



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**“ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES EN PACIENTES CON
TRASTORNOS NEUROLÓGICOS A TRAVÉS DE LA TEORÍA DEL
CAOS Y LA GEOMETRÍA FRACTAL ANTES Y DESPUÉS DE
APLICAR CAMPO MAGNÉTICO DE BAJA FRECUENCIA.”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

Q U Í M I C O

P R E S E N T A

YESICA NATALI ALVAREZ PACHECO

ASESOR: M. EN C. SOLEDAD CARRETO GARCÍA.

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX. 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**M. en C. JORGE ALFREDO CUELLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: M. EN A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Análisis de datos experimentales en pacientes con trastornos neurológicos a través de la teoría de caos y la geometría fractal antes y después de aplicar campo magnético de baja frecuencia

Que presenta la pasante: Yesica Natali Álvarez Pacheco
Con número de cuenta: 404057321 para obtener el Título de: Química

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 06 de Octubre de 2014.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M.C. Soledad Carreto García	
VOCAL	M. en C. Gilberto Atilano Amaya Ventura	
SECRETARIO	Dra. Celina Elena Urrutia Vargas	
1er. SUPLENTE	Q. Ofelia Esperanza Arroyo Fal	
2do. SUPLENTE	Q. Karla Paola Hernández Pérez	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

HMI/iac

AGRADECIMIENTOS



A mi Dios que siempre estuvo conmigo
brindándome amor, fuerza, fe, voluntad, y
armonía para creer en lo que parecía
imposible terminar.

A mis padres María Concepción Pacheco
Palomino y Héctor Hugo Álvarez Casillas por
guiarme en el camino correcto y haber hecho
de mí una persona con valores y principios
buscando siempre mi bienestar y el de los
demás.

A mi sobrina Valeria Álvarez León a pesar de
la distancia en cada paso que doy siempre te
llevo en mi mente y mi corazón.

A mis suegros por brindarme su amor
incondicional y apoyarme en cada ámbito de
mi vida.

A mis abuelitos Chuchita y Heriberto porque
siempre me llenaron con sus bendiciones y no
encuentro la manera de agradecerles tanto
amor y cuidados.

A mis amigas Aby, Susi y Nelly por tantas
risas y apoyo

A mis hermanos por tantos juegos y travesuras,
momentos tan increíbles que compartimos y
que se quedaron en nuestros corazones.

A ti que decidiste cuidarme desde el cielo, mi
pequeño angelito que cuida y guía cada paso
que doy... Gracias por enseñarme el amor
verdadero.

A Rafa por ser mi amor y por compartir
conmigo mis triunfos y tristezas, por
prestarme tu hombro cuando lo necesite.

A mis amigos Cesar, Jesús, Alejandro,
Josefina, Eugenia, Susan e Hilda por los
bellos momentos compartidos en la carrera.

Especialmente a la Profesora Soledad Carreto
García por la enseñanza, entrega, fuerza y
tiempo brindado para hacer este trabajo
realidad.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Índice General	iv
Índice de Imágenes.....	vii
Índice de tabla	x
Resumen.....	xi
Introducción.....	xiii
 CAPITULO I. ANTECEDENTES.....	 1
1.1 .Universalidad del Caos.....	1
1.2. Atractores predeterminados.....	6
1.3. Tipos de Atractores.....	6
1.4. Diferentes presentaciones de Atractores.....	7
 CAPITULO II. SISTEMAS DINÁMICOS.....	 11
2.1. Sistemas Dinámicos Clásicos.....	12
2.1.1. La Ecuación de Maltus	12
2.1.2. La Curva de Verhulst	13
2.1.3. La Parábola Logística de May	13
2.1.4. El método de Newton	13
2.2. Tipos de Sistemas	14
2.2.1. Sistema Lineal.....	14
2.2.2. Sistema No Lineal.....	15
2.2.3. Sistema Determinista.....	16
2.2.4. Sistema Estocástico.....	17
2.2.5. Sistema Discreto.....	17
2.2.6. Sistema Complejos.....	17
2.3. Dinámica no lineal.....	19
 CAPITULO III. TEORÍA DEL CAOS Y GEOMETRÍA FRACTAL.....	 21
3.1 Espacio Fase	24
3.1.1. Tipos de Diagrama de fases	25
3.2. Espectro de potencia	26
3.3. Distribución de Probabilidad	27
3.3.1. Aleatoridad	27
3.3.2. Probabilidad	28
3.3.3. Distribución de Gauss o Normal	28
3.4. Exponente de Hurst	29
3.4.1. Tipos de Comportamiento	30
3.5. Capacidad de Dimensión	31
3.6. Dimensión de Correlación	32
3.7. Exponente de Lyapunov	33
3.8. Ruta al Caos	35
3.9. Geometría Fractal	37

3.9.1. Primera Dimensión.....	39
3.9.2. Segunda Dimensión.....	39
3.9.3. Tercera Dimensión.....	40
3.9.4. Cuarta Dimensión.....	40
3.10. Explorando la autosimilitud	42
3.11. Conjunto de Julia	44

CAPITULO IV. CEREBRO, ELECTROENCEFALOGRAMA Y SUS DERIVACIONES

4.1. Cerebro Reptil	48
4.2. Cerebro mamífero o límbico	48
4.3. Cerebro Neo Corteza	49
4.4. Geografía del Cerebro	49
4.4.1. Funciones de la Neocorteza	50
4.4.2. Anatomía del Cerebro	53
4.5. Sistema Nervioso y Neuronas	56
4.6. Sistema Nervioso Central	56
4.6.1. Dendritas	57
4.6.2. Axón	58
4.6.3. Soma	58
4.7. Tipos de Sinapsis	59
4.7.1. Sinapsis Química	59
4.7.2. Sinapsis Eléctrica	60
4.8. Membrana celular.....	62
4.9. Epilepsia, Electroencefalograma y sus Alteraciones	64
4.10. Epilepsia	66
4.11. Complejo espiga-onda de tres por segundo	67
4.12. Complejo de puntas lentas y ondas	68
4.13. Complejo de onda punta rápida	69
4.14. Estatus epiléptico generalizado no convulsivo	70
4.15. Lesiones focales en pacientes con descarga de espiga-onda generalizada.....	71
4.16. Crisis parciales. Electroencefalograma Interictal	72
4.17. EEG Ictal	73
4.18. Estado epiléptico focal	73
4.19. Actividad de descarga eléctrica	74
4.20. Ondas agudas repetitivas focales transitorias	75
4.21. Patrones rítmicos alfa-beta	76
4.22. Variantes epileptiformes benignas	77
4.23. Ondas lentas lambda de la niñez.....	77
4.24. Hiperventilación	77
4.25. Respuestas Fotomiogénicas	77
4.26. Variantes epileptiformes benignas	78
4.27. Ondas agudas de Vertex	78

4.28. Complejo K	79
4.29. Ondas agudas transitorias multifocales de la infancia.....	79
 CAPITULO V. APLICACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO	80
5.1. Campos magnético de alta frecuencia	85
5.2. Campos magnético de baja frecuencia	85
 CAPITULO VI. PARTE EXPERIMENTAL.....	88
6.1. Objetivo general	88
6.1.1. Objetivos particulares	88
6.2. Equipo y Software	89
6.3. Método	89
6.3.1. Obtención de datos	89
6.3.2. Procedimiento experimental	90
6.3.3. Obtención numérica de datos experimentales	90
 CAPITULO VII. RESULTADOS	91
 CAPITULO VIII .CONCLUSIONES.....	106
 CAPITULO IX. PROYECCIONES.....	110
 CAPITULO X. APÉNDICE	111
 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	161

INDICE DE IMAGENES

	Pág.
Fig. 1.1. Conjunto de Mandelbrot, diferentes formas de interpretación de los fractales.....	3
Fig. 1.2. Fractales obtenidos de diversos fenómenos naturales y biológicos.....	4
Fig. 1.3 Gráfica de la función $F = f \cos \omega t$	6
Fig. 1.4. Atractor extraño de las sucesiones de tiempo semejante al aleteo de mariposas. Representación del atractor de Lorenz.....	6
Fig.1.5. Descripción y presentación de las diferentes representaciones de atractores.	7
Fig. 1.6. Pasos para formar el fractal de Rossler.....	9
Fig.1.7. Cuatro diferentes formas de atractores extraños de un sistema dinámico de Rossler, J. Crutchfield, D.Farmer, y N.Packard, R.Shaw.....	9
Fig.1.8. Atractor extraño de un fumador, analizado con técnicas de la dinámica no lineal y geometría fractal en el laboratorio de dinámica no lineal de datos electrocardiográficos.....	9
Fig. 1.9. Atractor extraño obtenido del estudio del corazón de ratas wistar que describe la arritmia de estas, analizado en el laboratorio de dinámica no lineal.....	10
Figura 2.1 .Representación gráfica método de Newton aplicado a $f(x)=x^3$.	13
Fig. 3.1. Características y condiciones matemáticas que debe de cumplir un sistema para ser considerado caótico.....	22
Fig. 3.2. Representación gráfica que aparenta un comportamiento cuasiperiodico obtenido de un paciente con problema de sensibilidad al ruido.....	25
Fig. 3.3. Comportamiento de los diferentes tipos de diagrama de fases....	25
Fig. 3.4. Representación gráfica del poder de espectro en un paciente con problemas neurológicos obtenidos en el laboratorio de dinámica no lineal FES Cuautitlán Campo 1.....	26
Fig.3.5. Gráfico que representa la distribución normal o “distribución de Gauss”, obtenida de un paciente en el laboratorio de dinámica no lineal en FESC-1.	28
Fig. 3.6. Representación gráfica del exponente de Hurts obtenido de un paciente con problemas de sensibilidad al ruido.....	30
Fig. 3.7.Representación gráfica de la dimensión de capacidad obtenida del estudio de un paciente con problemas de sensibilidad del ruido, en el laboratorio de dinámica no lineal.....	32
Fig. 3.8. Representación gráfica del exponente de Lyapunov, cuya estructura dependerá de la derivación en estudio; obtenida de un paciente con problemas de sensibilidad al ruido, desarrollados en el laboratorio de dinámica no lineal, en FESC-1.....	34

Fig.3.9. Representación matemática del comportamiento del exponente de Lyapunov.....	35
Fig. 3.10. Representación de la imagen de la geometría curvada.....	37
Fig. 3.11. Representación del comportamiento lineal de la primera dimensión.....	39
Fig. 3.12. Representación del comportamiento de un plano cuadrado en la segunda dimensión	39
Fig. 3.13. Representación del comportamiento del cubo en la tercera dimensión.	40
Fig. 3.14. Representación infinita del comportamiento en la cuarta dimensión.....	41
Fig. 3.15. Representación matemática del conjunto de Mandelbrot como subconjunto del plano complejo mediante el algoritmo de tiempo de escape.....	41
Figura 3.16. Observándose el crecimiento de la figura encerrada en el cuadro blanco, su inmediata autosimilitud la imagen encerrada en el cuadro rojo y así sucesivamente.....	42
Fig. 3.17. Al ampliar la imagen del recuadro blanca se observa la autosimilitud del fractal total.....	43
Fig. 3.18. Si ampliamos en cuadro violeta.....	43
Fig. 3.19. Ampliación de la mancha que aparece en el cuadro violeta se observa la misma forma que la de la imagen inicial del fractal.....	43
Fig. 3.20. Al amplificar el cuadro azul se encuentra nuevamente una similitud de la imagen inicial.....	44
Fig. 3.21. El conjunto de Julia tiene un comportamiento caótico, debido a los puntos que se encuentran por debajo de la iteración de f , siendo este una función Holomorfa.....	45
Fig. 3.22. Existe una relación muy fuerte entre los conjuntos de Julia y el conjunto de Mandelbrot denotado por M , debido a la similitud en sus definiciones.....	46
Fig. 4.1. Imagen del interior del cerebro reptil.....	48
Fig. 4.2. Constitución del cerebro límbico o mamífero.....	48
Fig. 4.3. Imagen que denota la constitución de cerebro triuno.....	49
Fig. 4.4. Imagen del cerebro en el cual se localizan las partes que contemplan la neocorteza.....	51
Fig. 4.5. División del cerebro en memoria lógica y área creativa.....	52
Fig. 4.6. Imagen que describe la especialización del hemisferio izquierdo del cerebro.....	53
Fig.4.7. Imagen que describe el comportamiento del cerebro en su hemisferio izquierdo y derecho.....	54
Fig.4. 8. La imagen demuestra la estructura de la una dendrita.....	57
Fig.4.9. Estructura del axón.....	58
Fig.4.10. Representación del mecanismo de acción de la sinapsis.....	59

Fig. 4.11. Representación de unión química de la sinapsis.....	60
Fig. 4.12. Representación de unión física de la sinapsis.....	60
Fig. 4.13. Partes y componentes de una neurona, donde se observan la caracterización física de las células de Schwan.....	62
Fig.4.14. Representación de cómo se encuentra estructurada y/o organizada la membrana celular.....	63
Fig. 4.15. Técnica para la obtención de electroencefalograma, donde se lleva a cabo el registro de las señales eléctricas dentro del cerebro.....	64
Fig.4.16. Representación de señales obtenidas mediante un electroencefalograma.....	65
Fig. 4.17. Representación gráfica de las diferentes tipos de ritmos electroencefalográficas y sus frecuencias.....	66
Fig. 4.18. Representación física que describe el comportamiento de las ondas eléctricas en diferentes estados de actividad neuronal.....	67
Fig. 4.19. Representación del electroencefalograma de complejo espiga- onda de tres segundos.....	68
Fig. 4.20. Representación gráfica del electroencefalograma del complejo de puntas lentas y ondas.....	69
Fig. 4.21. Gráfico que representa un complejo de punta rápida onda.....	70
Fig. 4.22. Gráfico que representa el estatus epiléptico generalizado no convulsivo.....	71
Fig. 4.23. Grafico que representa lesiones focales en pacientes con descarga de espiga-onda generalizada.....	72
Fig.4.24. Representación de un electroencefalograma interictal.....	73
Fig.4.25.Representación de actividad de descarga periódica.....	75
Fig.4.26.Representación electroencefalográfica de ondas agudas repetitivas focales transitorias.....	76
Fig.5. 1. Efectos del magnetismo.	80
Fig. 5.2 .Polos magnéticos de igual naturaleza se repelen y los de diferente naturaleza se atraen. Repulsión de polos iguales.....	81
Fig. 5.3. Atracción de polos diferentes.	81
Fig. 5.4. Líneas de flujo en un campo magnético.....	81
Fig. 5.5. Representación gráfica del campo magnético.	86
Fig. 5.6. Representación gráfica del espectro de potencia, el cual representa diversas frecuencias y su tipo de onda.....	86

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla.1.1. Atractores establecidos y sus parámetros que cumplen con un cierto valor confirman el comportamiento del fenómeno en estudio.....	7
Tabla. 3.1. Describe el tipo de comportamiento conforme a valores descritos en el exponente de Hurst.....	30
Tabla. 3.2. Representación numérica de los tipos de comportamiento del sistema analizados mediante el exponente de Lyapunov.....	33
Tabla. 5.1. Representación del espectro de potencia así como su frecuencia y su longitud de onda.....	87
Tabla. 6.1. Series de tiempo de datos experimentales de paciente aparentemente normal.....	88
Tabla 6.2. Resultados obtenidos en la etapa de sueño antes de la estimulación.....	109
Tabla 6.3. Resultados obtenidos en la etapa de sueño después de la estimulación.....	110

RESUMEN

En el laboratorio de Dinámica No Lineal ubicado en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán se realizan diversas investigaciones en la cual se encuentra el estudio de sistemas biológicos como el corazón, cerebro, artritis, diabetes, desequilibrio emocional, entre otros. Presentando comportamientos periódico, cuasi periódico, estocástico o ligeramente caótico, consecuencia de factores internos (edad) y externos (ritmo de vida, medio ambiente, alimentación entre otros).

Para el estudio, caracterización e interpretación de estos sistemas se procesan datos electrofisiológicos obtenidos de sistemas biológicos se emplean técnicas de la dinámica no lineal cuyos algoritmos matemáticos permiten visualizar el deterioro y mejora de la patología con el tratamiento recibido.

Desde 1998 se ha venido comprobando el efecto terapéutico del campo magnético de baja frecuencia en diferentes patologías disminuyendo el mito del efecto negativo que provoca este tipo de terapia.

El síndrome al ruido es una patología considerada por el área médica con una probabilidad 1/1000000 manifestada a los 15 años de edad con una mínima variación de factores neurohumorales presentando convulsiones frente a cualquier mínimo ruido, cuando este caso es abordado por el sector salud lo diagnostican como un tipo de epilepsia prescribiendo anticonvulsivos, sin embargo las convulsiones no disminuyen y cada vez son más agresivas y el comportamiento de las señales electroencefalografías continúan sin cambio aparente por lo que se incrementa la dosificación y manteniendo al paciente casi dopado. El laboratorio de Dinámica No Lineal considero importante el estudio de este caso detectando que la información electroencefalográfica no corresponde a epilepsia.

En el Laboratorio se Inició con un programa de 3 sesiones de 50 minutos por semana, reflejándose un cambio en la conducta del paciente ya su vez manifestada por sus padres, por lo que se continuo con este tratamiento durante

2 años; el Neurólogo noto los cambios desde sus inicios y disminuyendo la dosificación del anticonvulsivo así como la frecuencia de las convulsiones, a través del tiempo se observa mayor equilibrio, mayor seguridad, aumento del autoestima , presencia de independencia; sobresaliendo que al conocer la próxima existencia de ruido ya no presentaba convulsión, causa por la cuál se canalizo nuevamente al sector salud (Hospital 20 de Noviembre) el cual ya cuentan con datos de un caso similar y cuyo paciente supero el problema y actualmente lleva una vida normal.

En nuestro caso se retiró la terapia de campo magnético por prescripción médica argumentando que con el medicamento se eliminaría las convulsiones. Desafortunadamente esto no sucedió manifestando mayor número de convulsiones las cuales se presentaban esporádicamente por lo que nuevamente se le dio terapia de campo magnético de baja frecuencia reflejándose inmediatamente disminución de la convulsiones, y poco a poco se fue espaciando la aplicación de la terapia y actualmente solo recibe terapia 1 o 2 veces por mes y su autoestima se ha elevado prueba de esto que está realizando sus estudios a nivel medio superior. De aquí la importancia del uso de métodos matemáticos avanzados y nuevas tecnologías en la mejora de la calidad de vida de pacientes con diferente patología ya que se puede acceder a un estudio con mayor profundidad en los datos electrofisiológicos de cada uno de ellos.

En la presente trabajo se encontraran los resultados positivos que aportaron un mayor conocimiento al sector salud en el estudio del síndrome al ruido y fortaleciendo el vínculo entre el sector salud y las ciencias físico matemáticas en pro de la humanidad.

INTRODUCCION

Durante mucho tiempo el hombre se ha encontrado con muchos enigmas, desde la creación del universo hasta el poder predecir el futuro siendo esta última una tarea imposible o casi imposible de realizar, de este modo fue como los hombres de ciencia se dieron a la tarea de estudiar los diferentes tipos de fenómenos.

Sin embargo, se creía que todo sistema físico tenía un comportamiento lineal. Aproximadamente en XVIII y XIX los científicos estudiaban diversos sistemas físicos tanto químicos mediante ecuaciones diferenciales las cuales eran soportadas por formulas y de esta forma las ecuaciones diferenciales pasaron a ser una herramienta indispensable para el estudio de los diferentes fenómenos que se pueden estudiar.

Una herramienta indispensable para dicho estudio era creer que todos los sistemas contaban con un comportamiento lineal por lo que dichas ecuaciones eran también lineales las cuales aplicaban principios científicos como las leyes del movimiento de Newton, ecuaciones diferenciales simples, lineales o el fraccionamiento de ecuaciones diferenciales lineales.

Al darse cuenta que no todos los sistemas eran lineales y que las ecuaciones hasta la física clásica podían determinar ciertos sistemas se creó la física moderna, dentro de esta área de investigación existen los sistemas dinámicos no lineales su comportamiento de estos sistemas es la no-linealidad ya que pueden presentar dinámicas muy complejas que no pueden aproximarse mediante modelos lineales. Por lo tanto existen diversos comportamientos en los sistemas no lineales, por ejemplo el *caos determinista*.

Este tipo de sistemas son sensibles a pequeñas perturbaciones externas, siendo este sensible a las condiciones iniciales y tendrán un comportamiento impredecible, aun que encuentren definidos por ecuaciones deterministas.

Pero que significa la sensibilidad a las condiciones iniciales; Se puede interpretar como el movimiento de dos puntos con diferente trayectoria en un espacio fase, incluso si la diferencia en sus configuraciones iniciales es muy pequeña. Cualquier sistema se comportaría de manera idéntica sólo si sus configuraciones iniciales fueran exactamente las mismas.

Para entender de una manera más general el caos es necesario saber qué papel desempeña cada uno de los parámetros que soportan o que avalen el comportamiento caótico y los sistemas dinámicos se requiere de Espacio fase, Poder de espectro, Probabilidad de distribución, Exponente de Hurst, Capacidad de dimensión, Dimensión de correlación, Exponente de Lyapunov, Entropía de Kolmogorov. El cual puede ser explicado y entendido con el inverso del exponente de Lyapunov.

- *Espacio fase.*

Es la representación coordinada de sus variables independientes. Las coordenadas de un punto en el espacio fase son un conjunto de valores simultáneos de las variables.

- *Poder de espectro.*

Si se cuenta con una serie de tiempo complicada que sea una mezcla de ondas de diferentes frecuencias, se podrá, hacer un análisis matemático y poder obtener componentes individuales, así como la intensidad individual. Es así como se puede definirse el poder de espectro.

- *Probabilidad de distribución.*

Es una función de la probabilidad que representa los resultados que se van obteniendo en un experimento aleatorio.

- *Exponente de Hurst.*

Es un número que indica el grado de influencia del presente sobre el futuro (grado de similitud del fenómeno con el "Movimiento Browniano" o "Caminante Aleatorio").

- *Exponente de Lyapunov.*

Es una estimación de la máxima **razón de divergencia** entre dos trayectorias del Espacio de Fase cuyas condiciones iniciales difieren infinitesimalmente. Las unidades son bits por unidad de tiempo (en base 2) y se calcula con el *algoritmo de Wolf*. Entropía de Kolmogorov(El cual puede ser explicado y entendido con el inverso del exponente de

Lyapunov). Cada uno de los parámetros citados con anterioridad nos da un margen visual de entendimiento y procesamiento de los sistemas no lineales.

LUGAR DONDE SE DESARROLLA LA TESIS.

La tesis se realizara en el laboratorio de Dinámica no Lineal de series de tiempo Electrofisiológicas, ubicado en el L-5, anexo 1, Planta Baja.

