuada sólo por un área cerebral específica, es el trabajo en conjunto de diferentes sistemas de áreas corticales interdependientes entre sí, que permite realizar tareas específicas, procesar distinta información y lograr el funcionamiento como un todo por medio de interrelaciones, así como por el intercambio de energía, información y materia con su medio ambiente inmediato (Smith y Kosslyn, 2008). Los procesos cognitivos se llevan a cabo en tres etapas de procesamiento (Portellano, 2005):

- a. Tratamiento de información de entrada que accede al encéfalo para generar el análisis perceptivo (áreas sensoriales).
- b. Procesamiento serial o paralelo que permite almacenar los datos procesados como percepciones y estén disponibles para ser recordados cuando sea requerido y sea posible generar representaciones mentales para su reconocimiento y encauzar su significado y permita una representación del todo como una complejidad creciente (áreas asociativas).
- c. Modificación de salida dedicada de la transformación de las percepciones en conducta, pensamiento o acción.

El Sistema Nervioso tiene un proceso operativo jerárquico en cuatro niveles fundamentales: molecular, celular, sistema y de comportamiento. En el nivel molecular se hace énfasis en la interacción de moléculas que regulan la transcripción de genes, su traslación a proteínas y los procesos posteriores que éstas sufren. A nivel celular, lo fundamental es la interacción sináptica entre las neuronas que pueden mediar el comportamiento de una perturbación experimental dada; con esta perturbación, a nivel sistema, se toma en consideración la distribución de los sensores y efectores que integran el organismo, su respuesta y las consecuencias de su operación secuencial. Finalmente, a nivel comportamiento, se enfatiza en las interacciones entre los individuos y su ambiente colectivo que pueden generar expresión psicológica, funciones cognitivas superiores y todos aquellos problemas de la vida diaria (Squire *et al.*, 2008).

Anexo 2. Producción Científica

A.2.1 Enfoques lineal y no lineal en estudios en procesos cognitivos

Revista Universitas Psychologica

The screenshot displays the journal's interface. At the top, there is a navigation bar with links for 'Educación Continua', 'Egresados', 'Bibliotecas', 'Publicaciones', 'Internacionalización', 'Centro Ático', 'Facultades', 'Servicios', and 'Noticias'. Below this is a search bar labeled 'Búsqueda en OJS' and a 'Correo Exchange | Mi Correo' link. The main header includes the university logo and the text 'LA UNIVERSIDAD | PROGRAMAS DE ESTUDIO | ADMISIONES Y REGISTRO | INVESTIGACIÓN | EXTENSIÓN | MEDIO UNIVERSITARIO'. A secondary navigation bar lists 'INICIO', 'LIBROS', 'REVISTAS', 'CATÁLOGO', 'SOBRE LA EDITORIAL', and 'CONTÁCTENOS'. The main content area shows the article '#20709 Revisión' with tabs for 'RESUMEN', 'REVISIÓN', and 'EDICIÓN'. The 'Envío' section lists authors (Ixchel Lina Reyes, Teresa Ivonne Contreras Troya, Oswaldo Morales Matamoros, Jesús Jaime Moreno Escobar, María Alejandra Favila Figueroa, Ricardo Tejeida Padilla) and the editor (Emy Ardila Charry). The 'Evaluación por pares' section shows 'Ronda 1' with a version of the revision (20709-78735-1-RV.DOCX) dated 2017-12-13. The 'Decisión del editor/a' section shows a decision of 'Ninguno' and a notification to the editor dated 2018-04-01. On the right side, there are sections for 'IDIOMA' (Español), 'USUARIO/A' (megami), 'CONTENIDO DE LA REVISTA' (search bar), 'EXAMINAR' (links for number, author, title, etc.), 'INFORMACIÓN' (links for readers, authors, etc.), and 'TAMAÑO DE FUENTE' (font size controls).

Facultades

- Arquitectura y Diseño
- Artes
- Ciencias
- Ciencias Económicas y Administrativas
- Ciencias Jurídicas
- Ciencias Políticas y Relaciones Internacionales
- Ciencias Sociales
- Comunicación y Lenguaje
- Derecho Canónico
- Educación
- Enfermería
- Estudios Ambientales y Rurales
- Filosofía
- Ingeniería
- Medicina
- Odontología
- Psicología
- Teología

Programas de Estudio

- Carreras/Pregrados
- Posgrados
- Educación Continua
- Educación Permanente
- Técnico Laboral
- Asignaturas de Libre Escogencia
- Cursos Preuniversitarios
- Cursos de Orientación Profesional
- Centros, Institutos y Observatorios

Enlaces

- Telescopi
- Jesuitas Colombia
- RENATA
- Universia
- ICETEX
- Colombia Aprende
- AUSJAL
- Javeriana Sec. Cali
- 200 años Restauración JHS
- Javeriana Estéreo FM



Figura A2.1. Artículo en revisión para la Revista Universitas Psychologica.
Fuente: Elaboración propia.