I. Antecedentes

1.1. Universalidad del caos.

A mediados del siglo XX se creía que las condiciones iniciales de un sistema determinista, cuyo comportamiento estaba regido por un modelo matemático preestablecido, definirían su trayectoria en el espacio-fase. Sin embargo no todo sistema determinista obedece a ecuaciones ya establecidas, pues la mayoría de los sistemas siguen comportamientos mucho más complejos de tipo no lineal, quedando excluida del contexto de las ecuaciones existentes; este comportamiento puede ser caótico, periódico, aleatorio, cuasiperiódico, estocástico, entre otros.¹

Dentro de los sistemas complejos se consideran los fenómenos naturales; el movimiento telúrico de la tierra, el crecimiento de una bacteria, el desarrollo celular del cuerpo humano, el comportamiento eléctrico del cerebro, el progreso de una reacción química, entre otros. Destacando que todo sistemas deterministas siempre ha existido y por ende su complejidad.¹

En la antigüedad este tipo de sistemas no eran de importancia para su estudio, entendiendo que todo sistema debería obedecer ciertas reglas; como puede observarse aún no aceptaban el conocimiento de la existencia de los sistemas complejos en esta época. Esto se inicia cuando Isaac Newton desarrolla las ecuaciones diferenciales; una de sus inquietudes fue el estudio de la generalización conocida como el “problema de los tres cuerpos”.¹¹

En (1776) el matemático francés Pierre Simón de Laplace publica 5 volúmenes de “*Traité du Mécanique Céleste*”, donde comenta que, si se conociera la velocidad y la posición de todas las partículas del universo en un mismo instante (Tiempo) se podría pronosticar el pasado y el futuro de éstas.⁹

Más tarde el matemático Francés Henri Poincaré (1854-1912) cuestionó acerca de la estabilidad del universo. Pensó en la existencia del caos, en el sentido de un comportamiento que , depende fuertemente de las condiciones iniciales, como también en la existencia de fenómenos poco aleatorios, los cuales no responden a la dinámica lineal, pues un pequeño cambio de sus condiciones iniciales cambiaba drásticamente el resultado y por ende su representación gráfica en el espacio.²

Es así como surge la inquietud y la necesidad de muchos investigadores por estudiar aquellos sistemas que realzan el contexto no lineal. Sin embargo pudieron comprobar que cada fenómeno tiene un comportamiento diferente, el cual era visualizado por un gráfico de espacio fase, dando lugar una nueva herramienta para identificar e interpretar a través de estos, a los diferentes fenómenos complejos. De esta manera se observó con mayor profundidad que todo fenómeno natural tiene su propia geometría de comportamiento no lineal dando lugar a una forma de estudiar este tipo de fenómenos, que en la actualidad se interpreta a través de la geometría fractal.

*Fractal: Son formas geométricas que se caracterizan por repetir un determinado patrón con ligeras y constantes variaciones, a diferentes escalas.*³

En 1974 Mandelbrot, al observar el firmamento, le crea una idea brillante sobre el enigma de un cielo oscuro. Él creía que las estrellas del universo eran fractales distribuidos, y que no son resultado de la teoría del big-bang. (Después del Bing Bang, se formaron enormes nubes de materia, atrayendo las partículas produciéndose conjuntos grandes, muchas de estas acumulaciones crecieron tanto que sus centros se hicieron densos y calientes activando las reacciones termonucleares que abastecen luz a las estrellas, fusionándose átomos pequeños y sencillos de Hidrogeno que formaron el Helio y posteriormente se fusionaron para dar átomos aún mayores. Las fuerzas nucleares de algunas estrellas fueron tan intensas que explotaron y expulsaron su materia hacia el espacio).^{3,4}

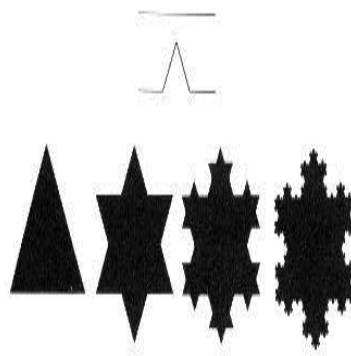
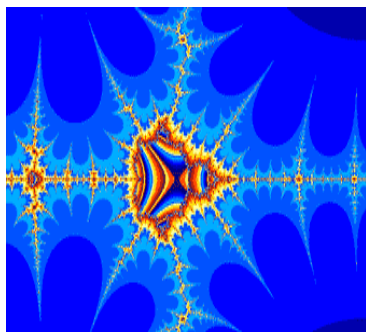


Fig. 1.1. Conjunto de Mandelbrot, diferentes formas de interpretación de los fractales.

Basándose en esta nueva idea y obteniendo el gráfico de las variables del sistema en estudio en función del tiempo se obtienen gráficos muy diferentes a los ya conocidos.

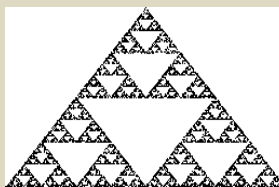
De esta manera surgen los diagramas de espacio fase y una de las mayores aportaciones de la física hacia todas las áreas de investigación, con enfoque multidisciplinario en la solución de todo fenómeno de comportamiento no lineal, y es así como surge la matemática de la “geometría fractal”.

Un año después, Mandelbrot relaciona y confirma el término *fractal* al observar diferentes fenómenos de la naturaleza que cumplen con una geometría fraccionaria con el paso del tiempo la geometría fractal ha sido la base para extender y aplicar ese estudio en los diferentes fenómenos de la naturaleza^{3,4}.

Atractor extraño del cielo.



Triángulo de Sierpinski. Hoja de Helecho.



Atractor extraño de la luna



Atractor extraño de la luna



Fractales de Neurona y Pulmón.

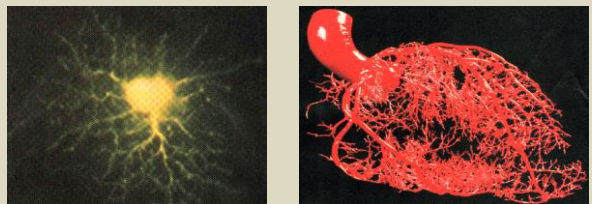


Fig. 1.2. Fractales obtenidos de diversos fenómenos naturales y biológicos.

Poincaré en ese mismo año confirma el tratado de Mandelbrot, para enriquecer y entender la física cuántica, siendo posible el estudio de todo este tipo de sistemas complejos, cuyo comportamiento puede ser diversos mencionados con anterioridad: caótico, aperiódico, periódico, cuasiperiódico, aleatorio o estocástico, entre otros.

De esta manera surge la Teoría del caos cuyo lenguaje son los fractales y sobre todo es aquí donde se aplican de manera satisfactoria las ecuaciones diferenciales en el estudio del comportamiento de todo sistema que se desarrolla en sucesiones de tiempo.

Con el origen de la dinámica no lineal se comprueba que no todo sistema es lineal; además se tiene una nueva proyección al estudiar a todo sistema con mayor profundidad, tomando en cuenta todos y cada uno de sus valores, y no solo un conjunto de ellos.^{6,7}

Un gran exponente de la teoría del Caos es el Matemático Mitchell Feigenbaum (1975). Quien demostró que cuando un sistema ordenado empieza a desarrollarse caóticamente, es posible encontrar su explicación, y puede ser

estudiado en una sola dimensión. Con paso del tiempo el estudio cuantitativo se le conoce como constante de Feigenbaum.

Se dice que para que un sistema tenga comportamiento caótico debe ser sensible a las condiciones iniciales es decir; cuando dos puntos en un sistema pueden moverse en trayectorias muy diferentes en su espacio de fase, a pesar de que la diferencia en sus configuraciones iniciales sea mínima.^{6,7}

El efecto Mariposa es un claro ejemplo que describe este fenómeno el cual describe que un simple aleteo de una mariposa puede crear cambios en la atmósfera, los cuales durante el curso del tiempo se modificarán hasta hacer que ocurra algo tan dramático como un tornado. Una manera de representar estos fenómenos en la trayectoria total en el espacio de fases es a través del atractor extraño. Un atractor extraño son curvas del espacio de fases que describen la trayectoria de un sistema en movimiento, siendo éste impredecible y de comportamiento no lineal.

La mayoría de los sistemas dinámicos están constituidos por elementos que permiten un tipo de movimiento aparentemente repetitivo y en ocasiones hasta geométrico, sin embargo su alta sensibilidad al cambio genera trayectoria diferente formándose u obteniéndose su atractor extraño característico. La función de un atractor a través de su estructura y posición se basa en la caracterización en el comportamiento del fenómeno, por ejemplo:

El atractor matemático cuyo comportamiento dinámico corresponda a la ecuación;

$$F = f \cos \omega t \quad \text{representada en la figura 1.3.}$$

Además existen diversos tipos de atractores de comportamiento definido, por ejemplo; atractor de punto, dona y toroidal. Sin embargo en las últimas décadas se han descubierto los atractores extraños de diferentes sistemas.

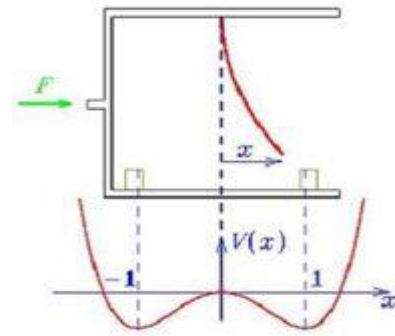
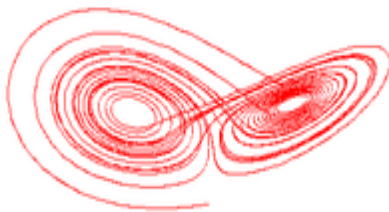


Fig. 1.3 Gráfica de la función $F = f \cos \omega t$.

1.2. Atractores Predeterminados



Uno de los atractores más importantes de sistemas complejos es el llamado atractor de Lorenz; tomando la forma de aleteo de una mariposa.¹⁴

Fig. 1.4. Atractor extraño de las sucesiones de tiempo semejante al aleteo de mariposas. Representación del atractor de Lorenz.

1.3. Tipos de atractores

Atractor	Parámetros
Punto fijo	Tenderá a estabilizarse en un único punto que representa un estado estable.
Ciclo límite o atractor periódico	Tiende a mantenerse en un periodo igual para siempre dando un régimen periódico.
Toroidal	Es cuasiperiódico, se combinan varios movimientos periódicos diferentes cuyas frecuencias son independientes.
Extraño	Cuando el movimiento periódico es inestable, el resultado es un objeto geoméricamente extraño.
Caótico	Aparece en sistemas no lineales que tienen una gran sensibilidad a las condiciones iniciales.

Tabla 1.1. Atractores establecidos y sus parámetros que cumplen con un cierto valor confirman el comportamiento del fenómeno en estudio.

1.4. Diferentes representaciones de atractores

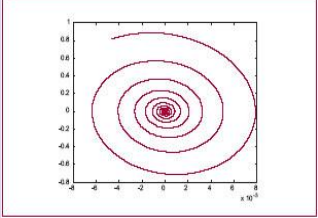
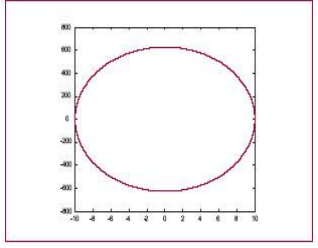
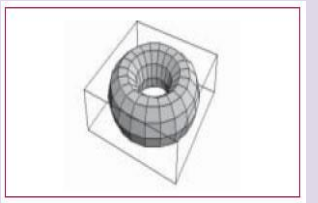
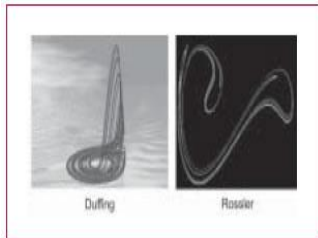
Atractor	Características	Representación en el espacio
Atractor de punto fijo	Se caracterizan por la forma de su trayectoria en espiral, hasta converger en un punto en el equilibrio.	
Atractor de ciclo limite	La trayectoria permanece en una curva cerrada	
Atractor cuasi-periódico	El atractor cuasiperiódico es <i>lineal</i> pero con dos frecuencias involucradas. Su evolución (trayectoria) yace en una superficie con forma de rosquilla llamada <i>toro</i> .	
Atractor extraño	La evolución que tienen en el espacio es bastante compleja, pero permanece acotada en él. ^{2,4}	

Fig.1.5. Descripción y presentación de las diferentes representaciones de atractores.

El análisis del comportamiento de estos sistemas se fortalece con la cuantificación de los siguientes parámetros:

Exponente de Hurst, Exponente de Lyapunov, Entropía de Kolmogorov, dimensión fractal, frecuencia dominante, Mapas de Poncairé, espectro de

potencia, espectros de recurrencia, Dimensión de correlación, Probabilidad de distribución, Diagrama de espacio fase y capacidad de dimensión.^{7,9}

Se han formulado innumerables modelos matemáticos, que describen la posibilidad de generar atractores extraños a partir de diferentes sistemas dinámicos como la caoticidad de los fluidos, los cuales describen un sistema de una manera diferente a las conocidas y utilizadas durante mucho tiempo.

Las interacciones y funciones de cualquier sistema dinámico pueden ser vistas a través de una o más variables de comportamiento complejo; las cuales pueden ser trazadas en mapas de más de una dimensión, los cuales fueron descubiertos por Benettin, Cercignani, Galgani and Giorgilli (1980), Bak and Høgh J. Hensen (1982).

La teoría de doble período está relacionada con el caos, aunque las matemáticas no la puedan explicar en su totalidad, es ahí cuando nace la necesidad de entender el cuándo y por qué puede ocurrir, pero a pesar de eso no es tan difícil su comprensión.⁸

A lo largo del tiempo y del estudio de los diferentes sistemas dinámicos, se han encontrado las formas o secuencias de un atractor denominado como extraño, ya que no cumple con los parámetros establecidos. Para describir su comportamiento observemos la siguiente figura 1.5 que muestra las diferentes formas que se puede expresar la evolución de un atractor extraño.

El atractor de RÖSSLER también conocido como la transformación del panadero, la cual consiste en un doble proceso de estira y pliegue ya que el proceso de homogeneizar la masa corresponde a estirar (para homogeneizar) y plegar (para tener unas dimensiones manejables) ésta repetidas veces.³⁴

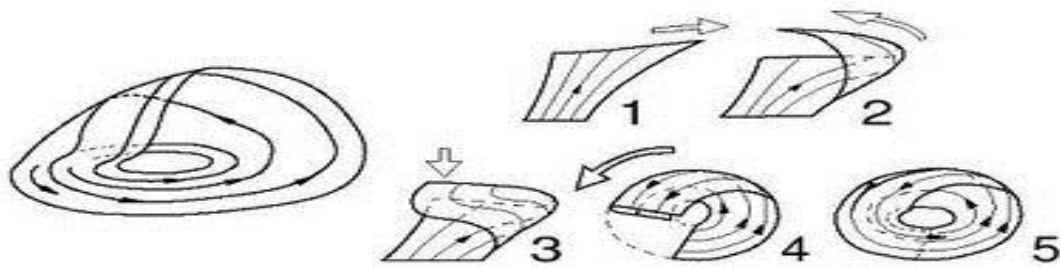


Fig. 1.6. Pasos para formar el fractal de Rossler.³⁴

El proceso de estirar (para separar exponencialmente las trayectorias) y plegar (para que la región del espacio de fases se mantenga acotado) es un mecanismo fundamental del caos determinista.



Fig.1.7. Cuatro diferentes formas de atractores extraños de un sistema dinámico de Rossler, J. Crutchfield, D.Farmer, y N.Packard, R.Shaw.³⁴

Una característica de los atractores extraños es contar con órbitas irregulares debido a que sus trayectorias cambian constantemente manteniendo su espacio fase acotado; por ejemplo los *atractores extraños estudiados dentro de Laboratorio de dinámica no lineal de datos electrofisiológicos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.*

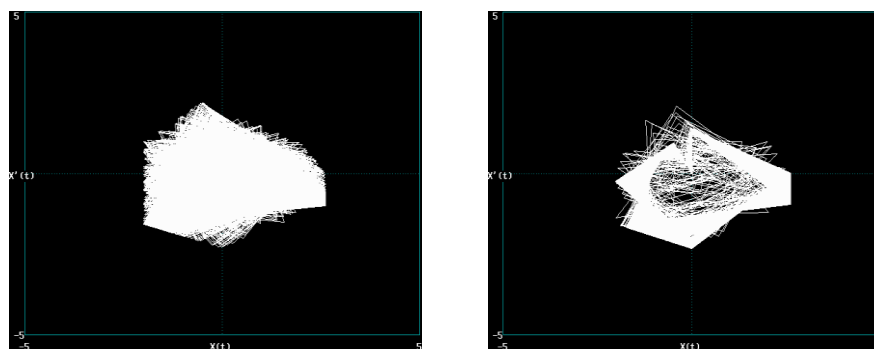


Fig.1.8. Atractor extraño de un fumador, analizado con técnicas de la dinámica no lineal y geometría fractal en el laboratorio de dinámica no lineal de datos electrocardiográficos.

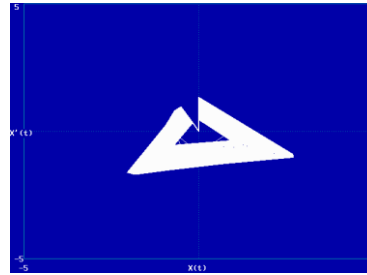


Fig. 1.9. Atractor extraño obtenido del estudio del corazón de ratas wistar que describe la arritmia de estas, analizado en el laboratorio de dinámica no lineal.³⁴

Es importante mencionar que a nivel universidad y país se crea formalmente un espacio físico en 2003 **en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM**, dedicado al estudio de las señales biopotenciales y es el laboratorio de Dinámica no lineal de series de tiempo electrofisiológicas, y que por primera vez se obtienen datos directamente de pacientes humanos para su estudio, procesamiento e identificación de su comportamiento, a través de la dinámica no lineal así como llevar el seguimiento de su mejora continua.

II. SISTEMAS DINÁMICOS

La importancia de los sistemas dinámicos radica en el conocimiento de la evolución en los diferentes procesos de la naturaleza, dando como resultado importantes descubrimientos. Por citar alguno, contamos con la existencia de caos, siendo este participe en la comprensión y análisis de los sistemas dinámicos, donde su comportamiento es no lineal y hasta complejo. En la actualidad se han realizado numerosos estudios referentes a estos.

En 1992, se comprueba que las condiciones iniciales se reducen a diferentes propiedades en cualquier espacio métrico. En 1994, se encontró que cualquier sistema dinámico determinado por un intervalo de tiempo en una función topológicamente transitiva es caótico.¹⁰

Establecido el límite de cada sistema, se encuentran los elementos necesarios para generar un mayor comportamiento individual, para su posterior estudio. Digitalizados los datos experimentales del sistema de estudio que se inicia el procesamiento matemático. Para la elaboración de los modelos se consideran aspectos importantes, como tener en cuenta que cada sistema está conformado por una serie de elementos que se encuentran en una continua iteración; así como observar el comportamiento a través de diagramas causales; sin olvidar las variables que interactúan en el sistema, las cuales se clasifican en dos tipos: variables exógenas (es aquel donde se afecta al sistema sin que él haya estado involucrado) y variables endógenas (es aquel donde se encuentra afectado al sistema, y él está involucrado).¹¹

Ejemplo:

Considerando una camada de peces que se está reproduciendo de tal manera que este año la cantidad de peces será X_b , mientras que dentro de un año la variable será X_{b+1} , de esta manera podremos llevar un control de la cantidad de peces que se reproducirán por año.

Obteniendo así; Cantidad inicial X_0 ; primer año, X_1 ;....., año K , X_K .

Por consiguiente la ecuación $x_{k+1} = f(x_k)$, permite determinar la producción de peces por k años; representando esta ecuación un sistema dinámico obedeciendo a la ecuación de Maltus.

La teoría de los sistemas dinámicos es responsable de estudiar el comportamiento de las órbitas en diferentes puntos. Es importante conocer si la órbita de un punto converge a un cierto valor, siendo éste extraído de un punto fijo, los cuales permitirán conocer el comportamiento; si termina en un ciclo periódico o si éste es solo aleatorio.

2.1. Sistemas Dinámicos Clásicos

El mundo científico aportó una importante gama de conocimiento enfocados a sistemas dinámicos; por citar algunos:

2.1.1 Ecuación de Maltus

Para describir la ecuación de Maltus se debe considerar el estudio de la evolución de la población de una determinada especie. Dada una x_k , al número de individuos de la población en el momento k . Para el estudio de la evolución de la población, hay que establecer una relación entre dicha evolución con los momentos consecutivos. Una primera manera de abordar el problema se debe a Maltus, y es suponer que el crecimiento de la población es proporcional a la población existente. Esto es,

$$x_{k+1} = x_k + d x_k = (1+d) x_k = c x_k$$

Siendo d , un espacio métrico;

En dónde; $x_k = c^k x_0$

Por tanto la población crece indefinidamente, se mantiene constante o se extingue según sea c mayor, igual o menor que uno.⁷

2.1.2. Curva de Verhulst

El matemático Belga Pierre Verhulst, propuso una ecuación cuadrática con la cual describe el crecimiento de una población que es directamente proporcional a la población real, como en el espacio disponible; llegando a la siguiente ecuación;

$$X_{k+1} = X_k + c X_k (1 - X_k) = (1+c) X_k - c X_k^2$$

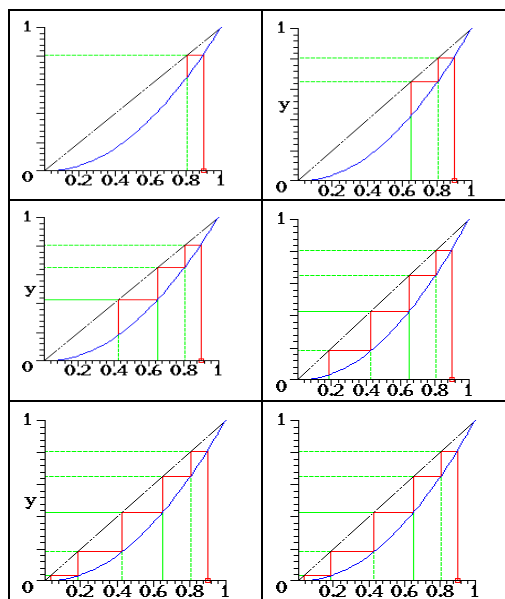
Donde el máximo poblacional permitido es 1, si este valor sobrepasa de 1 será negativo.

2.1.3. Parábola Logística de May

El biólogo Robert May en 1976, planteó una modificación de la curva de Verhulst, su propuesta se basó en el crecimiento de una población de insectos donde su ecosistema es cerrado. Él observó que la evolución de la población sigue la ecuación⁷.

$$X_{k+1} = c(1 - X_k) X_k.$$

2.1.4. Método de Newton



Sea $p: \mathbf{R} \rightarrow \mathbf{R}$ un polinomio y suponiendo que p tiene una raíz ξ cercana a cierto punto x_0 . Entonces, si reemplazamos el polinomio $p(x)$ por su recta tangente en el punto $(x_0, p(x_0))$ y obtenemos su corte con el eje OX , Se obtiene un valor x_1 que es una primera aproximación de ξ . Al iterar de este proceso se obtienen valores más cercanos a ξ .

Obteniéndose así; $X_{n+1} = X_n - \frac{p(X_n)}{p'(X_n)}$

Figura 2.1. Representación gráfica método de Newton aplicado a $f(x) = x^3 - 7.71$

Un sistema se define como una combinación de varias entidades físicas, biológicas y/o lógicas, integradas entre sí para ejecutar una función concreta. Ejemplos: Cambios atmosféricos, ecosistemas, terremotos, huracanes, ciudades, reacciones fisicoquímicas cerebrales, entre otros.⁴¹

2.2. Tipos de Sistemas

- Lineales
- No lineales
- Estocásticos
- Deterministas
- Continuos
- Discretos
- Caóticos
- Aperiódicos
- Aleatorios

2.2.1. Sistema Lineal

En el siglo XVIII y XIX científicos ocupaban ecuaciones diferenciales para el entendimiento de los sistemas lineales, siendo estas descritas con el apoyo de diversas ecuaciones; aportando la resolución de diversos problemas expuestos por el hombre.¹⁵

Las ecuaciones diferenciales vistas de esta forma, para el estudio de los sistemas lineales, toman un papel importante mediante el uso de principios científicos como las leyes del movimiento de Newton, siendo estas ecuaciones diferenciales simples, lineales o con el fraccionamiento de ecuaciones diferenciales lineales; de esta manera se puede deducir, cuáles de ellas pueden ser resueltas bajo sus condiciones iniciales.

Entre las ecuaciones diferenciales más estudiadas durante el siglo pasado se encuentran las ecuaciones de onda⁷² y las ecuaciones conductuales, este tipo de ecuaciones se encuentra asociada con científicos como L' Place y Fourier.

Sin embargo, la importancia en esa época de la linealidad se basaba en diferentes investigaciones matemáticas. Gracias a esa gran inquietud y más aun con la deducción en la elaboración de una teoría lineal, en la actualidad es una herramienta indispensable en investigación.^{15,16}

Los sistemas lineales cumplen con la principio de superposición (si se conocen dos soluciones para un sistema lineal, la suma de ellas es también una solución).

$$u_1(t) \rightarrow y_1(t)$$

Si

$$u_2(t) \rightarrow y_2(t)$$

Entonces

$$\alpha u_1(t) + \beta u_2(t) \rightarrow \alpha y_1(t) + \beta y_2(t);$$

$$\alpha, \beta \in \mathbb{R}$$

También conocido como Sistema Continuo cuando sus señales son variables y continuas en el tiempo.

2.2.2. Sistema No Lineal

No obstante las ecuaciones diferenciales derivadas del movimiento de fluidos son una importante excepción a las reglas de la linealidad. El matemático Suizo Leonard Euler publica en 1775 *“Principios generales de la mecánica de fluidos”* en el cual describe el movimiento de los fluidos no viscosos.^{7,41}

Posteriormente el francés Claude Navier mejora la teoría postulada por Euler en 1821, donde publica ecuaciones, las cuales consideran a la viscosidad, pero no fue el único en estudiar la no linealidad de los sistemas de estudio. Por otra parte el matemático británico George Stokes, consideró el estudio de las ecuaciones diferenciales mediante otro enfoque, con diferentes hipótesis, llegando a la teoría de fricción interna de fluidos en movimiento.

Durante la década de los 20's las observaciones derivadas de la electricidad, como en amplificadores y osciladores, fundamentan la necesidad del análisis no

lineal, en la 2da guerra mundial John Von Neumann supone que la formulación de nuevos métodos analíticos matemáticos, son indispensables para el estudio de los sistemas no lineales, ponderándose así a los métodos computacionales como un gran potencial considerados como herramientas importantes para discernir pistas en la búsqueda de una teoría basada en la no-linealidad.⁴²

Durante muchos años los sistemas y los modelos lineales se han utilizado para describir y modelar la dinámica de muchos sistemas físicos, químicos, económicos y biológicos. Sin embargo, en los últimos años se ha demostrado que los sistemas no lineales pueden presentar dinámicas muy complejas no descritas por modelos lineales; un claro ejemplo de este fenómeno lo constituyen los conjuntos de Mandelbrot y de Julia. Estos conjuntos son la representación gráfica de los diversos comportamientos que son obtenidos al iterar una ecuación no lineal.

Al iterar una ecuación lineal puede dar lugar a dos situaciones diversas: puede aproximarse a un valor constante, o diverger al infinito entre la gran variedad de comportamientos posibles de un sistema no lineal el *caos determinista* destaca por su complejidad. Los sistemas caóticos son sensibles a pequeñas perturbaciones externas y, por tanto se comportan de forma impredecible.^{43,44}

2.2.3. Sistema Determinista

Un sistema determinista es aquel en el que los datos obtenidos se creían que se podían predecir con exactitud su salida es predecible y requiere de diferentes modelos explícitos, y pueden ser visualizados a través de sus diagramas espacio fase.

Por su amplio campo de estudio se ocupan en diversas áreas como en la física, ingeniería, química, entre otras observando comportamientos diferentes a los ya establecidos.⁴⁴

2.2.4. Sistema Estocástico

Estocástico proviene del griego *στοχαστικός*, que quiere decir perteneciente o relativo al azar. Este tipo de sistema es impredecible, el modo de estudio es mediante el uso de algoritmos probabilísticos debido a su comportamiento dinámico.

Sin embargo; las leyes que provienen de causa y efecto no pueden explicar este tipo de comportamiento del sistema por vía determinista, dependen de la probabilidad. Un algoritmo probabilístico requiere además de un estudio dinámico. Su salida es impredecible, se requiere de un estudio estadístico profundo, observándose su comportamiento en el diagrama espacio fase. En el análisis matemático la estocástica está enfocada al resultado de una serie de teorías estadísticas que se basa en el estudio de los procesos donde su evolución es aleatoria.³²

2.2.5. Sistema Discreto

Un sistema dinámico es considerado como el estudio de iteraciones de funciones continuas, pero si este sistema cambia a pequeños saltos; se obtendrá como resultado un sistema discreto. Si se habla de este sistema con un lenguaje más tradicional se describe como una sucesión de números definidos mediante una relación de recurrencia; esto quiere decir que existe una regla que relaciona cada número de la sucesión con los anteriores.^{43,44} En los sistemas discretos las señales existentes son consideradas en intervalos discretos de tiempo y suelen ser resultado de un muestreo de señales continuas.

2.2.6. Sistemas Complejos

Cuando se lleva a cabo una interacción entre elementos, nacen nuevas propiedades, que son difíciles de explicarse, desde sus características individuales de cada elemento. Un sistema complejo cuenta con variables ocultas, lo que impide el análisis del sistema con precisión. A si mismo tiene más información que la que favorece cada parte individual, por eso es importante

conocer el funcionamiento de cada una de las partes, así como la interacción entre ellas.

Una propiedad de estos sistemas, es su complejidad, por lo que su comportamiento es impredecible y su estudio se vuelve complicado. Para poder plasmar alguna predicción de un sistema complejo es necesario utilizar métodos matemáticos, como pueden ser la estadística y la probabilidad o las aproximaciones numéricas.

En los números aleatorios hay generación de series con un ordenador, por lo que su comportamiento es complejo e impredecible. En la teoría del caos este comportamiento es impreciso por influencias externas o internas en los sistemas dinámicos observando conductas caóticas y deterministas.

Otra propiedad característica se llama *complejidad emergente*; es cuando el comportamiento de los elementos en sus interacciones da como resultado un sistema complejo. Sin embargo existe otra idea denominada *simplicidad emergente* la cual consiste en el surgimiento de un sistema simple a partir de una serie de sistemas complejos, por ejemplo; el sistema solar que se deriva de los planetas y el sol. Esto se expresa como un cuerpo que puede comportarse como un sistema simple o complejo, dependiendo de la escala espacial y/o temporal, con la que se trabaje. Un sistema fuera de equilibrio es aquel donde el sistema es incapaz de auto mantenerse sin el aporte continuo de energía.

Cualquier sistema complejo nace a partir de sus partes y fluctúa hasta quedar fuertemente estabilizado en un atractor. Esto se debe a la retroalimentación tanto de energía positiva como negativa, las cuales son las encargadas de cualquier modificación que pueda derivarse por el entorno, el sistema *reacciona* ante agresiones externas que busquen la inestabilidad y que pretendan modificar su estructura.

Sin embargo las ecuaciones diferenciales emergentes de los sistemas tienen una fuerte dependencia a las condiciones iniciales del mismo, lo que hace aún más difícil estudiar su comportamiento.

También existen sistemas disipativos en los cuales la materia y la energía fluyen a través de él, para que el sistema pueda generar un orden es necesario el aporte de energía continua.

Un sistema adaptable, es cuando es apartado de él, tiende a realizar trabajo para regresar a su posición actual, un ejemplo de este sistema es el cuerpo humano que se encuentra en constante lucha por mantener una temperatura adecuada para sobrevivir y realizar su funciones, lo cual se logra a través del comportamiento no lineal de los diferentes sistemas que lo constituyen.

2.2.7. Dinámica No Lineal

Se cree que el caos es la ausencia de orden, pero en muchos casos no es así, simplemente se trata de sistemas dinámicos que cuentan con importantes características. Se ha observado que en los sistemas “caóticos deterministas” existe un orden global constituido por sistemas de desorden local.

La teoría del “Caos determinista”, es aplicable a diferentes ramas y áreas del conocimiento, para poder explicar lo que sucede en diferentes sistemas; los cuales podemos percibir a nuestro alrededor en el espacio, incluso en nosotros mismos, es decir en un sistema biológico como el cerebro, corazón, músculo, entre otros.

“Se duda que en la Historia haya existido una época como actual, en la cual tanta gente se encuentra tan verdaderamente asombrada con la manera como el mundo se resiste al cambio – incluso cuando se trata de mejorarla.”

Este pequeño texto fue descrito por el embriólogo Escocés Gurand Hall Waddington, en las primeras páginas de un libro llamado “Las herramientas para el pensamiento”, pero ¿Qué tan cierto es esta aseveración? Cuando las cosas no resultan como nosotros pensaríamos que era de esperarse, es ahí donde el hombre de ciencia observa los fenómenos desde otra perspectiva. Por lo que es importante el pensar acerca de los sistemas simples y los sistemas complejos.¹¹

Los sistemas complejos constan de muchos componentes que interactúan, dando lugar a una serie de comportamientos globales que se encuentran relacionados entre sí. Cuando un sistema que avanza con el tiempo y es estudiado en función de éste, se ha comprobado que su comportamiento no siempre es lineal, siendo así que los efectos no son proporcionales a las causas, en la naturaleza coexiste todo este tipo de sistemas los cuales pueden ser estudiados por medio de la teoría del caos y la geometría fractal comprendidos en la dinámica no lineal.^{37,38}

III. TEORÍA DEL CAOS Y GEOMETRÍA FRACTAL

Desde el punto de vista científico al hablar de caos, se piensa como una teoría inmersa en la ciencia que estudia los sistemas de comportamiento no lineal, esto se debe a que la teoría se basa en explicar ciertos fenómenos que son producto por otros y que no obedecen a la geometría tradicional.

Fue en la década de los 70's cuando se profundizan estos avances para entender y poder explicar el desorden de diferentes sistemas dinámicos, entre ellos los biológicos, físicos y químicos.

Considerando que la herramienta clave para dicho estudio es el campo de las matemáticas buscando vínculos que puedan conllevar a la apreciación matemática del caos siendo esto apoyado con la teoría de la relatividad y física cuántica.⁴⁸

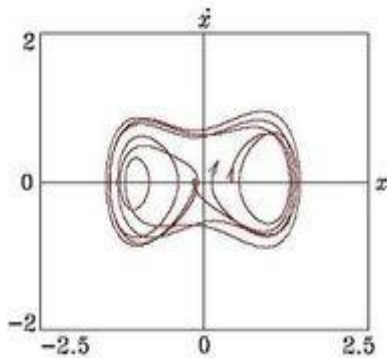
Los científicos de esta década acordaron que el caos no queda resuelto con los principio newtonianos; la física relativista eliminó la idea del espacio y el tiempo absoluto, la teoría cuántica descarta la posibilidad de un proceso de medición contable, y el caos extiende las teorías de L'Place para determinar que el comportamiento de un sistema sea determinista o no determinista.⁴⁸

El principio fundamental del caos es determinar si un sistema puede tener comportamiento caótico siendo este factible de estudiarse desde la óptica de un sistema mecánico. Un ejemplo de este comportamiento es el péndulo. Imagine los giros que van de arriba hacia abajo o de atrás hacia adelante; cuando el pivote es jalado hacia abajo la tendencia del péndulo es un movimiento errático, en este punto dicho comportamiento es periódico⁴⁸.

Se cree que un análisis más profundo del fenómeno del caos tiene un potencial de aprovechamiento para que los científicos estudien este tipo de comportamientos y presenten teorías de mayor avance a las ya establecidas.

Para que se pueda considerar un sistema caótico deben tenerse en cuenta las condiciones iniciales, las cuales deben ser inestables y contar con las siguientes características^{48,49}

1. El sistema debe ser no lineal, visualizado a través de su atractor extraño.
2. El sistema del fenómeno en función del tiempo.
3. El sistema debe ser sensible a las condiciones iniciales.



Cuando en un modelo matemático $f = 0$ será este un sistema no lineal, mas sin embargo, al introducir un valor en las sucesiones de tiempo se obtienen valores de la variable y a pesar de que no tenga dependencia a las condiciones iniciales.³⁴

Fig. 3.1. Características y condiciones matemáticas que debe de cumplir un sistema para ser considerado caótico.

La importancia de caos es la capacidad de describir modelos de alta complejidad.

Existen diferentes formas para clasificar a los sistemas dinámicos: *Estables*, *Inestables*, y *Caóticos*.

Un sistema estable es aquel que a lo largo de un tiempo tiende a un punto, u órbita, esto es que su atractor es atraído por el sistema; pero a la vez existen fuerzas que lo repelan de este, formando trayectorias repelentes, en un caso contrario los sistemas dinámicos son aquellos que no entran dentro de los atractores. Un sistema caótico representa a los dos comportamientos.⁴⁹

Sin embargo el comportamiento caótico tiende a buscar su estabilidad que no depende de las condiciones iniciales. Cuando en un sistema caótico hay una pequeña diferencia de esas condiciones, el sistema evoluciona por diferentes rutas en el espacio fase pudiendo llegar fácilmente a estados de estabilidad.

Un claro ejemplo es el tiempo atmosférico descrito por las Ecuaciones de Lorenz, que dice que al ser un sistema caótico, en el cual no se conocen las condiciones iniciales aunque se tenga un modelo, este se perderá en el tiempo por un

instante. Para clasificar el comportamiento de un sistema como caótico, el sistema debe tener las siguientes propiedades:

Debe ser transitivo cuando sus órbitas periódicas deben formar un conjunto denso en una región compacta del espacio fásico.

Debe ser sensible a las condiciones iniciales cuando dos puntos en tal sistema pueden moverse en trayectorias muy diferentes en su espacio de fase incluso si la diferencia en sus configuraciones iniciales es muy pequeña.

También se puede interpretar como dos condiciones de un sistema que inicialmente inseparables, pueden dar lugar a los estados completamente diferentes en el determinado tiempo. El sistema se comportará de manera idéntica sólo si sus configuraciones iniciales fueran exactamente las mismas.

La sensibilidad a las condiciones iniciales en los sistemas caóticos pueden ser representados en forma de bifurcaciones, ciclos límite o atractores extraños estos últimos son más utilizables por los investigadores ya que de este modo pueden estudiarse los sistemas lineales o no lineales mediante la caracterización de los atractores.⁵⁰

Henri Poincaré, científico francés consciente de los cambios en diversos fenómenos, escribió en 1903 considerando su estudio de movimiento planetario: “Puedo detectar esas diferencias pequeñas en las condiciones iniciales generando grandes cambios en ellos.

Un error pequeño en el interior producirá un error enorme en el sistema y la predicción se torna imposible. Un ejemplo muy importante y que se pueden observar en las condiciones iniciales es el caos en el cuerpo humano. El cuerpo humano está formado por un conjunto de sistemas complejos y así mismo se comporta como un sistema caótico, ya que es imposible predecir el recorrido de cualquier partícula dentro del cuerpo.

A pesar de que el cuerpo humano está expuesto a diferentes condiciones externas como el clima, esfuerzo físico, alimentos, entre otros, gracias a su comportamiento no lineal siempre mantiene su forma original resistiéndose al cambio. Esto explica la resistencia que tiene el ser humano al enfermarse ante cualquier cambio.

Presentando un comportamiento impredecible el cual busca de manera continua su estabilidad, y el estudio de cada sistema conformado por el cuerpo impone diferentes atractores extraños.⁵¹

3.1. Espacio Fase

También conocido como diagrama de fases, es la representación de las sucesiones de tiempo del fenómeno en estudio. De tal manera que cualquier estado del sistema detenido durante un instante estará representado como un punto en el espacio- fase; cuando el sistema cambia, este será reflejado en el sistema.

La determinación del estado físico de un sistema depende de la medida que pueda hacerse sobre él, de esta manera es como se describe un espacio de fase según la mecánica cuántica, esto es cuando se obtienen las medidas a partir del mismo estado físico de un sistema. Sin embargo no debe esperarse el mismo resultado, ya que es variante aunque sea obtenido del mismo sistema.

La mecánica cuántica se encarga de describir la variación de la distribución de probabilidad en la evolución temporal de los sistemas físicos y en las concurrentes medidas donde se produce un colapso de la función de onda de modo aleatorio. El estado cuántico de un sistema dado mediante una función de onda está descrito por:

$$\Phi \in L^2_{\mu}(\Gamma)$$

Para formar un conjunto de estados cuánticos, como primer inicio se debe considerar el conjunto de funciones al cuadrado integrable al espacio de fases, conocido como cuantización, donde el espacio de un sistema cuántico es definido por una función de onda (vector).^{51,52}

3.1.1. Tipos de diagrama de fases

Se caracterizan por las diversas derivadas de los datos que pueden ser graficados vs valores para obtener una gráfica de espacio fase, que revele en la topología y evolución del sistema de estudio. Otra forma de construir el diagrama de espacio fase es mediante el uso de la serie original y retraso de tiempo de éste.

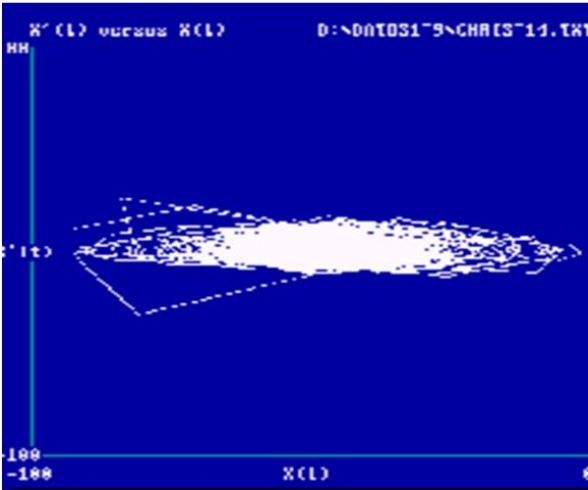


Fig. 3.2. Representación gráfica que aparenta un comportamiento cuasiperiódico obtenido de un paciente con problema de sensibilidad al ruido.

Se pueden encontrar diversas manifestaciones del diagrama de fases, los cuales corresponden a diferentes comportamientos como son: *constante*, *periódico*, *cuasiperiódico*, *caótico* y *aleatorio*.⁵²

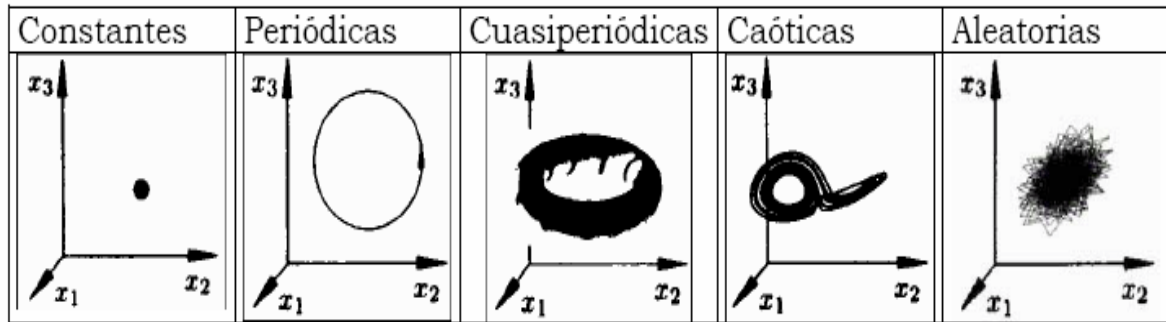


Fig. 3.3. Comportamiento de los diferentes tipos de diagrama de fases.⁴²

3.2. Espectro de Potencia

La característica primordial en el espectro de potencia se debe a la series de Fourier, donde destaca la función periódica y continua, mediante su demostración a través de una serie trigonométrica uniforme y divergente.^{51,52}

Las series de Fourier son una suma de cosenos y senos con las que se describen funciones periódicas, siempre y cuando se tenga una composición de ondas en diferentes frecuencias, de tal modo que esta mezcla sea separada y analizada de manera individual mediante métodos matemáticos, eliminando el ruido estadístico a este estudio se le conoce como “ *Espectro de Potencia*”.