A.2.2 Toward fractal properties of cognitive process in the human brain under Complexity Science approach

International Society for the Systems Science



ISSS Journals - 62nd Meeting

HOME ABOUT USER HOME SEARCH CURRENT ARCHIVES ANNOUNCEMENTS

Home > User > Author > Submissions > #3336 > Summary

#3336 Summary

SUMMARY REVIEW EDITING

Submission

Authors: Ischell Lina
 Title: Towards fractal properties of cognitive processes in the human brain under the complexity science approach
 Original file: [3336-14886-1-001.docx](#) 2018-04-19 [GO TO SUPPLEMENTARY FILE](#)
 Supp. files: None
 Submitter: Ms Ischell Lina
 Date submitted: April 19, 2018 - 05:58 PM
 Section: Health and Systems Thinking
 Editor: Jennifer Wilby

Status

Status: In Editing
 Initiated: 2018-05-02
 Last modified: 2018-05-02

Submission Metadata

EDIT METADATA

Authors

Name: Ischell Lina
 Affiliation: Instituto Politécnico Nacional
 Country: Mexico
 Bio Statement: --
 Principal contact for editorial correspondence: --

Title and Abstract

Title: Towards fractal properties of cognitive processes in the human brain under the complexity science approach

Abstract

The systems movement experienced four waves in 20th century; the first wave stemmed from the debate on the nature of life between vitalism and mechanism. The second was the interdisciplinary research arising after the World War II, with General System Theory and Cybernetics, with the help of Information Theory, Operational Research, and Systems Analysis. The third one was the establishment and development of the Theory of Self-Organization. And the fourth wave of systems movement was the rise of Complex Systems Science, which mainly referred to the systems research movement in 1980s with the Chaos Theory and Complexity Science, including some new concepts such as emergence and chaos, appeared with the accompaniment of some new methods of mathematics and computation such physical theories of nonlinear dynamics (e.g. Fractal geometry) and multi-agent-based computer simulation.

The human brain has been the subject of study among different branches of knowledge, describing their physiological and cognitive processes from data treated with qualitative tools and linear quantitative variables, seeking to obtain a determined average behaviour and the causality of the same. However, living systems do not obey linear issues. The actions that emerge from them have complex characteristics, which explanations or understanding is far from being able to be represented from their components and their individual behaviour, reason why their study and understanding requires the application of Chaos Theory and Complexity Science.

Cognitive processes are the ones that allowed human beings to differentiate them from other animals in ways that give them the opportunity to own, modify and live in any environment on the planet. This research focuses on the nonlinear quantitative characterization of cognitive processes. In order to do this, it was applied fractal geometry as an alternative tool for the characterization of cognitive (non-linear) processes that emerge from human brain. With this quantitative tool it was studied data signals of EEG (voltage generated by the interrelation among neurons as a function of time) from cognitive processes.

Fractal geometry could allow to eliminate the biases and tendencies in the signals of the cognitive processes to increase the visualization and suggestion of the real dynamics of these processes, in order to complement the experts opinion in a discipline or medical field that interpret the results.

In this research it was applied fractal geometry to study the fluctuations dynamics of stochastic time series (EEG) of a patient with reading and spelling disorders, which can be a reflection of difficulties in some of the cognitive processes such as language, learning, memory, intelligence, perception sensation or attention. Data were taken from 19-channel EEG (electrodes), which were treated as time series: voltage vs. time, each time series was 6453 data length. For each channel it was constructed 198 time series of fluctuations (standard deviation), for different time lags (τ). From each fluctuation time series, there were constructed other 198 time series (fluctuation of deviation fluctuation), also for different τ . Based on all-time series of generated fluctuations (39,204), there were determined two scaling exponential: the roughness exponent (H) and the Fluctuation growth, for each of the 19 channels.

By applying fractal geometry, it would be possible to establish (from statistical point of view) the probable future states of cognitive processes, that help to discovering new forms of treatment, therapies and contribute with ideas about the dynamics of cognitive processes.

Indexing

Keywords: cognitive processes, fractal geometry, system thinking, complexity
 Language: en

Supporting Agencies

OPEN JOURNAL SYSTEMS

Journal Help

USER

You are logged in as...
megami
 • My Journals
 • My Profile
 • Log Out

AUTHOR

Submissions
 • Active (1)
 • Archive (0)
 • New Submission

NOTIFICATIONS

• View
 • Manage

JOURNAL CONTENT

Search

Search Scope

All

Search

Browse

• By Issue
 • By Author
 • By Title
 • Other Journals

FONT SIZE

A A A

INFORMATION

• For Readers
 • For Authors
 • For Librarians

Figura A2.2. Artículo en edición para la International Society for the Systems Science.
 Fuente: Elaboración propia.

A.2.3. Dinámica fractal de niños con trastornos en el aprendizaje en México

Artículo aceptado en Revista Científica, para publicarse en el número de enero-junio 2019.