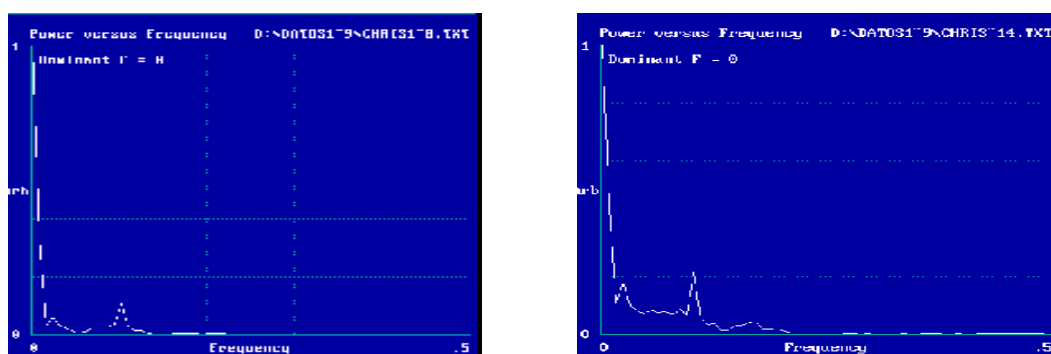


Fig. 3.4 Representación gráfica del poder de espectro en un paciente con problemas neurológicos obtenidos en el laboratorio de dinámica no lineal **FES** Cuautitlán Campo 1.

En términos generales el espectro de potencia denota las trazas de la frecuencia de una serie de tiempo; de este modo se puede predecir la presencia de diversos comportamientos en el sistema, es importante descartar la presencia de ruido para obtener datos más certeros. En el análisis se pueden encontrar diferentes manifestaciones de la frecuencia, por ejemplo si las señales contienen picos agudos es de tipo cuasi periódico, pero si la señal es ruidosa y su espectro denota una banda ancha entonces su comportamiento es aleatorio, Sin embargo cuando en la serie de tiempo se observa una acumulación de bandas anchas continuas entonces se dice que es caótico.

3.3. Distribución de Probabilidad

La distribución de probabilidad es conocida en el ámbito estadístico y es obtenido mediante un experimento elemental. Es importante mencionar que esta variable depende de factores tales como Temperatura y Presión, para estudios químico fisiológicos.

La obtención de los datos en la mayor parte de los fenómenos de estudio, es una medida numérica que representa una secuencia de datos, derivados de un experimento elemental, por ejemplo al llevarse a cabo un experimento químico el resultado o producto obtenido (*cantidad formada del producto*), será el dato importante a interpretarse. Si se lleva a cabo una serie de eventos iguales a las mismas condiciones el resultado obtenido no será el mismo, las fluctuaciones que se presentan en cada reproducción se conoce como ruido, variación experimental, error experimental o más fácil, error, que pueden presentarse a cualquier momento y esto causa la difícil predicción.

Graficados los datos experimentales su comportamiento no será idéntico, ya que presentarán una variabilidad, la cual es significativa y pueden ser expresados mediante un *diagrama de puntos*. Sin embargo cuando el fenómeno a estudio tiene una cantidad elevada de datos y es difícil distinguir uno del otro, es representado mediante el diagrama de *frecuencias o histograma*.⁴⁷

3.3.1. Aleatoriedad

El significado de aleatoriedad es referida a que cada miembro tiene la misma probabilidad de ser elegido.

3.3.2. Probabilidad

Ejemplo:

1. La probabilidad $\Pr(y < y_0)$ de que y es menor que y_0 , será igual al área del histograma a la izquierda de y_0 .
2. La probabilidad $\Pr(y > y_0)$ de que y sea mayor a y_0 , será igual que al área del histograma a la derecha de y_0 .
3. La probabilidad $\Pr(y_0 < y < y_1)$ de que y sea mayor que y_0 , pero menor que y_1 será igual al área del histograma entre y_0 e y_1 .

Con la precisión correspondiente al agrupamiento de los intervalos obtenidos, el diagrama de frecuencias relativas para la población es representativo del sistema de estudio o de un elemento de la población seleccionado aleatoriamente, caiga en un intervalo determinado; a esto se le denomina como *distribución de probabilidad*.⁴⁸

3.3.3. Distribución de Gauss o Normal

La distribución Gauss o normal es un gráfico donde se observa la distribución de los resultados obtenidos después de realizar una experimentación siempre cabe la pequeña posibilidad de que los resultados obtenidos varíen en un valor central manteniendo una distribución simétrica, en esta distribución nos podemos encontrar que las pequeñas desviaciones son mucho más frecuentes que las grandes.

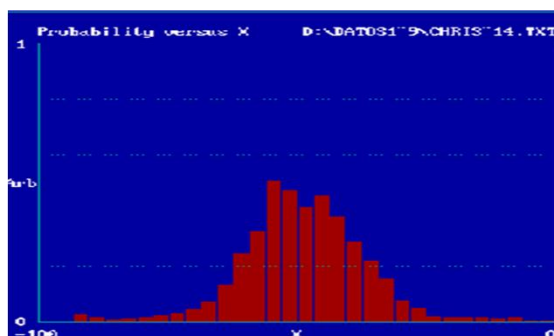


Fig.3.5. Gráfico que representa la distribución normal o “distribución de Gauss”, obtenida de un paciente en el laboratorio de dinámica no lineal en FESC-1.

La importancia de la distribución normal radica en el efecto central del límite, que produce una tendencia de que los errores reales se asemejen a los errores en la distribución normal.

La importancia de la forma de este parámetro en nuestro estudio permite visualizar el tipo de comportamiento del sistema no lineal.

3.4. Exponente de Hurst

El exponente de Hurst es un método estadístico considerado como una herramienta indispensable para comprobar el comportamiento de las series de tiempo aportando información acerca de la dimensión de correlación.

El análisis matemático se deriva en descomponer las series en intervalo de una amplitud temporal determinada (T_H) y posteriormente obtener la media y las desviaciones de cada intervalo, después encontrar el intervalo de variabilidad máximo menos mínimo por desviación y después se normaliza mediante la división por la desviación típica (R/S). A cada valor de T_H le corresponde un valor de R/S sobre todos los sub intervalos de estudio. Se elige entonces otro T_H y se produce de modo semejante, obteniendo un conjunto de valores T_H y sus R/S asociados. El Valor de H se calcula mediante:

$$H = \frac{d[\log (R/S) T_H]}{d[\log (T_H)]}$$

3.4.1. Tipos de Comportamiento

Exponente de Hurst	Valor	Tipo de comportamiento del sistema	Tipo de correlación
H	≥ 0.5	Persistente	Correlación positiva.
H	$= 0.5$	Aleatorio	correlación nula o ruido blanco
H	< 0.5	Anti persistente	Correlación negativa

Tabla 3.1. Describe el tipo de comportamiento conforme a valores descritos en el exponente de Hurst.³⁴

El valor obtenido mediante la ecuación es conocido como exponente de Hurst y a la representación gráfica obtenida se le conoce como “diagrama de Pox”. Cuando $H = \frac{1}{2}$ la señal es aleatoria dando una representación del ruido browniano (correlación nula o "ruido blanco"), y cuando $H > \frac{1}{2}$ sigue la tendencia en donde las series temporales continúan creciendo o decreciendo, esta persistencia será mayor cuanto más H se aproxime a 1 (correlación positiva). Cuando el exponente presenta un valor menor a $\frac{1}{2}$ tiende a tener un sentido contrario a sí mismo (*correlación negativa*).^{48,49}

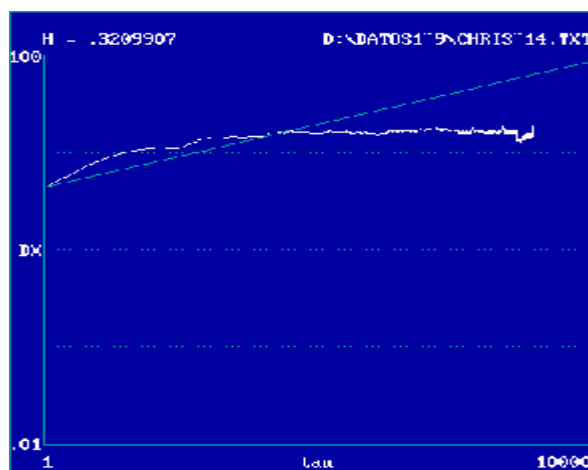


Fig. 3.6. Representación gráfica del exponente de Hurst obtenido de un paciente con problemas de sensibilidad al ruido.

El exponente de Hurst es otro parámetro cuantitativo que confirma el comportamiento del sistema complejo.

3.5. Capacidad de Dimensión

Este es un parámetro de dimensión fraccional introducida por Kolmogorov parecida a la dimensión de "Hausdorff" para explicar el concepto del recubrimiento. Para cuantificar este parámetro se considera que el número de elementos que cubren un conjunto de datos es inversamente proporcional a E , donde E es la escala de los elementos de la cubierta, Para objetos unidimensionales se obtiene

$$N(E) \approx K/E$$

Donde E es el lado del cuadrado,

$N(E)$ es el número de cuadros de ese tamaño requeridos para cubrir el sistema.

K es una constante

Una manera general de expresar la ecuación es:

$$N(E) \approx K/E^D$$

Donde d es la correlación del sistema. Para calcular D se recurre a la siguiente ecuación

$$D_{\text{cap}} = \lim_{E \rightarrow 0} \frac{\log(N(E)) - \log(1/E)}{\log(1/E)}$$

Donde $N(E)$ es igual al número de cubos del lado E , o de esferas p -dimensionales de radio E requeridas o necesarias para cubrir el atractor.⁵⁰

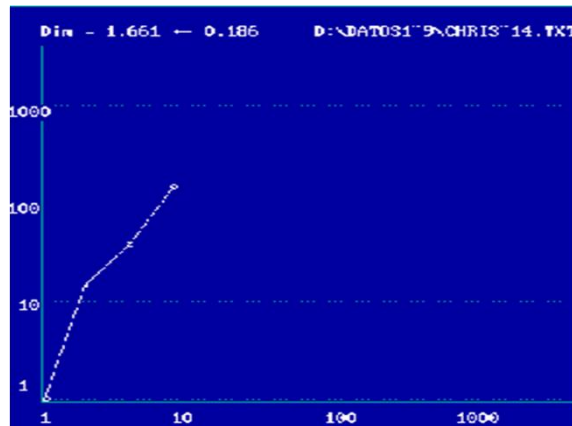


Fig. 3.7. Representación gráfica de la dimensión de capacidad obtenida del estudio de un paciente con problemas de sensibilidad del ruido, en el laboratorio de dinámica no lineal.

3.6. Dimensión de correlación

Este parámetro representa el límite inferior sobre la dimensión de capacidad pero en la mayoría de los casos es una aproximación a la dimensión de capacidad; la cual es función del refinado del recubrimiento de la dimensión de capacidad, N (E) elementos de volumen que describe el comportamiento de un sistema, cuya ecuación es:

$$d_c = \lim_{r \rightarrow 0} [\ln C(r) - \ln (r)]$$

Con la dimensión de correlación se puede establecer que tanta correlación existe entre un punto del atractor con sus vecinos. Un sistema de baja complejidad presentará comportamiento bastante regulares por lo cual los cambios en sus variables mostrarán gran correlación entre un dato con los anteriores.

En un sistema totalmente aleatorio un dato no tiene ninguna correlación con los datos vecinos.

En los sistemas no lineales también la dimensión de correlación varía según su complejidad. En síntesis, la dimensión de correlación mide la complejidad global del sistema de estudio y permite establecer el número de variables independientes que determinan el comportamiento del sistema.^{42,44,45}

3.7. Exponente de Lyapunov

Fue el primer parámetro cuantitativo utilizado para caracterizar un sistema caótico. El exponente de Lyapunov caracteriza las propiedades que estabilizan las soluciones y determina la caoticidad del sistema o calcula la tasa de producción de un sistema dinámico, el inverso del valor mayor de este recibe el nombre de momento de Lyapunov; para órbitas caóticas su valor será finito a diferencia de órbitas regulares donde este será infinito.⁵¹

Para la identificación del exponente de Lyapunov se requiere del análisis de las propiedades que caracterizan a cada sistema. Sin embargo no todos los sistemas no lineales presentan comportamiento caótico. El exponente de Lyapunov de mayor valor es calculado siguiendo aproximadamente la evolución de pares escogidos de puntos de datos. Así mismo es una medida de la tasa con la cual las trayectorias pasan cerca una de la otra en el espacio de fase en la que divergen. Las trayectorias caóticas tienen mínimo un exponente de Lyapunov positivo. En las trayectorias periódicas el valor de todos los exponentes es negativo. En las bifurcaciones este exponente tiene un valor de cero hay tantos exponentes de Lyapunov como ecuaciones dinámicas.

Valor	Tipo de comportamiento del sistema	
Exponente de Lyapunov	(-) (-)	Periódico
Exponente de Lyapunov	(+) (-)	Cuasi periódico
Exponente de Lyapunov	(+) (+)	Caótico
Exponente de Lyapunov	(+) (+)	
Valores muy grandes	Aleatorio	

Tabla 3.2. Representación numérica de los tipos de comportamiento del sistema analizados mediante el exponente de Lyapunov.

Un sistema no lineal determinado puede o no presentar un comportamiento caótico, esto dependerá del cambio determinado de un comportamiento regular a uno caótico.

El análisis general para estos parámetros inicia con la operación de señales descritas por cada sistema, encontrando intervalos de tiempo y señales con gran facilidad de interpretar. Este tipo de señales cuentan con ruido el cual dependerá del equipo utilizado para extraerlas, del equipo, en el programa donde se realizan hasta en la toma de datos.

Cuando las señales pasan por un sistema computacional este convierte la señal física en una variación de modo eléctrica, donde es ampliada o reducida, posteriormente se digitaliza, se filtra para finalmente ser procesado y obtener los resultados en valores numéricos.

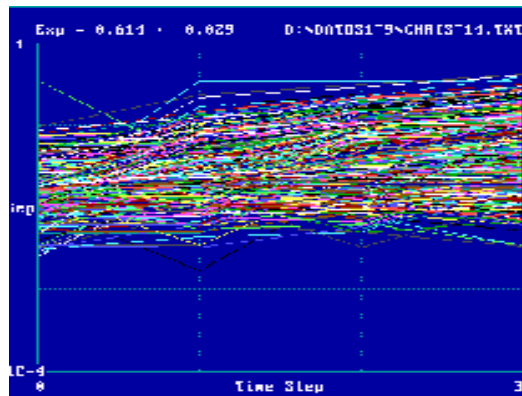


Fig. 3.8. Representación gráfica del exponente de Lyapunov, cuya estructura dependerá de la derivación en estudio; obtenida de un paciente con problemas de sensibilidad al ruido, desarrollados en el laboratorio de dinámica no lineal, en FESC-1.

Los parámetros que soportan la teoría del caos son diversos los cuales están clasificados por grupos: aquellos que miden la pérdida de la información a lo largo de la evolución con respecto al tiempo, este tipo de parámetros se relacionan como el exponente de Lyapunov, la entropía de Kolmogorov; y las transformadas de Fourier o los que se refieren al carácter fractal, ya sea de la propia señal de su atractor en el espacio de fases.³⁹

El caos se genera mediante operaciones sobre el espacio de fases. De modo que un estiramiento en el cual las trayectorias se separan de modo exponencial, las ecuaciones actúan como una especie de microscopio, cuando las trayectorias en el espacio de fases se mezclan y de este modo hay ruptura respecto a las condiciones iniciales.

El exponente de Lyapunov ($\lambda(x_0)$) denota la separación de modo exponencial entre dos trayectorias descritas que constan de N pasos o iteraciones, cuando se encuentra con un tipo de ecuación $x_{n+1} = f(x_n)$, como se muestra en el siguiente esquema.

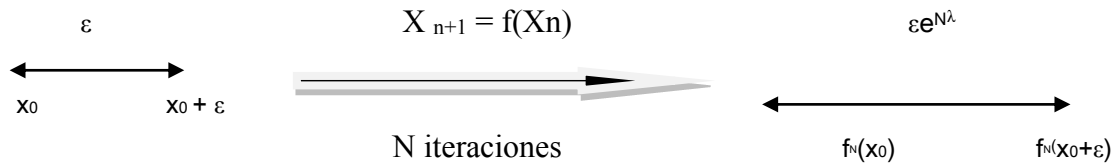


Fig.3.9. Representación matemática del comportamiento del exponente de Lyapunov

El razonamiento que acerca directamente al concepto de los exponentes de Lyapunov, es cuantificable.

3.8. Rutas al caos

El comportamiento que sufre un sistema durante la transición de un comportamiento ordenado a caótico dependerá de la variación del parámetro de control, por ejemplo: la temperatura, voltaje, energía etc. El sistema sufrirá cambios cualitativos bruscos. Así podemos determinar estados en que:

- Se nota que gradualmente aumenta el número de frecuencias involucradas. Esta ruta se llama de cuasi periodicidad.
- Se observa que el período de las oscilaciones empieza a duplicarse a medida que pasa el tiempo, es decir, si tenemos período 2, luego 4, 8; es la ruta de duplicación de períodos. Se produce lo que se llama bifurcaciones.⁶
- Existe alternancia de períodos regulares con irregulares durante un tiempo, hasta que aumentando el parámetro se acortan los períodos regulares para aumentar en duración los irregulares; esta ruta se llama intermitencia.

Todo aquel sistema que no cumpla con la linealidad se vuelve impredecible a un tiempo siendo este difícil de calcular por lo que existen diferentes métodos de análisis siendo participes en la diferenciación del caos con la probabilidad.

En 1987 Ilya Prigogine define a las estructuras disipativas como estructuras complejas, que para sobrevivir buscan disipar energía, van perdiendo energía y se auto organizan. De este modo se comprueba que un sistema caótico tiene la capacidad de autoorganizarse ya que el caos en principio es un desorden.^{6,10}

Los sistemas termodinámicos que se clasifican como abiertos son aquellos que reciben las interacciones del exterior y los cerrados no reciben influencia del exterior. Prigogine (1967) postuló además que no se deben clasificar solamente así a los sistemas, sino que hay que considerar los equilibrios y que existen tres tipos de equilibrios posibles:

- 1) Sistemas en equilibrio, que es el equilibrio estable. Si hay un mínimo apartamiento de esta condición de equilibrio, el sistema tiende a volver al lugar del que se apartó.
- 2) Sistemas cercanos al equilibrio. Son los que tienden a oscilar. Se podría pensar que son los atractores de ciclo límite o los atractores de tipo cuasi periódicos.
- 3) Sistemas lejos del equilibrio. Representan los únicos en que las estructuras disipativas les permiten organizarse. Van fluctuando entre distintos equilibrios y están en una zona caótica. Las fluctuaciones, que son variaciones aleatorias, pueden generar un orden subyacente.¹⁰

Si se parte de una situación estable, pero sufre una transición de fases el comportamiento ahora del sistema será complejo. Siendo esto establecido se debe de analizar si existe un precursor para dicho evento.

Un ejemplo claro sería la dinámica del cerebro siempre está en trabajo constante, tiende al equilibrio (buscando continuamente su estabilidad), hasta que llegue un precursor externo cambiando hacia la inestabilidad del sistema, la cual desencadenará una situación caótica.⁴⁶

3.9. Geometría fractal

Ahora se sabe que la naturaleza favorece al CAOS y no a la geometría euclidiana, ya que somos y vivimos rodeados de sistemas complejos con diferente comportamiento. Cuando Riemann demostró que la geometría sólo es una creación mental y arbitraria, las matemáticas para dimensiones no Euclidianas empezaron a desarrollarse dos tipos de geometría consideradas:

- *Geometría Esférica (curvatura positiva)*: donde dos líneas paralelas terminan cortándose.
- *Geometría Hiperbólica (curvatura negativa)*: donde dos líneas paralelas cada vez se separan más.

Esta nueva geometría "curvada" (junto con los trabajos de Minkowski, Lobachevsky y otros) se convirtió en el fundamento de la Teoría de la Relatividad, donde muchos de los fenómenos "anti-clásicos" son simples consecuencias de las distorsiones sufridas por el Espacio- tiempo.

En 1904, el Matemático Helge Von Koch dio a conocer una curva matemáticamente "imposible".

- En esta curva no es posible trazar una tangente en ningún punto de su perímetro.
- La longitud entre dos puntos de su perímetro es infinita.
- La curva encierra un área finita.

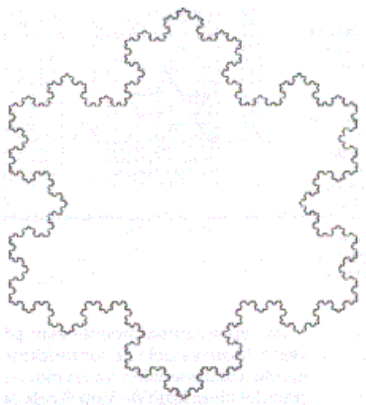


Fig. 3.10. Representación de la imagen de la geometría curvada.

La curva de Von Koch presenta las mismas características que la costa de una isla. Luego, es correcto afirmar que "la longitud de la costa de Inglaterra es infinita". Si no lo parece es por la resolución utilizada, es decir, el perímetro depende de la escala en la que se trabaje.

La curva de Von Koch demostró que todas las ciencias euclidianas y cartesianas tenían cimientos muy frágiles y comenzaron a constatarse grietas en el edificio de la ciencia.^{53, 54}

El atractor extraño se utiliza comúnmente cuando el caos es estudiado por medio de sistemas disipativos; esto es cuando en un sistema se pierde energía, también conocidos como fractales. Los fractales son objetos matemáticos que se repiten en sí mismo hasta alcanzar su equilibrio y estabilizar.

Al no poder expresar a las montañas como conos, a las nubes como esferas mediante una geometría euclidiana Benoit Mandelbrot desarrolló un concepto al cual denomino “fractal” del latín “quebrado, fracturado o fragmentado”. Los fractales son objetos matemáticos que se repiten en si mismo hasta alcanzar su estabilidad y equilibrio.

La autosimilitud y la dimensión fractal son características que describen a la geometría fractal, la autosimilitud es cuando se repite varias veces el mismo patrón mientras que la dimensión fractal es la relación existente entre sus segmentos.

Si un fractal toma la forma de una recta se dice que es la primera dimensión, si se asemeja a un plano es de segunda dimensión, a un objeto en tercera dimensión, esto quiere decir que entre más se acerque un fractal a una forma dada se denominara con el tipo de dimensión presente; Sin embargo la dimensión dependerá del número de variables que determinan a un punto.

Los científicos adoptaron un concepto denominado dimensión fraccionaria que describe las dimensiones a pesar de que estas no estén representadas por números enteros.

Los fractales matemáticos cuentan con característica únicas, ya que cuentan con un área finita que a su vez está rodeada de un perímetro finito; esto se debe gracias a su forma rugosa.

Para que surja un cambio entre un comportamiento ordenado al caótico se deben de considerar algunos problemas que surgen antes de la transición como pueden ser la Temperatura, energía, voltaje, entre otros.

Con el transcurso del tiempo los sistemas no lineales se vuelven impredecibles y sin oportunidad de poder calcularse.

Existen métodos de análisis que nos permiten diferenciar entre el caos y la probabilidad. Sin embargo para que las estructuras disipativas puedan sobrevivir sufren desiguales cambios con la pérdida de energía, se auto organizan volviéndose más complejas.

La historia del caos inicia con números dentro del campo de las matemáticas, y con la geometría en 4 dimensiones.⁵²

3.9.1. Primera dimensión.

El comportamiento de la primera dimensión es lineal, donde los puntos, que convergen son números infinitos en varios puntos siendo estos números enteros.⁵²



Fig. 3.11. Representación del comportamiento lineal de la primera dimensión.

3.9.2. Segunda Dimensión

La segunda dimensión es considerada como un plano cuadrado el cual comprende a un número infinito de líneas rectas en el tiempo representando el presente. La segunda dimensión considera los números racionales, visualizando el plano con eje horizontal y vertical.



Fig. 3.12. Representación del comportamiento de un plano cuadrado en la segunda dimensión.

3.9.3. Tercera Dimensión

La tercera dimensión se describe como un cubo (sólido), cuenta con un número infinito de planos y cuadros, también considera a los números reales desde cero hasta fracciones. Un ejemplo clásico es el átomo, donde las distancias de las capas electrónicas siguen los números de las diagonales 1-4-9-16 con el mayor número de electrones que pueden contener. La existencia de los números reales, sin lugar fijo, era conocida sólo por unos pocos iniciados en la hermandad de Pitágoras, que juraron guardar el secreto. Puede ser fácil de entender hoy en día a través del teorema de Pitágoras.

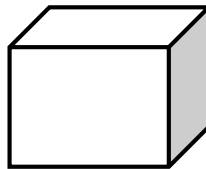


Fig. 3.13. Representación del comportamiento del cubo en la tercera dimensión.

3.9.4. Cuarta dimensión

La cuarta dimensión está representada por fractales y el hipercubo. Este último es un símbolo utilizado en matemáticas para la representación de la cuarta dimensión en dos dimensiones.

El infinito en la cuarta dimensión está en el infinito de relaciones. Esto se puede expresar en términos de "expansión fractal", desde el pequeño infinito al infinito grande, perpendicular a las otras dimensiones y así como los intervalos, las dimensiones fractales entre ellos. El hipercubo es cortado por 4 diagonales que constituyen el punto central. El número de las diagonales es de $4 \times 3 = 9$, según el teorema de Pitágoras. Los cuatro diagonales son de 1-5, 2-6, 3-7 y 4-0.

La cuarta dimensión es el hogar de los números complejos y la geometría fractal. Es el continuo espacio-tiempo del hombre y la naturaleza donde hay un cambio constante basada en la retroalimentación.



Fig. 3.14. Representación infinita del comportamiento en la cuarta dimensión.

Los atractores extraños son un vínculo entre la geometría fractal y los sistemas dinámicos. Esto se debe a que en la región donde se localiza asintóticamente una órbita caótica, tiene una estructura fractal. Gracias a esta característica la geometría fractal es una herramienta de apoyo para estudiar el soporte de cómo se definen los sistemas dinámicos caóticos. Los fractales cuentan con una propiedad característica: que es la semejanza y la apariencia irregular que permiten la caracterización con base a las medidas cuantitativas a su grado de irregularidad, siendo esta una extensión de la dimensión euclídea para objetos auto semejantes.⁵²

Un ejemplo clásico de comportamiento caótico se tiene:

- Conjunto de Mandelbrot
- Conjunto de Julia

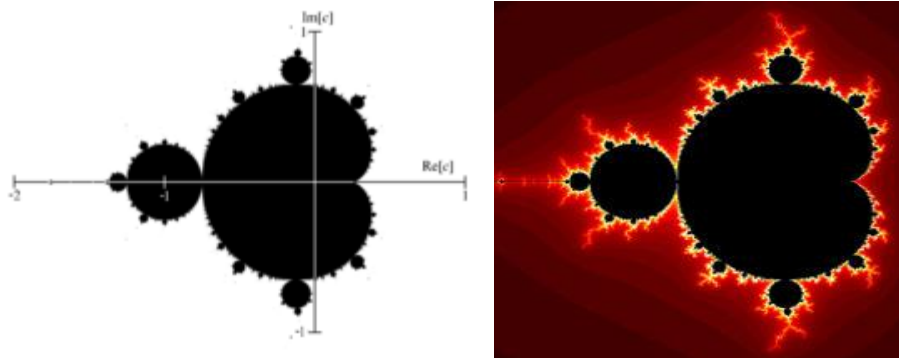


Fig. 3.15. Representación matemática del conjunto de Mandelbrot como subconjunto del plano complejo mediante el algoritmo de tiempo de escape.

Sea c un número complejo cualquiera. A partir de c , se construye una sucesión por inducción:

$$\begin{cases} z_0 &= 0 & (\text{término inicial}) \\ z_{n+1} &= z_n^2 + c & (\text{relación de inducción}) \end{cases}$$

Si esta sucesión queda limitada, se dice que c pertenece al conjunto de Mandelbrot. A menudo se representa el conjunto mediante el algoritmo de tiempo de escape. En ese caso los colores de los puntos que no pertenecen al conjunto indican la velocidad con la que diverge (tiende al infinito).^{53, 54, 55, 56}

3.10. Explorando la autosimilitud

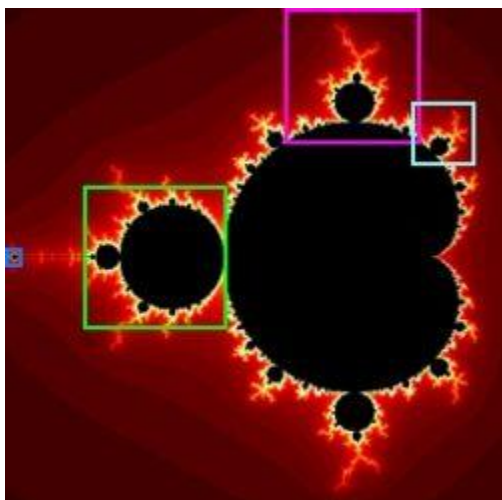


Figura 3.16. Observándose el crecimiento de la figura encerrada en el cuadro blanco, su inmediata autosimilitud la imagen encerrada en el cuadro rojo y así sucesivamente.

Como no se puede calcular un sin fin de valores, es preciso poner un límite y decidir que si los p (puntos) de primeros términos de la sucesión están acotados entonces se considera que el punto pertenece al conjunto. Al aumentar el valor de p se mejora la precisión de la imagen. La autosimilitud o autosemejanza es la base del estudio de los fractales, de tal modo se requiere un análisis más detallado; basta con tomar un fragmento del fractal y se observará que cumple con la misma semejanza del fractal en su forma completa. Si ampliamos la imagen dentro del recuadro blanco encontramos la autosimilitud en todo el fractal.

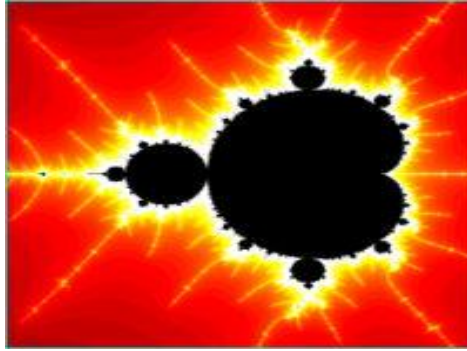


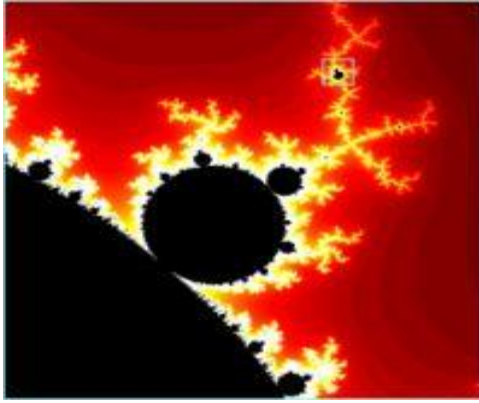
Fig. 3.17. Al ampliar la imagen del recuadro blanca se observa la autosimilitud del fractal total.



Fig. 3.18. Ampliación del cuadro violeta



Fig. 3.19. Ampliación de la mancha que aparece en el cuadro violeta se observa la misma forma que la de la imagen inicial del fractal. ^{53,54}



Aquí se nota una ligera deformación de la figura inicial. Sin embargo, esta imagen sigue siendo isomorfa a la inicial.

Alrededor de cada *clon* de la forma inicial existen otros clones minúsculos, en las mismas posiciones relativas que en la figura global siendo un proceso sin fin.

Fig. 3.20. Al ampliar el cuadro azul se encuentra nuevamente una similitud de la imagen inicial.

3.11. Conjunto de Julia

Gastón Maurice Julia nacido el 3 de febrero de 1893 fue el precursor de lo que hoy conocemos como fractales, encontró que a partir de cualquier función compleja se obtiene mediante un conjunto cuya frontera es imposible de definir debido a su longitud infinita.

Gastón Publicó un informe sobre la iteración de las funcionales racionales en la revista francesa de matemáticas *Journal de Mathématiques Pures et Appliquées*, fue galardonado por dicho artículo.⁵⁰

Sin embargo tiempo después su trabajo no fue muy popular, hasta después de que Mandelbrot, quién tuvo una ventaja enorme sobre Gastón Maurice Julia: pudo aprovechar la invención del ordenador. Todas las propiedades de los fractales que estableció Julia a fuerza de cálculos y deducciones, con papel y lápiz, las podían observar en su pantalla Mandelbrot y los millones de propietarios de ordenadores personales con modo gráfico. A finales de los ochenta, los artistas se interesaron en el conjunto de Mandelbrot.⁵⁰

El conjunto de Julia se obtiene del estudio de números complejos al ser iterados siendo esto una familia de fractales.

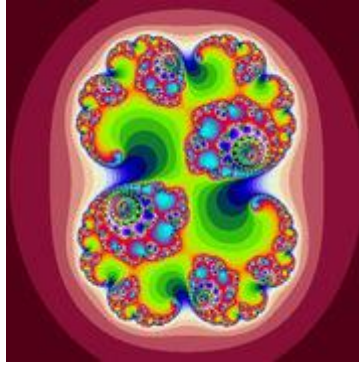


Fig. 3.21. El conjunto de Julia tiene un comportamiento caótico, debido a los puntos que se encuentran por debajo de la iteración de f , siendo esta una función Holomorfa. ^{53, 54, 55}

El conjunto de Julia se obtiene a partir de funciones cuadráticas simples:

$$f_c(z) = z^2 + c,$$

Donde:

c es un número complejo.

El conjunto de Julia obtenido de esta función se denota como J_c .

Para todo complejo z se construye: $z_0 = z$

$$z_{n+1} = z_n^2 + c$$

Si esta sucesión queda acotada, entonces se dice que z pertenece al conjunto de Julia de parámetro c , denotado por J_c ; de lo contrario, z queda fuera de esta definición.

En las imágenes anteriores, los puntos negros pertenecen al conjunto y los de color no. Los colores dan una indicación de que su módulo tiende a infinito: en rojo oscuro, al cabo de pocos cálculos se sabe que el punto no está en el conjunto; y en blanco, se ha tardado mucho más en comprobarlo.

Como no se pueden calcular valores infinitos, es preciso poner un límite, y decidir que si los primeros términos de la sucesión están acotados, el punto pertenece al conjunto. Al aumentar el valor de n se mejora la precisión de la imagen.^{51,52}



Fig. 3.22. Existe una relación muy fuerte entre los conjuntos de Julia y el conjunto de Mandelbrot denotado por M , debido a la similitud en sus definiciones.⁵⁶

IV. CEREBRO, ELECTROENCEFALOGRAMA Y SUS DERIVACIONES

En el exhaustivo estudio del cerebro se ha encontrado que es una máquina asombrosa capaz de realizar trabajo con un altísimo grado de complejidad; tanto, que el ser humano no ha conseguido crear una máquina que supere este potencial. Toda esta maravilla se debe a la evolución que ha tenido a través del paso del tiempo, en su estructura, funcionalidad y en la combinación de sus códigos para su interpretación, es decir, en la codificación de la información registrada para poder desarrollar diversas funciones.

El cerebro al nacer cada individuo, cuenta con 200 mil millones de neuronas, sin embargo esta realidad no dura por mucho: ya que al alcanzar una edad adulta estas neuronas, se reducen a la mitad quedando en total 100 mil millones.

El cerebro de la especie humana se manifiesta por los cambios que transcurren en su fisiología y en diversas funciones, esto conlleva al cambio paulatino de su fisionomía hasta alcanzar un peso aproximado de 3 kg, considerando que el cerebro actual pesa 1.5 kilogramos.⁵³

El cerebro es una máquina asombrosa y poderosa, sin embargo no es un producto terminado, esto es se encuentra en un proceso de mejora continua; seguirá transformándose, desarrollándose y adaptándose a las condiciones en las que se encuentre obtendremos más habilidades como diversas capacidades; que tal vez en algún momento se consideraron difíciles o imposibles de alcanzar. Por ser el cerebro tan importante, imprescindible y caótico el hombre se ha dado a la tarea de estudiarlo y tratar de entender todo su mecanismo y operación, como también su fisiología, entre otras.

No fue hasta 1987 que el Dr. Paul Mc Lane, postula la teoría acerca de la existencia de un cerebro tri-uno, el cual describe 3 tipos de cerebro:⁵⁴

Cerebro Reptil.

Cerebro mamífero o límbico.

Cerebro neo corteza.

4.1. Cerebro Reptil.

Se encuentra conformado por el tallo cerebral y el cerebelo. Se le denominó reptiliano ya que este cerebro fue el pionero debido a que el hombre tiene ciertas cualidades parecidas a los de los reptiles, como los instintos para sobrevivir a nuestro alrededor, tener la sangre fría entre otros. Pero no todo es malo, también nos da habilidades positivas como la motivación, autoestima, coraje, disciplina, entre otras.

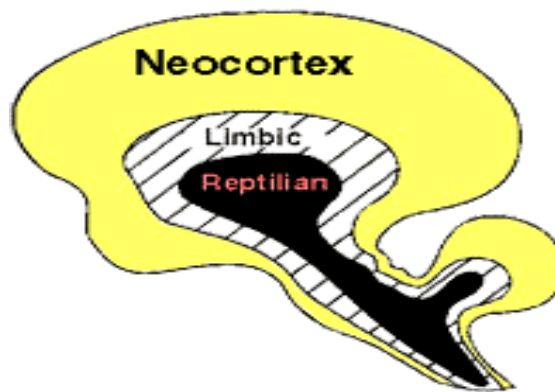


Fig. 4.1. Imagen del interior del cerebro reptil.

4.2. Cerebro mamífero o límbico.

Está conformado por la amígdala, el hipocampo y el hipotálamo las cuales son encargadas de mantener la temperatura corporal estable, la sed y el hambre; por otra parte la hipófisis y el tálamo son los encargados de preparar los mensajes de los sentidos al organismo para reaccionar cuando percibimos dolor.

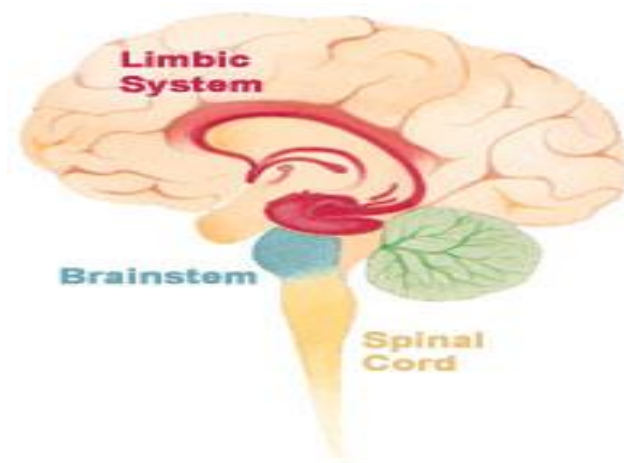


Fig.4. 2 Constitución del cerebro límbico o mamífero.

4.3. Cerebro Neo corteza.

El cerebro neo corteza está dividido en dos hemisferios. El hemisferio derecho que se especializa en la creatividad y el hemisferio izquierdo que se encarga del pensamiento racional, analítico y crítico.

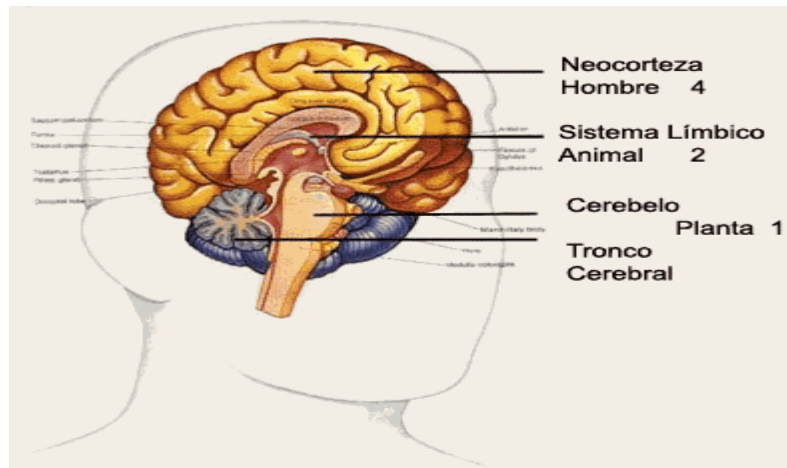


Fig.4. 3. Imagen que denota la constitución de cerebro triuno.

4.4. Geografía del Cerebro

En la parte más profunda de la masa cerebral se encuentra el tallo cerebral, en la parte media se encuentra el encéfalo o mesencéfalo, es la porción anterior, grandemente modificada y agrandada del sistema nerviosos central (SNC).⁷⁰

Se encuentra recubierto por tres membranas protectoras llamadas “meninges” y está encerrado en la cavidad craneana. Se divide principalmente en ganglios basales, tálamo e hipotálamo, mesencéfalo, tallo cerebral y cerebelo, el cual provee una base para estudiar las localizaciones encefálicas y por último se encuentra una capa externa extremadamente delgada menos de 6 milímetros conocida como la neocorteza cerebral.

El cerebro es el mayor órgano contenido en el interior del cráneo, toda la superficie cerebral está formada por circunvalaciones que se denotan como pliegues en la superficie del cerebro, las cisuras son verdaderamente surcos en

el órgano, donde la cara superior presenta una honda cisura longitudinal que se localiza a la mitad del órgano, quedando dividido en dos partes denominadas hemisferio izquierdo y hemisferio derecho.

Si existiera una manera de poder explorar el interior del cuerpo humano, pero sobre todo del interior del encéfalo, podríamos darnos cuenta que es la parte más compleja del sistema nervioso y la más especializada para el control del cuerpo humano. Está protegido por los huesos del cráneo y cuenta con 3 regiones primordiales: la región encargada del control de la conducta, otra que coordina los movimientos y el tallo cerebral, que está especializado en el control de las funciones vitales como los latidos del corazón, hasta la respiración. El encéfalo está conectado con el resto del cuerpo mediante la médula espinal, de este modo es cómo podemos mover los pies, los brazos, todo el cuerpo y captar todas las sensaciones.

En el centro del encéfalo nacen doce pares de nervios conectados con diferentes órganos por todo el cuerpo, por ejemplo, el nervio óptico, que comunica directamente al ojo con el cerebro; los nervios ópticos están directamente conectados con la corteza visual de nuestro cerebro, que convierte los impulsos en imágenes; los nervios auditivos llevan los impulsos del oído al cerebro y estos se convierten en sonidos; los bulbos olfatorios llevan los impulsos eléctricos de la nariz al cerebro y estos se convierten en el sentido del olfato.⁷¹

4.4.1. Geografía y funciones de la neocorteza cerebral.

La geografía del cerebro es sorprendente ya que todo se encuentra en el lugar preciso y su función también lo es. Por citar algunos ejemplos, en la parte frontal de la cabeza se encuentra el hemisferio frontal de nuestro cerebro; en la parte posterior de nuestra cabeza, en la nuca, se encuentra el lóbulo occipital; al igual que el lóbulo frontal, ambos se especializan en ciertas funciones.

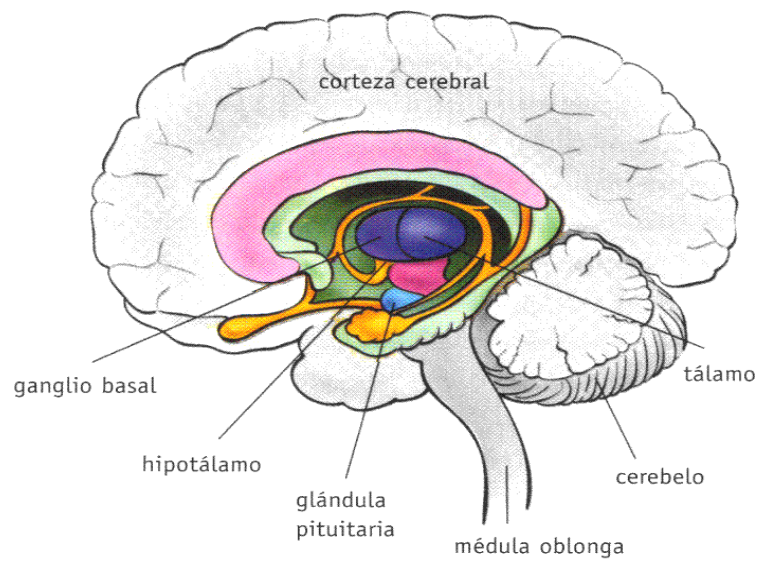


Fig.4. 4. Imagen del cerebro en el cual se localizan las partes que contemplan la neocorteza.

En el área del lóbulo frontal se encuentra la zona de la conducta, esto significa que es el área donde razonamos, tomamos decisiones, la cual la encontramos en la parte izquierda del lóbulo, por otra parte la creatividad, imaginación se encuentra en la parte derecha del lóbulo. También en la parte occipital de nuestro cerebro está ubicada la corteza visual del cerebro, y es aquí donde los nervios ópticos realizan una función primordial, la de construir imágenes que proporcionan la idea de lo que observamos.