Dinámica fractal de niños con trastornos en el aprendizaje en México *Fractal dynamics of children with learning disorders in Mexico*

Lina-Reyes Ixchel¹, Morales-Matamoros Oswaldo¹, Moreno-Escobedo Jesús Jaime Contreras-Troya Teresa Ivonne²

¹Instituto Politécnico Nacional
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación
Edificio 5 2do. Piso, Col. Lindavista, CP 07738 Ciudad de México
MEXICO

²Universidad Autónoma del Estado de México
Campus Ecatepec
Calle José Revueltas 17, Col. Tierra Blanca, C.P. 55020, Ecatepec de Morelos
MEXICO

Teléfono: ¹57296000 ext. 54639 ²57873626 ext.147

Correos electrónicos (emails): sadness966@hotmail.com, ivonnetroya@gmail.com, omoralesm@ipn.mx

Declaración de subvenciones

Este trabajo se ha realizado con el apoyo del Instituto Politécnico Nacional, a través del proyecto SIP-20181415

Figura A2.3. Artículo aceptado en la Revista Científica.
Fuente: Elaboración propia.

A2.4. Dynamic scaling of EEG fluctuations of patients with learning disorders based on Artificial Intelligence

Intelligence Systems Conference (IntelliSys) 2019, Londres, Reino Unido, 5-6 de septiembre de 2019.

Online Submission System

Thank You Jesús Jaime Moreno-Escobar!

Your paper submission titled "Dynamic scaling of EEG fluctuations of patients with learning disorders based on Artificial Intelligence" has been received.
Our team is processing your submission. You will receive an email within next 24 hours from the Conference Team with Login Details to access the Paper Submission System.

FLUCTUACIONES DE PACIENTES CON TRASTORNOS EN EL APRENDIZAJE, APLICANDO INTELIGENCIA ARTIFICIAL

(DYNAMIC SCALING TO STUDY TIME SERIES FLUCTUATIONS OF PATIENTS WITH LEARNING DISORDERS BY APPLYING ARTIFIAL INTELLIGENCE)

Jesús Jaime Moreno-Escobedo¹, Ixchel Lina-Reyes¹, Oswaldo Morales Matamoros¹, Teresa Ivonne Contreras-Troya², Ricardo Tejeida Padilla¹

¹Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Zacatenco, Unidad Profesional 'Adolfo López Mateos' Sección de Estudios de Posgrado e Investigación. Col. Lindavista, CP 07738 Ciudad de México. MÉXICO.

²Universidad Autónoma del Estado de México. Centro Universitario UAEM Ecatepec. Estado de México. MÉXICO.

E-mail: jemoreno@esimez.mx, megamikurayami@gmail.com, omoralesm@ipn.mx, ticontrerast@uaemex.mx, rtejeidap@ipn.mx

RESUMEN

En esta investigación se caracteriza la dinámica de fluctuaciones de series de tiempo de pacientes con trastornos de aprendizaje, concretamente con problemas de lecto-escritura, aplicando geometría fractal, teoría del crecimiento de interfaces rugosas e Inteligencia Artificial. A partir de EEG de niños diagnosticados con problemas de lecto-escritura, se obtuvieron datos de la actividad cerebral de estos niños con los que se generaron series de tiempo de fluctuaciones (desviaciones estándar, $v(t, \tau)$) de voltaje para cada uno de los 19 canales distribuidos en distintas regiones de la corteza cerebral. Se caracterizó la auto-afinidad de las series de tiempo de fluctuaciones (tratadas como interfaces en movimiento) mediante el comportamiento de escalamiento de las funciones de estructura: (i) $\sigma \propto (\delta_t)^\zeta$, con ζ como el exponente local o de rugosidad y (ii) $\sigma \propto \tau^\beta$, con β como el exponente de crecimiento de fluctuaciones. Estos hallazgos apuntan a la existencia de un comportamiento de escalamiento dinámico semejante al de Family-Vicsek para la cinética de rugosidad de una interface en movimiento.

Palabras clave: EEG, series de tiempo, fluctuaciones, auto-afinidad, rugosidad, escalamiento dinámico.

ABSTRACT

Key words: EEG, time series, fluctuations, self-affinity, roughness, dynamic scaling.

INTRODUCCIÓN

El trastorno del aprendizaje está caracterizado por dificultades significativas para obtener las habilidades de lectura, escritura y/o aritmética; generalmente se manifiesta en una edad temprana en las personas durante la instrucción del lenguaje oral o en los primeros años de escuela. Este trastorno genera un rendimiento inferior al esperado a la edad y nivel intelectual de la persona, deteriorando el modo en que uno se relaciona con los demás, problemas afectivos, depresión, frustración, discriminación y limitadas posibilidades de desarrollo académico, profesional y social. El origen de este desorden puede ser genético, relacionado al funcionamiento de los procesos cognitivos, el nivel del coeficiente intelectual, la disponibilidad de educación, la falta de dominio del lenguaje o el medio ambiente social y/o familiar de la persona (Conti-Ramsden2018,OMS2018,Torrano2015). En México, alrededor del 5% de los niños tiene dificultades en su desarrollo temprano; que estos puedan obtener ayuda implica la detección de las dificultades en conjunto por parte de los familiares y docentes cuya información permita particularizar una intervención a los profesionales y el niño mejore su desempeño e inclusive corregir sus imperfecciones (Torrano2015).

Figura A.2.4. Artículo enviado a Intelligence Systems Conference (IntelliSys) 2019.
Fuente: Elaboración propia.