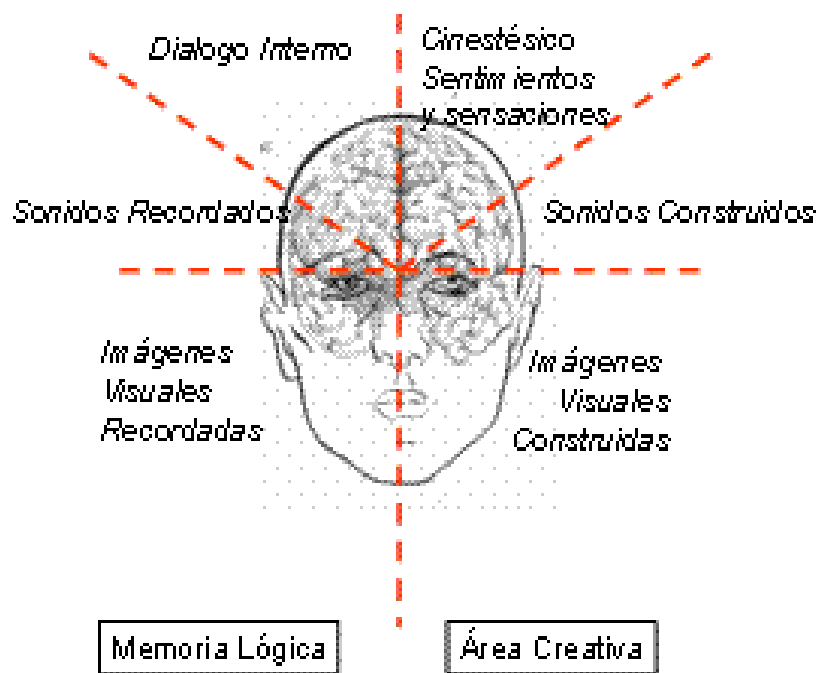


Fig. 4.5. División del cerebro en memoria lógica y área creativa.

Sin embargo no es todo. Donde se llevan cabo la gran parte de las funciones, en la parte central del cerebro conocida como Lóbulo parietal y temporal. En la parte superior de estos lóbulos está ubicada el área motora, la cual es la especializada en el movimiento de nuestras extremidades de todo el cuerpo.

La parte superior del área motora de ambos hemisferios mueve el extremo final de nuestro cuerpo, como los dedos, los pies, tobillos y hasta las piernas; en la parte media del área motora se especializa en el movimiento del tronco de la cintura hacia arriba, también nuestros brazos; la parte inferior de nuestra corteza motora mueve los músculos de la cara y de la cabeza; de esta manera pareciera que el área motora está invertida, es decir, la parte superior del área motora mueve la parte inferior de nuestro cuerpo de tal modo que si se llegase a tener un accidente y los huesos del cráneo perforan alguna parte de la región motora, esta sufrirá una parálisis. ^{56,57}

4.4.2. Anatomía del cerebro

La superficie cerebral está constituida por circunvalaciones que se denotan como pliegues en la parte superficial del cerebro, manifestándose en forma de surcos. El hemisferio izquierdo se especializa en el razonamiento analítico, crítico, análisis y síntesis, esta parte del cerebro nos da la capacidad de hacer realidad nuestros sueños, tener congruencia y se basa en el pensamiento crítico y analítico.

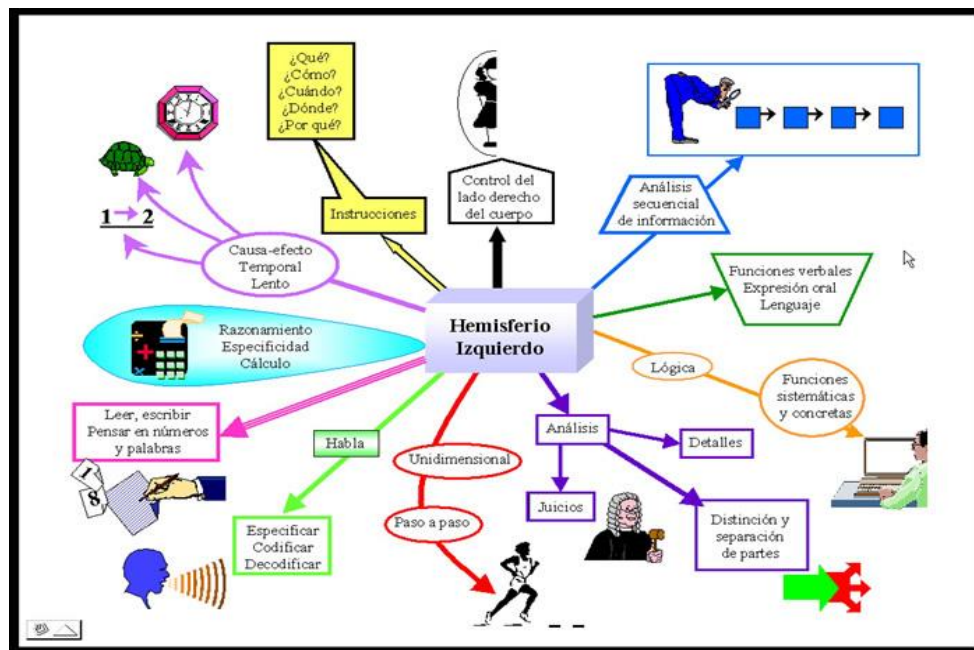


Fig. 4.6. Imagen que describe la especialización del hemisferio izquierdo del cerebro.

En el hemisferio derecho se encuentra la plena consciencia de la libertad, de poder imaginar lo inexistente, soñar, imaginar, crear, y también en entender y poder precisar en nuestros pensamientos y realidad.

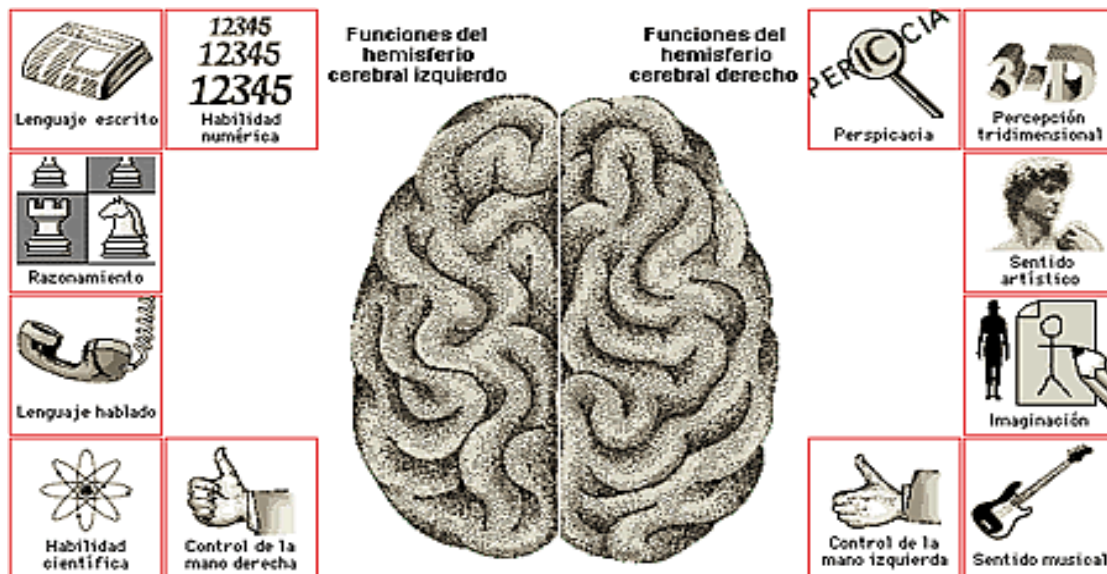


Fig.4.7. Imagen que describe el comportamiento del cerebro en su hemisferio izquierdo y derecho.

El cerebro constituye la base fundamental del “sistema nervioso”. Gracias a la diversa transformación que ha sufrido a través del tiempo y a su estructura, el cerebro se encarga de la codificación de la información y del desarrollo de diversas funciones como es la protección del individuo, en particular del sistema y el poder asegurar la evolución del genoma humano.⁵⁶

La inteligencia acumulada en el cerebro se manifiesta en diferentes modalidades como el reconocimiento de los sonidos, la interpretación de las formas, el ruido y muchas veces hasta de un ambiente impredecible.

Los hombres de ciencia que se han encargado del estudiar temas relacionados con este sistema, consideran la evolución constante del cerebro y la inteligencia en nuestros días es resultado de 6 a 1.2 mil millones de años de transformaciones continuas. Sin embargo, en el transcurso del tiempo y .los cambios que se manifiestan en él han aportado una realidad lógica y profunda en la teoría de la complejidad.⁷³

Gracias a las perspectivas de la evolución ahora se puede explicar más a fondo la funcionalidad y complejidad del cerebro. *Hay dos principios en los cuales diversos científicos basan la teoría de tal complejidad:*

El primero se trata de la evolución, esto quiere decir que la complejidad del cerebro de las especies actuales se debe a su habilidad de sus antecesores, en la forma de cómo se adaptaron a su medio durante el proceso de evolución. Por mucho tiempo se ha pensado en la evolución como la capacidad que tienen los sistemas de modificar y deformar los genes sin perder sus propiedades y funciones y así tener una ventaja sobre su antecesor y la capacidad de sobrevivir en su entorno.

La evolución en el comportamiento de los organismos se debe a la secuencia de sus uniones, siendo estas reguladas por procesos y primordialmente por sus componentes, dando lugar a subsistemas, las cuales se encargan del control de las funciones básicas como puede ser la respiración, la detección de enfermedades, y el comportamiento de la mente. No hay que dejar pasar por alto que toda esta maravilla caótica en torno al cerebro se debe a circuitos especializados con funciones y mecanismos especializados.

El segundo principio se fundamenta en la relación que existe entre la optimización del trabajo realizado y la complejidad de las señales en el cerebro. Sin embargo los especialistas en sistemas han estudiado la transformación de los circuitos neuronales o las redes neuronales.

En la década de los 80's se creía factible construir máquinas (computadoras) que imitaran la inteligencia humana, con la arquitectura (máquinas de Turing) disponible en esa época. Desde entonces se formulaban redes neuronales que se entrenaban y aprendían a hacer varias tareas, como la resolución de ecuaciones diferenciales u optimizar procesos. Varios investigadores, principalmente ingenieros de sistemas y computólogos, estaban realmente convencidos e ilusionados respecto a la posibilidad de construir robots, operando con máquinas de Turing, que fueran capaces de hacer emerger la inteligencia (como la humana o por lo menos de un loro) y la conciencia. Pero no ha sido así. Los físicos de los 90's (Hawking y Penrose) han demostrado que no se puede hacer emerger conciencia ni inteligencia con máquinas de Turing.⁵⁸

Dicen que en las interconexiones sinápticas existen procesos cuánticos, por lo tanto si ha de lograrse inteligencia artificial es más probable que emerja de una computadora cuántica pero quizá no sea así.

4.5. Sistema nervioso y neuronas

La estructura y funcionalidad del cerebro humano es considerado como una de las más asombrosas maravillas, esto se debe a su comportamiento y estructura compleja, tal complejidad creó tal interés por realizar diversas investigaciones. Un exponente importante en su época fue Descartes. Su estudio se fundamentó en el entendimiento de las reacciones y sus mecanismos que se llevaban a cabo dentro de este tipo de sistemas donde hay intercambio de información en la realización de diversas tareas de todo el cuerpo humano. Para la comprensión de este tipo de sistemas se aplicaron diferentes modelos matemáticos. El objetivo de esta herramienta es la comprensión de la mente, así como en la construcción y análisis de modelos y unidades que describan a las neuronas o células nerviosas.

Un descubrimiento importante realizado en 1780-90 por Luigi Galvani en la universidad de Bolonia, describía contracciones en la aplicación de corriente eléctrica, realizadas en ancas de ranas. Poco después se encontró que la acción nerviosa y muscular se debía a la variación de voltaje y no a la circulación de la corriente eléctrica que viaja a lo largo de las fibras nerviosas, como se creía. Poco después los científicos españoles Ramón y Cajal, se basaron en el estudio de los fenómenos eléctricos y las neuronas, para deducir que ellas conforman el bloque básico de que está compuesto el sistema nervioso.⁷⁴

4.6. Sistema nervioso central

El sistema nervioso central (**SNC**) del ser humano promedio, está conformado por 100 mil millones de neuronas, y de 10 a 50 células gliales. Las neuronas constituyen la base principal del sistema nervioso, sin embargo son el resultado de siglos de evolución de células neuroefectoras primitivas encargadas de recibir la estimulación mediante una contracción.

Las neuronas presentes en el SNC varían en forma y tamaño, a pesar de eso presentan en su mayoría las mismas partes que de la neurona matriz. Las células nerviosas se conforman de 3 partes principales;

- El cuerpo celular o soma
- Las dendritas
- El axón

4.6.1. Dendritas

Las dendritas son prolongaciones que van hacia afuera del cuerpo celular y cuentan con ramificaciones prolongadas en la corteza cerebral y cerebelosa. Las dendritas cuentan con diminutas prolongaciones que están hechas nudo, conocidas como espinas dendríticas.

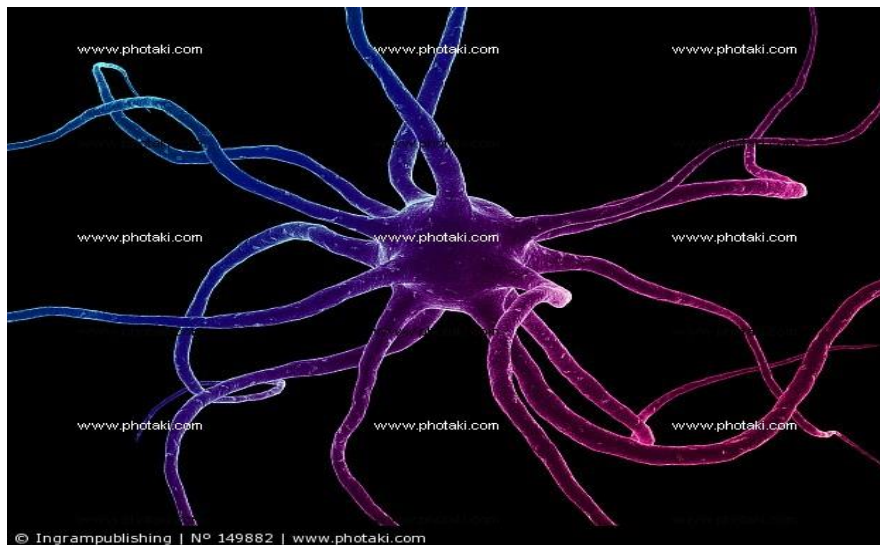


Fig.4. 8. La imagen demuestra la estructura de la una dendrita.

4.6.2. Axón

Las neuronas también cuentan con un axón largo y fibroso que se origina de una parte un poco engrosada del cuerpo celular, denominado cono axónico.⁷⁰ La primera parte del axón se le conoce como segmento inicial. El axón está dividido en ramas terminales, donde cada una de las ramas en su término, cuenta con un botón sináptico, los cuales en su interior tienen gránulos o vesículas, cuya función es sobre guardar a los transmisores sinápticos secretados por los nervios.

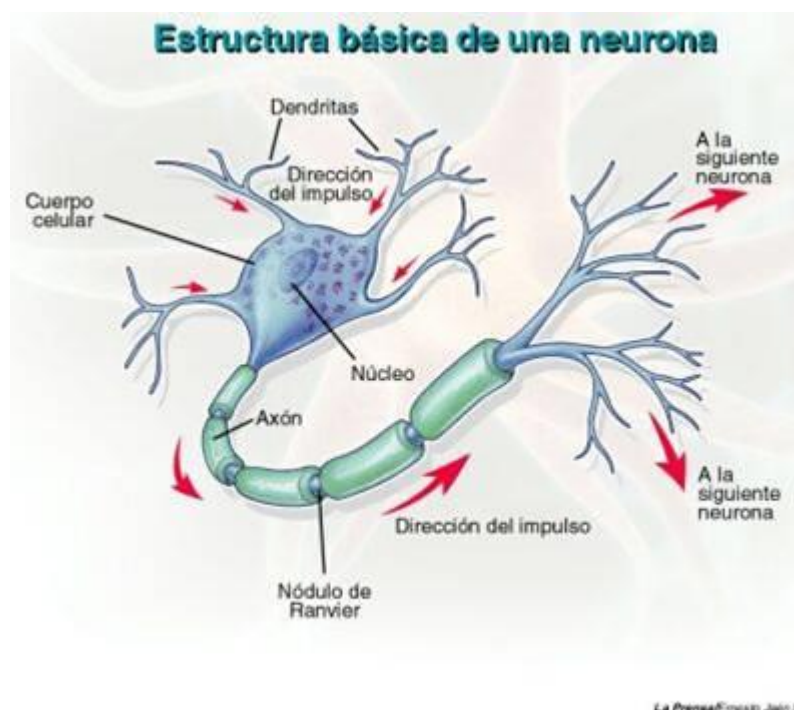


Fig.4.9. Estructura del axón.

La importancia del axón y de las dendritas se debe a que permiten a la célula nerviosa recibir o transmitir señales a otras células.⁷⁴

4.6.2. Soma

En el soma se encuentra un núcleo de la célula; dando lugar al material genético, aquí mismo se lleva a cabo diversos mecanismos bioquímicos, los cuales son los encargados de sintetizar las enzimas y proteínas que requiere una neurona para poder sobrevivir. El soma tiene un trabajo primordial el cual consiste en la

interacción de las señales que se originan en las dendritas y finalizan mandando una respuesta análoga a otras células que la reciben, mediante el axón. Esta interacción se manifiesta en las conexiones existentes entre ellas “sinapsis”.

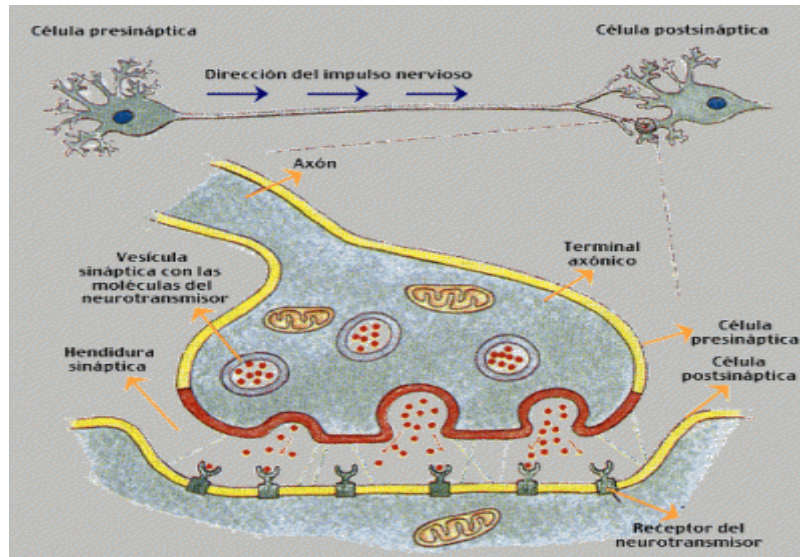


Fig. 4.10. Representación del mecanismo de acción de la sinapsis.

4.7. Existen 2 tipos de sinapsis:

4.7.1. La **sinapsis química** ocurre en un proceso en el cual hay una separación de la membrana de ambas células. Esto se lleva a cabo en un espacio llamado “intersináptico” el que está encargado de dicha separación y la intervención de agentes químicos conocidos como neurotransmisores que se propagan a través del espacio intersináptico para contribuir al restablecimiento de la señal eléctrica.

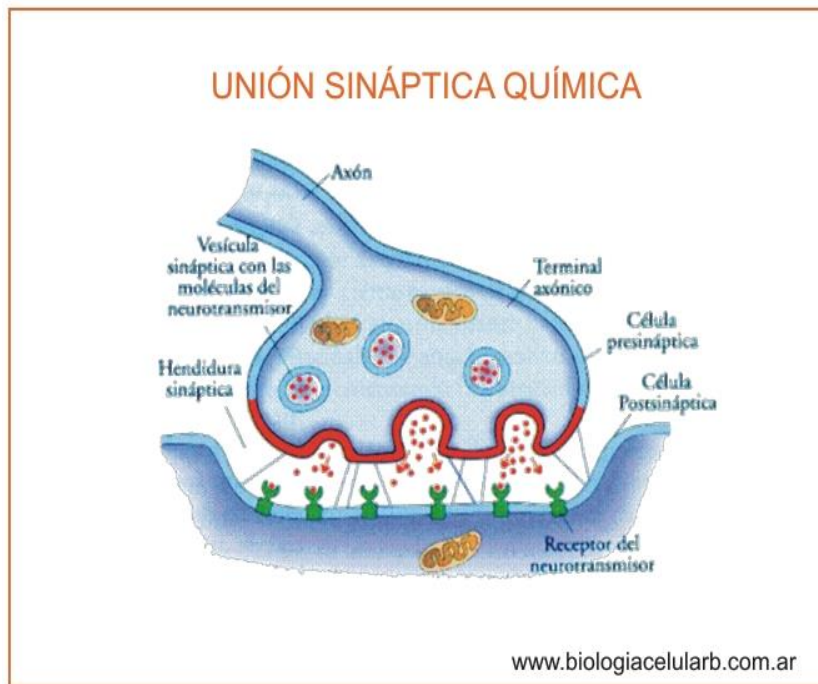


Fig. 4.11. Representación de unión química de la sinapsis.

4.7.2. En la *sinapsis eléctrica*, aquí el paso de la corriente es directo. Dicho movimiento se lleva a cabo de una a otra célula, sin la intervención de neurotransmisores.

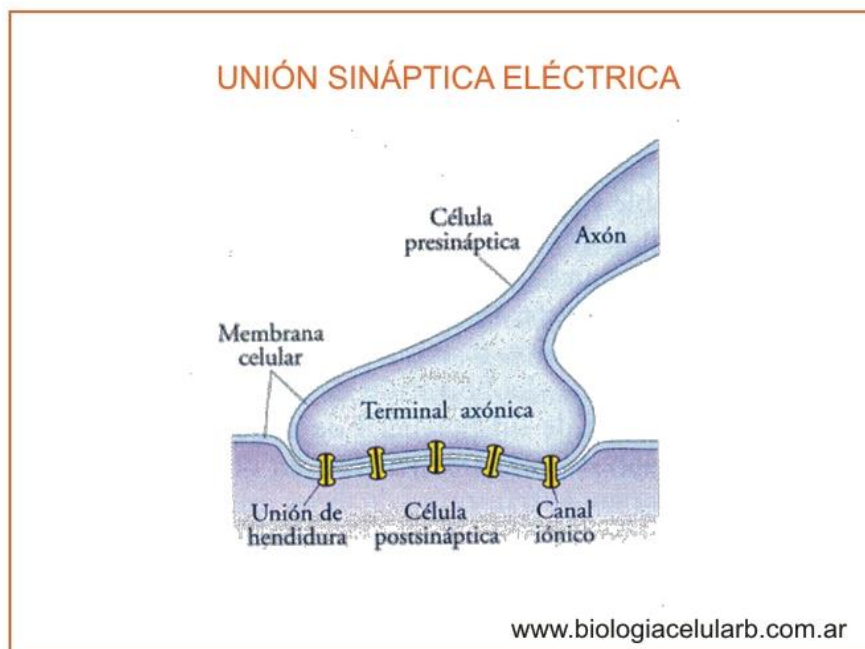


Fig. 4.12. Representación de unión física de la sinapsis.

El cerebro humano contiene cientos de miles de millones de neuronas, las cuales tienen interacciones con otras células nerviosas. Esta maravilla aporta una gran funcionalidad en el cerebro, en donde la constitución diferente de los circuitos del cerebro ayuda a la estabilidad o al equilibrio del sistema. No obstante la neurona aporta más que una simple conexión, ya que una neurona recibe entre 10,000 y 20,000 sinapsis de cientos de neuronas y tienen el poder de mandarlas a cientos de millones de neuronas blanco.

La reacción de la sinapsis se lleva a cabo entre el axón y la dendrita, también se puede llevar a cabo entre axón-axón, dendrita-dendrita. La producción de un impulso nervioso, depende de actividad de cientos de neuronas durante la sinapsis, las cuales se comportan como excitatorias, siendo esta la estimulación del impulso, y por otra parte otras se comportan inhibitorias, cancelarían la señal que excitaría a la célula.⁵⁹

A pesar de que se considera que las neuronas son la unidad indispensable y funcional que está conectada con el cerebro, hay muchas células que también lo constituyen.

Una herramienta indispensable en este sistema es la densa red de vasos sanguíneos que se encargan de transportar el oxígeno y los nutrientes que es el tejido conectivo conocido como "Glía". Se cree que las células gliales proveen apoyo estructural y metabólico de las redes neuronales.

Otro tipo de células convencionales son las células de "Schawn", estas son las encargadas de envolver al axón formando una capa aislante natural conocida como mielina.⁷²

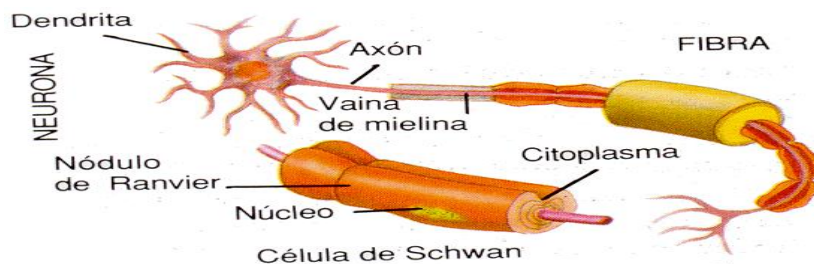


Fig. 4.13. Partes y componentes de una neurona, donde se observan la caracterización física de las células de Schwan.

El trabajo fundamental de esta red, permite el viaje del impulso nervioso., aproximadamente en cada μm , hay una interrupción de la mielina, por nodos de Ranvier, donde la membrana celular tiene contacto con el fluido extracelular y por lo tanto esta señal se amplifica.

La función de la cubierta de Mielina es permitir que las señales eléctricas viajen con mayor impulso, sin necesidad de esfuerzo metabólico.

4.8. Membrana Celular

La membrana celular la constituyen lípidos y proteínas; siendo esta semipermeable, permitiendo y a su vez restringiendo la entrada de ciertas sustancias. Sin embargo la variabilidad de esta función se deriva del contenido de canales que regulan el transporte de los iones y otras proteínas, las cuales tienen la capacidad de manipular la cantidad de sustancia en la membrana.

Las características más importantes de la membrana es que poseen un grosor de 4.5nm , y están constituidas por lípidos y proteínas, entre los lípidos se encuentran la clasificación en fosfolípidos como la fosfatidilcolina y la fosfatidiletanolamina. La forma de estos lípidos juega un papel importante.

Una segmento de la bicapa de los fosfolípidos está constituida por fosfatos que promueven la solubilidad en agua (polar e hidrófila), mientras que en la cola su comportamiento es no polar (hidrófobas). En la membrana la parte polar está expuesta a una sustancia de igual manera polar, mientras que la parte no polar

está excluida de ese ambiente. Este tipo de restricción en los fosfolípidos forma una micela que funciona como una barrera para guardar las células, ya que los hidrocarburos son impermeables a algunos iones y moléculas.

Las proteínas se manifiestan en la membrana celular en forma de glóbulos y en algunos casos cruzan a la membrana (proteínas integrales), mientras que otras se adhieren tanto en el interior como en el exterior (proteínas periféricas), la cantidad de estas proteínas dependerá de la membrana.

Las proteínas en la membrana trabajan de diferente manera, algunas están encargadas de adherir a moléculas con sus vecinas y con las láminas basales; otras funcionan como bombas, encargadas del transporte activo de iones a través de la membrana; otras cumplen la función de transportadoras de sustancias en dirección de los gradientes electroquímicos; mientras que otras corresponden a los canales iónicos que al ser activados dejan pasar al interior y exterior de la membrana; y así mismo existen las proteínas que fungen como receptoras, encargadas de la unión de los neurotransmisores a las hormonas, para poder así llevar a cabo cambios fisiológicos en el interior de la célula. Por otra parte las proteínas también actúan como enzimas catalizando las reacciones que se llevan a cabo en la superficie de la membrana.



Fig. 4.14. Representación de cómo se encuentra estructurada y/o organizada la membrana celular.

4.9. Epilepsia, electroencefalograma y sus alteraciones

La técnica de electroencefalografía se basa en el registro de la actividad eléctrica normal de áreas restringida del cerebro, mediante la colocación de electrodos en la superficie del cuero cabelludo. Dicha actividad es amplificada y registrada por diferentes métodos como son el osciloscopio, papel en movimiento, cinta magnética, métodos computacionales y análisis de frecuencia; permitiendo detectar anomalías eléctricas presentes en el sistema.⁶⁷

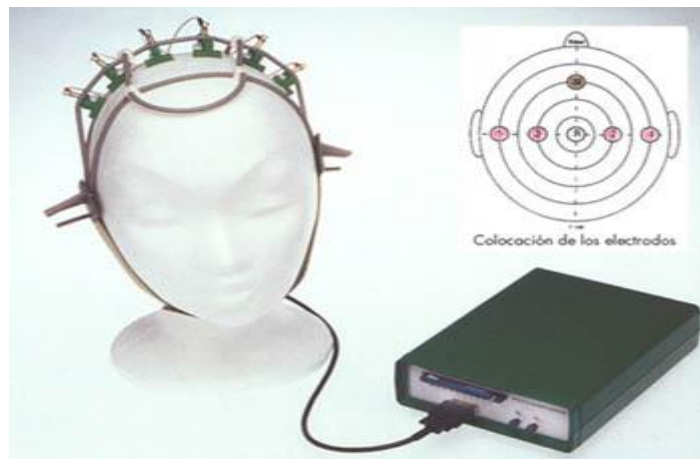


Fig. 4.15. Técnica para la obtención de electroencefalograma, donde se lleva a cabo el registro de las señales eléctricas dentro del cerebro.

Para el estudio de la epilepsia el equipo debe de contener mínimo ocho canales y como máximo 16 canales, es importante la aportación de un valor suficiente de derivaciones o corrientes que permitan la combinación de los electrodos sobre la superficie del cuero cabelludo y así poder estudiar el inicio de una crisis convulsiva.

La validez de este método de estudio se basa en la probabilidad de captar elementos gráficos indistinguibles de cada problema neurológico antes, durante y después de la etapa crítica. Este método es muy importante a nivel salud, ya que su diagnóstico aporta información válida para el estudio de trastornos neuronales así como de problemas epilépticos.⁶²



Fig. 4.16. Representación de señales obtenidas mediante un electroencefalograma. No antecedentes familiares. No antecedentes perinatales. Desarrollo psicomotor normal. No crisis febriles. Dificultad escolar. Crisis de AUSENCIAS desde los 13 AÑOS, diarias, muy numerosas, acompañadas de automatismos motores y verbales. Exploración neurológica y de neuroimagen normal. *Diagnóstico I.L.A.E.: EPILEPSIA JUVENIL CON CRISIS DE AUSENCIAS*

Los registros del EEG se pueden presentar como bipolar o unipolar. Los registros bipolares muestran fluctuaciones en el potencial entre dos electrodos de la corteza mientras que los unipolares presentan diferencias en el potencial en un electrodo cortical.⁷⁰

Para el análisis y comprensión del EEG es importante conocer el ritmo de evolución de las diferentes derivaciones conforme a los diversos lapsos de estudio.

Ritmo α . Es aquel que se localiza en el área parietooccipital, este tipo de ritmo es el más común ya que se da cuando el humano adulto está despierto, descansando y con los ojos cerrados, pero su cerebro no deja de repasar diferentes actividades y registra una frecuencia de 9 a 13 Hz y una amplitud de 50 a 100 mV.

Ritmo β . El ritmo β se caracteriza por ser equivalente con respecto al ritmo α registrándose con una frecuencia de 14 a 30 Hz y de baja amplitud en las regiones frontales.

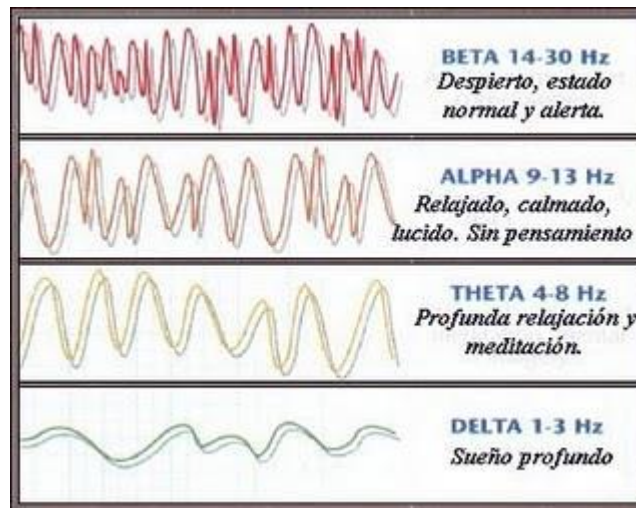


Fig. 4.17. Representación gráfica de las diferentes tipos de ritmos electroencefalográficas y sus frecuencias.

4.10. Epilepsia

En el EEG se pueden observar diferentes alteraciones neuronales, pero es importante distinguir y separar a la epilepsia de las diferentes alteraciones por medio de la distribución del voltaje, la frecuencia y la morfología del registro. Se recomienda que este tipo de estudio se realice en etapa de sueño, ya que durante y después de que el paciente pase por esa etapa el cerebro sufre descargas. Una herramienta importante para la interpretación del EEG, es la interpretación de las ondas en punta o spikes, y su comportamiento *no-sinusoidal*.⁶⁴

A continuación describiremos la morfología y la interpretación de las diversas ondas que se presentan en el EEG.

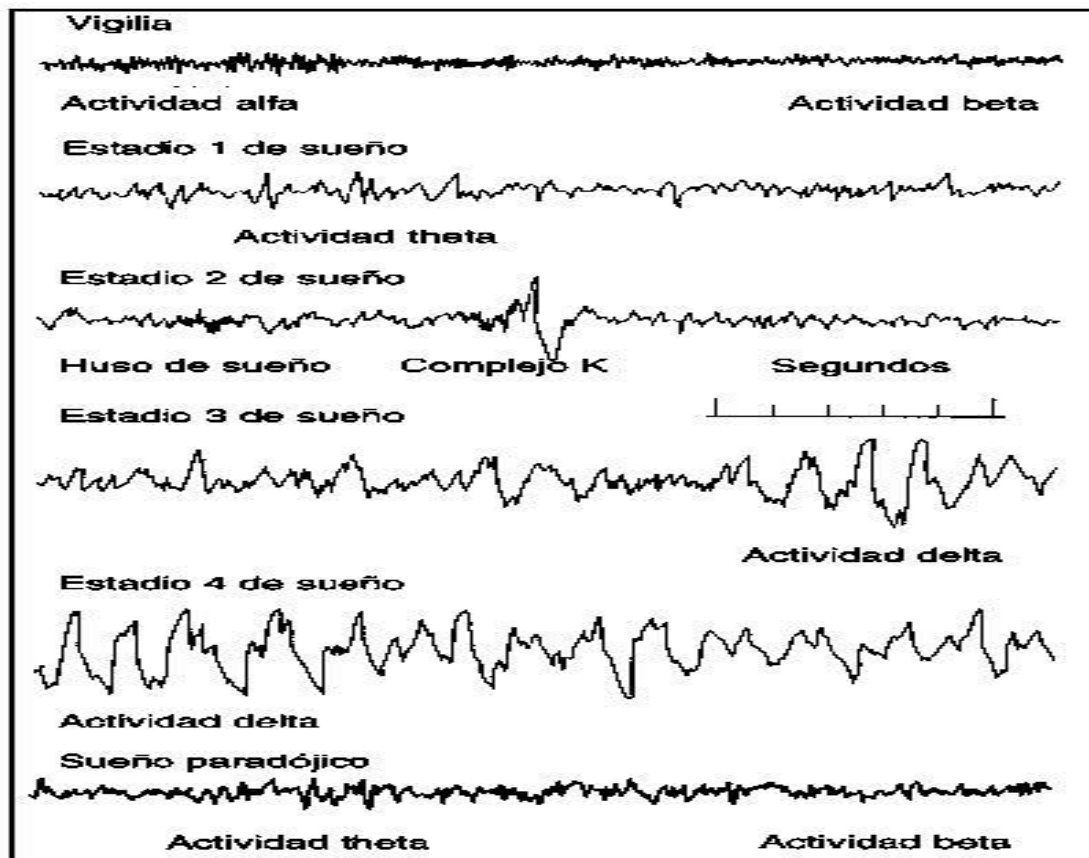


Fig. 4.18. Representación física que describe el comportamiento de las ondas eléctricas en diferentes estados de actividad neuronal.

4.11. Complejo espiga-onda de tres por segundo.

Este tipo de onda se caracteriza por tener formas rítmicas en un lapso corto de tiempo (seg) y la espiga es de carácter polifásico, la cual describe procesos de excitación y de inhibición. Sin embargo este complejo no describe el origen de la descarga pero si representa el caos que caracteriza a la epilepsia de tipo ausencia, este tipo de manifestación ocurre cuando las descargas pasan de un hemisferio a otro, acrecentando la posibilidad de que se presente alguna alteración.

Este tipo de alteraciones se observa mejor cuando el paciente está despierto, esto se debe a que durante la etapa del sueño la morfología de la espiga-onda de tres por segundo se altere de manera polimórfica, ondas agudas y lentas, puntas lentas, entre otras.

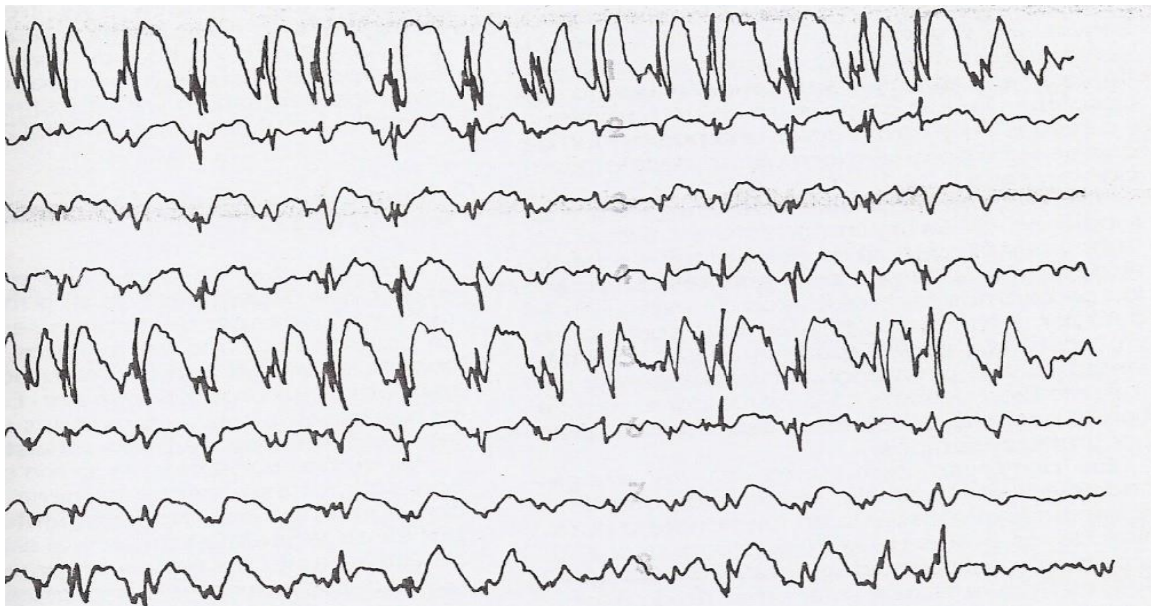


Fig. 4.19. Representación del electroencefalograma de complejo espiga- onda de tres segundos.

4.12. Complejo de puntas lentas y ondas.

El complejo de puntas lentas y ondas, consiste en la administración de un tiempo menor a 3 seg, manejando una crisis severa y difícil de controlar, dando como resultado un complejo inestable. Su comportamiento es variante entre los pacientes con esta patología, esto se debe al periodo de vigilia-sueño, provocando que las ondas tengan un carácter polimórfico y con una variación de velocidad. Por consecuencia la actividad disminuye su caoticidad, disminuyendo la velocidad hasta alcanzar un carácter de tipo ausente.^{64,65}

La crisis convulsiva comienza con un voltaje bajo. Se observa que las puntas son rítmicas, las cuales sufren diversos cambios desde el aumento de la amplitud hasta la disminución de frecuencia y se relacionan con la fase tónica de las crisis. Cuando la frecuencia alcanza un nivel bajo de 5 segundos hay manifestaciones tónicas motoras. Este tipo de descarga se lleva a cabo en una zona específica del cerebro. Las crisis atónicas son caracterizadas por la disminución en los periodos de electrodecremento o brotes de supresión.

(V)

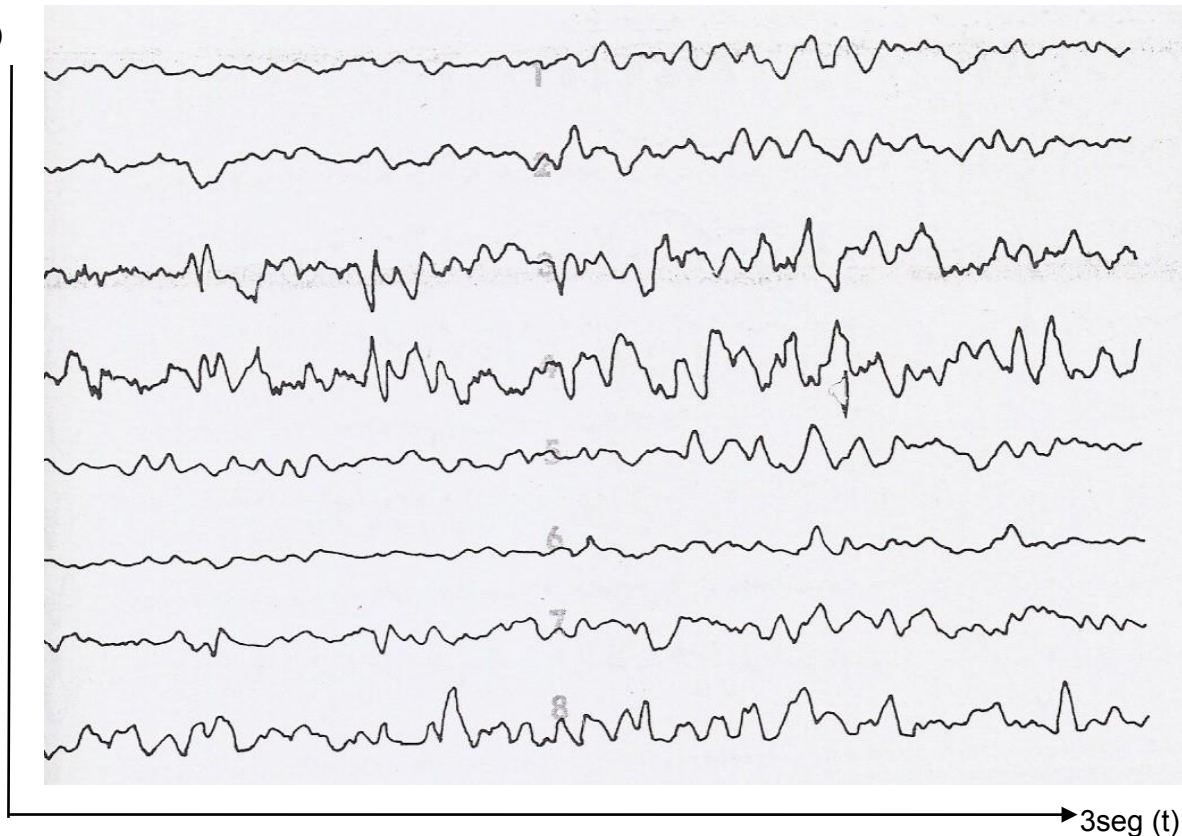


Fig. 4.20. Representación gráfica del electroencefalograma del complejo de puntas lentas y ondas. Herramienta fundamental o básica que utiliza el neurólogo para visualizar el daño cerebral.

4.13. Complejos de punta rápida onda.

Los complejos de punta rápida onda se asocian con una frecuencia de 4 a 6 segundos, alcanzando su mayor voltaje en la zona frontal del cerebro y con una disminución amplia en el hemisferio derecho tanto como en el izquierdo, durante la etapa de sueño; estableciendo cambios en su morfología y provocando la disminución en la velocidad.

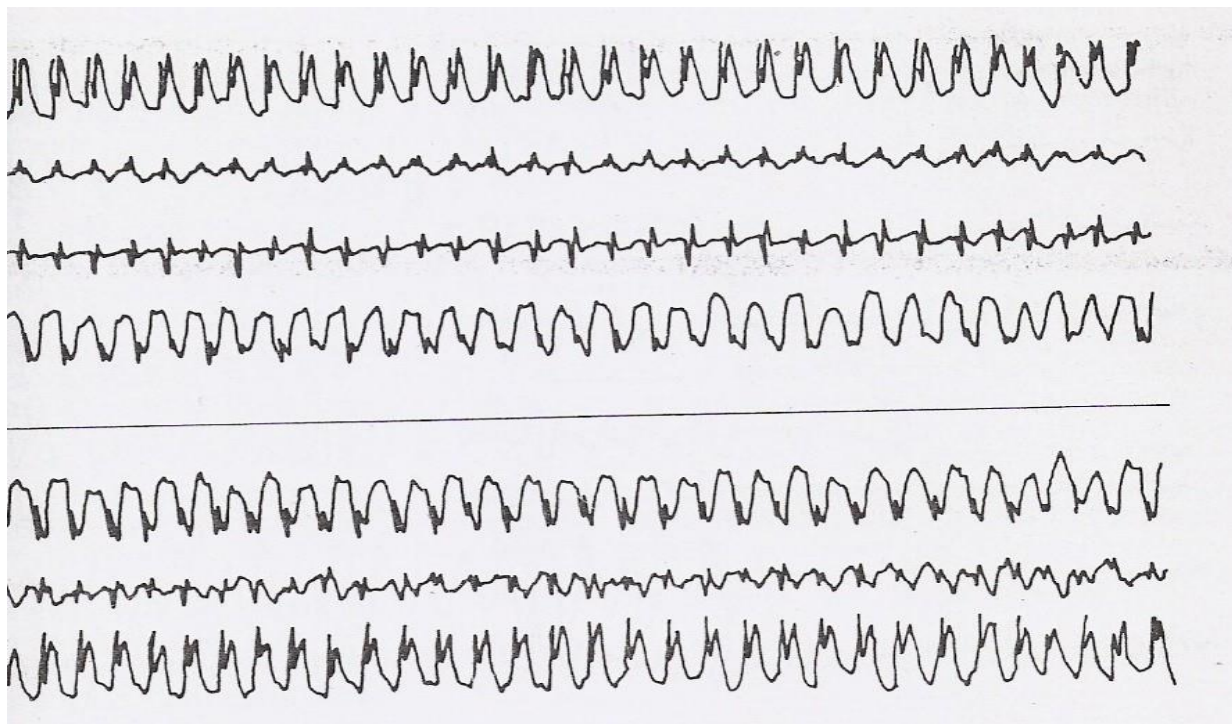


Fig. 4.21. Gráfico que representa un complejo de punta rápida onda.

4.14. Estatus epiléptico generalizado no convulsivo

Otra característica de la espiga onda se encuentra descrita en el estado de pequeño mal. Esta manifestación se debe a las descargas continuas o casi continuas de complejos de espiga onda (esencialmente se da en niños y en adultos después de los 60 años), provocando que los niños que lo padecen sufran lapsos de confusión.

Se distribuyen en el hemisferio izquierdo y derecho de manera uniforme en el área frontal donde presenta la mayor amplitud y su frecuencia varía de 2 segundos la lenta y las rápidas de 4 a 5 segundos.

La ventaja de este tipo de manifestaciones es que, con una terapia, la respuesta puede ser espontánea y el paciente recupera la conciencia y su cuerpo responde favorablemente. Esto se debe a la disminución de la espiga-onda.

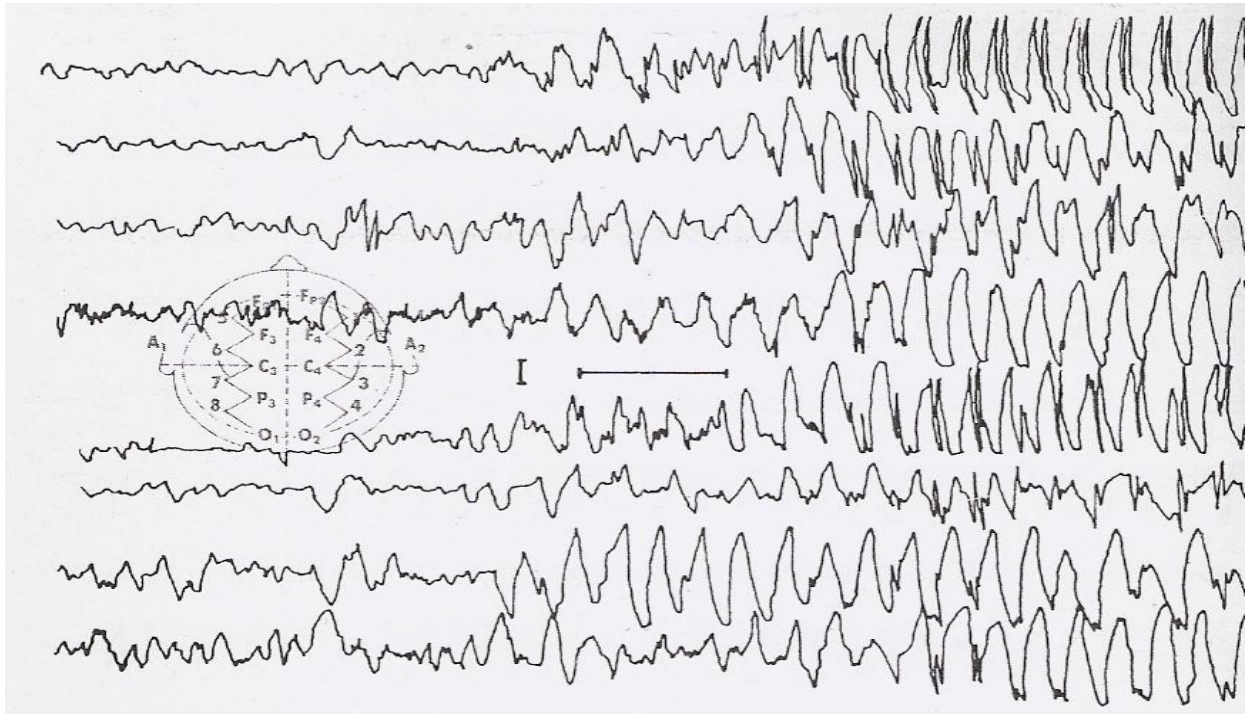


Fig. 4.22. Gráfico que representa el estatus epiléptico generalizado no convulsivo.

4.15. Lesiones focales en pacientes con descargas de espiga-onda generalizada

Cuando hay presencia de descargas epileptiformes en toda el área cerebral, se considera que hay una lesión en el cerebro en el área lateral o focal. Estas anomalías a menudo se relacionan con descargas que son generalizadas y bilaterales.

Sin embargo los pacientes que sufren este tipo de daño más severo en la parte lateral, presentan una lesión focal difícil de identificar tanto en la parte fisiológica como estructural.

Al estudiar el carácter de las ondas, se observa que si su comportamiento es bien definido y están localizadas en la región temporal anterior y media del cerebro, las cuales no dependen de los complejos espiga onda sincrónica bilateral, indican la presencia de una anomalía lateralizada. Este carácter de las ondas ayuda al análisis de un paciente con complejos epileptiformes bien lateralizados y localizados. Por lo contrario aquellos pacientes que sufren de sincronía bilateral secundaria con espigas focales máximas en áreas frontales, disminuye la probabilidad de que el carácter focal sea bajo.

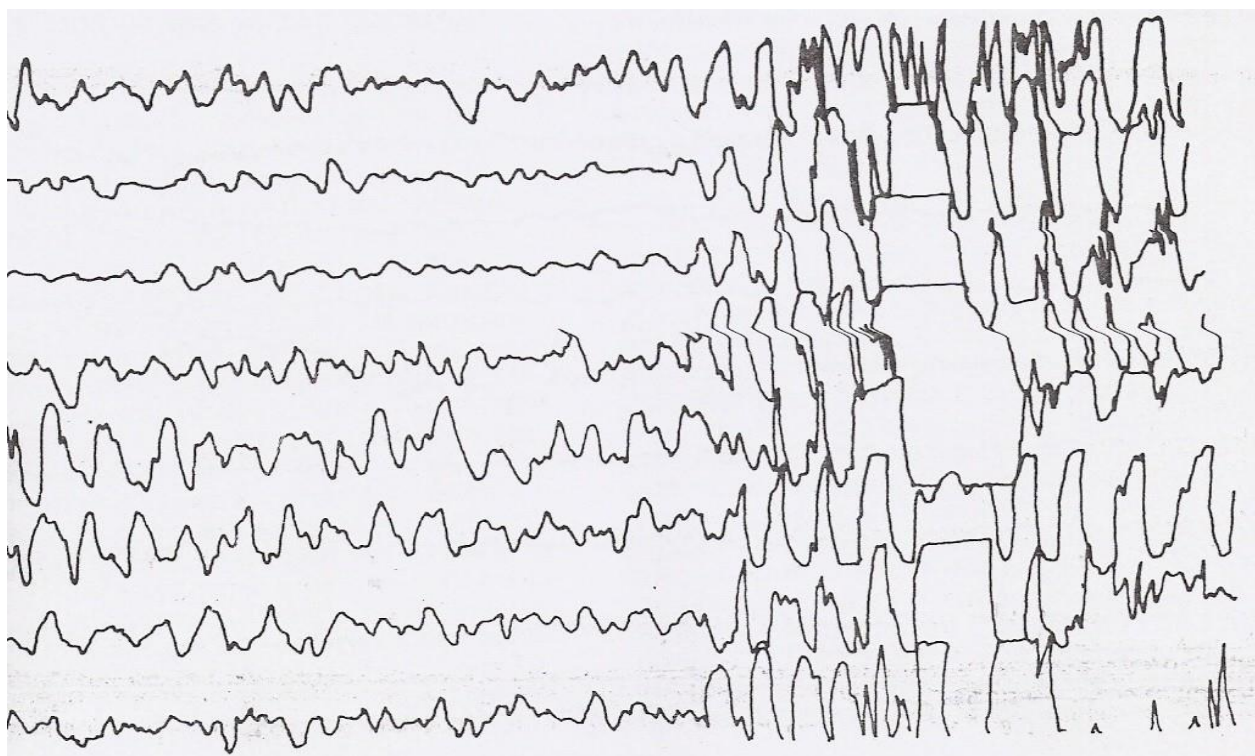


Fig. 4.23. Grafico que representa lesiones focales en pacientes con descarga de espiga-onda generalizada.

4.16. Crisis parciales. Electroencefalograma Interictal

En una crisis parcial las características de las ondas completan puntas ondas agudas, ondas agudas lentas, ondas lentas y complejos espiga onda, este tipo de descarga solo se lleva a cabo en un área específica de un hemisferio.

Cuando el carácter de las puntas es aislado, y no se observa un modo organizado, el comportamiento de la actividad eléctrica es normal. Sin embargo otra característica diferencial de los fenómenos electrográficos son las ondas agudas donde su polaridad varía, provocando que el campo del voltaje se distribuya por todo el cerebro y de esta manera es difícil localizar la actividad eléctrica.

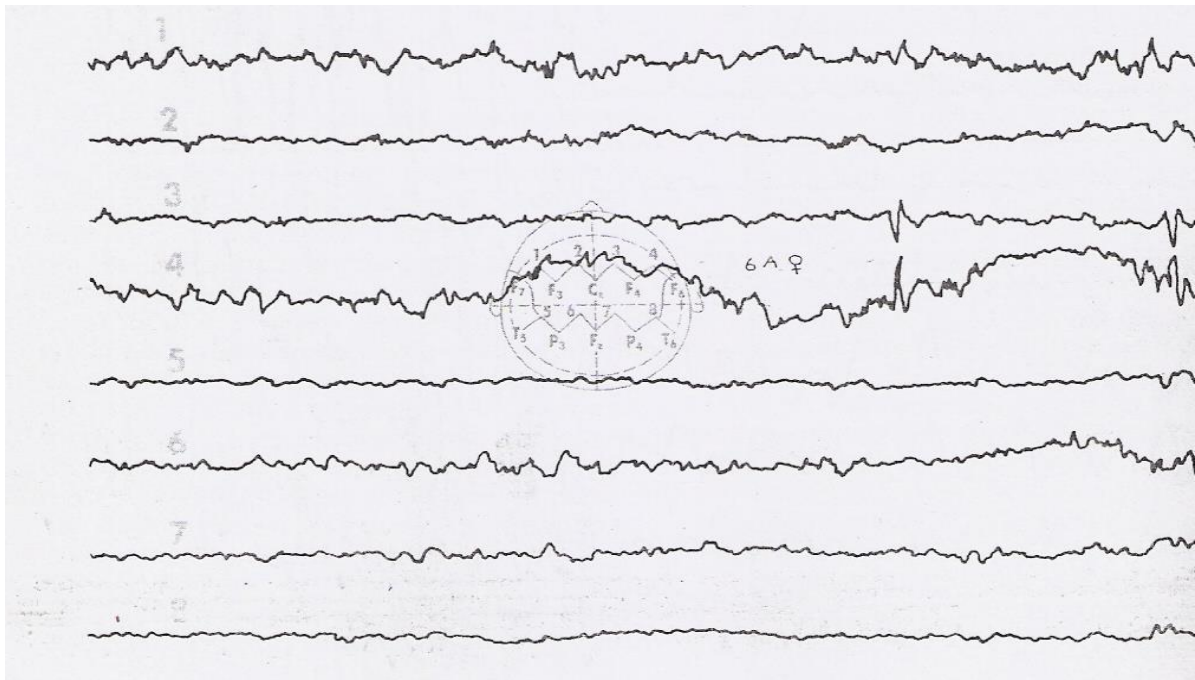


Fig. 4.24. Representación de un electroencefalograma interictal.

4.17. EEG ictal

La actividad electroencefalografica ictal se caracteriza por contener una secuencia organizada. El carácter de las puntas son rápidas y rítmicas acompañadas de un aumento de amplitud y disminución de la frecuencia y del voltaje. La crisis se encuentra localizada en la corteza, con error en la función cortical normal. Esto se deba a las diferentes tipos de crisis como son; crisis tónico-motoras, crisis crónico-motora con terminación brusca entre otras.

Las crisis que se llevan a cabo en los lóbulos temporales se deben a que el área de atenuación restringe el área donde se llevará a cabo la crisis.

4.18. Estado epiléptico focal

El estado epiléptico focal se caracteriza por el tipo de movimientos que es llevado a cabo en ciclos que se repiten específicamente en una parte del cuerpo. Las crisis de origen focal se refieren a fallas localizadas en ciertas zonas de la corteza si estas están relacionadas a sensaciones subjetivas y sin actividad motora.

Las especificaciones de este tipo de ritmo se refieren a un daño focal, el cual es la manifestación de 3 a 6 puntas por segundo, ondas agudas, además de la presencia de ondas lentas y/o complejas de punta de onda de voltaje máxima situadas en las regiones temporales del cerebro, los cuales dependerán del tiempo para incrementar o disminuir, para que la actividad eléctrica se encuentre en la zona.⁶⁸

El comportamiento de la actividad epileptiforme dependerá de la intensidad del voltaje, si se presenta una cantidad máxima, el voltaje se encuentra en la región temporal, mientras que si hay una disminución del voltaje la actividad se encontrará en las áreas fuera del área temporal y su ritmo se caracteriza por ser lentos y con poco orden.

4.19. Actividad de descarga eléctrica

En un electroencefalograma donde se observa un complejo de tipo paroxístico (fig. 5.7) y sus intervalos son fijos, se encuentra que las subdivisiones y las ondas se caracterizan por su morfología y su intervalo entre los períodos. Se cree que los diferentes tipos de patrones periódicos generalizados no se pueden describir de una sola manera, por lo que diferentes investigadores los clasificaron por separado;

1. La generación de descargas periódicas se deriva de lesiones en la sustancia blanca, las cuales desconectan las conexiones entre la corteza y sus subcorticales, por lo tanto se cree que los cambios rítmicos intrínsecos de la excitabilidad cortical están relacionados con la periodicidad.
2. La periodicidad se deba a la falta de mielina, la cual se encarga de aislar a la sustancia blanca de su medio, provocando paroxismos a consecuencia del escape de las cargas eléctricas.

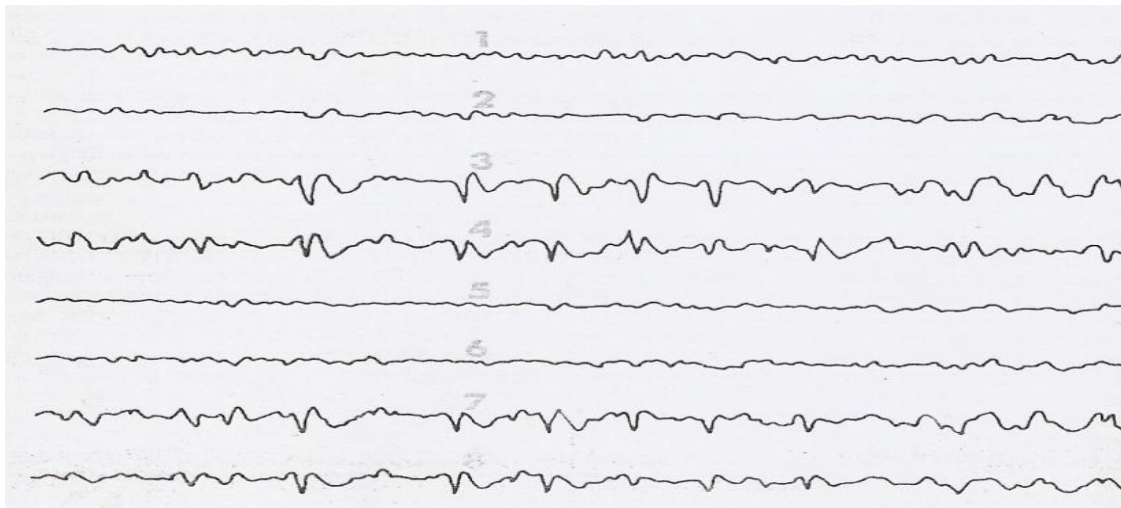


Fig. 4.25. Representación de actividad de descarga periódica.

4.20. Ondas agudas repetitivas focales transitorias.

Existen tres tipos de descargas focales periódicas: brotes de supresión focal, complejos periódicos y descargas eléctricas parciales, lateralizadas (PLEDS). Los PLEDS se han observado casi exclusivamente en casos de lesiones destructivas que incluyen el hemisferio cerebral ipsilateral. El factor etiológico más frecuente es el infarto cerebral agudo. Otras lesiones patológicas que afectan con severidad un hemisferio como neoplasia, infecciones especialmente en la encefalitis hemorrágica necrotizante por herpes, virus y trauma, y también puede producir PLEDS. Existe una alta correlación de PLEDS con crisis motoras parciales, repetidas en el hemicuerpo opuesto al patrón electroencefalográficos. Una lesión cerebral aguda es la que causa este cuadro clínico. Las lesiones cerebrales destructivas crónicas pueden producir también PLPEDS, especialmente cuando se asocian a factores precipitantes, como abstinencia de alcohol, desbalance electrolítico y fiebre aguda.

En los EEG existen ondas de forma epileptiforme pero no necesariamente son de naturaleza epiléptica, entre las cuales se encuentran:

- a) Patrones rítmicos alfa-beta.
- b) Variantes normales durante el estado de sueño y vigilia.
- c) Variantes epileptiformes benignas.
- d) Varios tipos de artefactos que pueden simular actividad epileptiforme.

La importancia de saber interpretar el EEG es el poder asociar este tipo de ondas como composiciones mismas del EEG y no de tipo convulsivo.

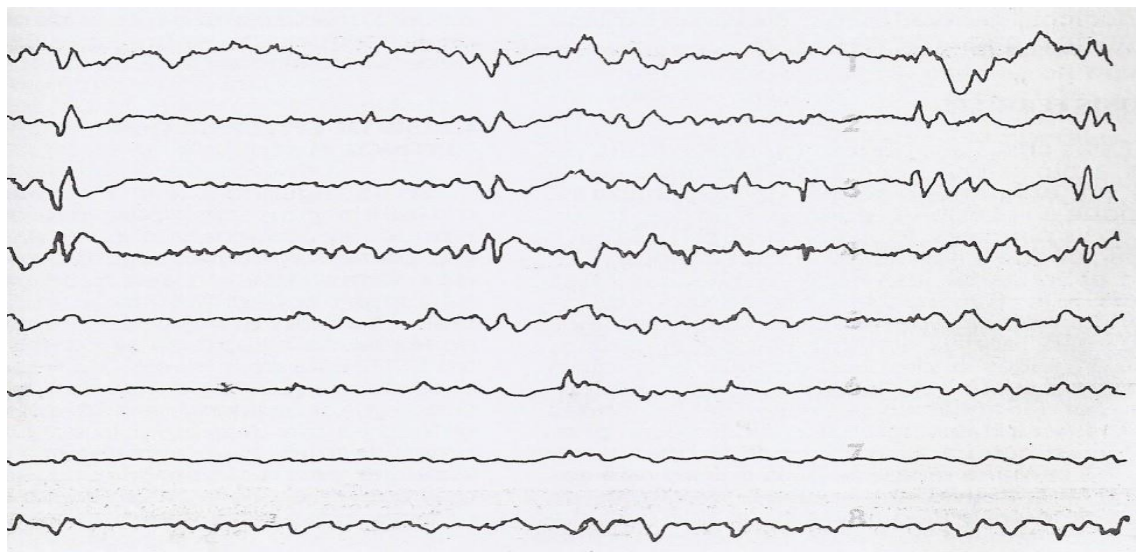


Fig. 4.26. Representación electroencefalográfica de ondas agudas repetitivas focales transitorias.

4.21. Patrones rítmicos alfa-beta

Este patrón presenta un conjunto de ondas teta con un rango de 5 a 7 Hz con vértices aplanados. Se encuentran localizados encima de la región temporal, manifestándose principalmente en jóvenes y adultos. Este patrón es consecuencia de una combinación de frecuencias entre el límite del ritmo alfa y teta y se manifiesta en ausencia de sueño o cuando el individuo se encuentra en un estado de relajación.

Sin embargo este tipo de patrón tiene una variante de tipo alfa, la cual consiste en ritmos localizados sobre la región posterior de la cabeza y consta de ciertas características con el estado alfa como la coordinación, distribución y reactividad. Por otro lado en el adulto se observa que el ritmo teta ocurre en reposo o durante la abstinencia del sueño. En la mayor parte del tiempo se manifiesta durante la hiperventilación, esto se debe a los componentes rítmicos asociados con el ritmo teta en un intervalo de 5 a 7 Hz, localizadas en la región parietal posterior y temporal, su distribución es de modo difuso con una amplitud máxima, a veces se puede dar de forma asimétrica o focal.

4.22. Variantes epileptiformes benignas

Este tipo de variante se localiza en niños con problemas orgánicos, con un ritmo armónico, el cual se localiza en la etapa de sueño del niño. Las ondas son de manera “mellada” y se da en un rango de 7 a 14 Hz en un lapso de 20 segundos o más. Sin embargo dentro de estas variantes se ha encontrado que hay actividad epileptiforme, la cual se presenta durante la vigilia y el sueño.

En el estado de vigilia se puede confundir en ocasiones con variantes en el EEG epileptiforme por defectos óseos, hiperventilación y algunas manifestaciones de las ondas lambda presentes en la niñez así como también repuestas fóticas y fotomiogénicas.

4.23. Ondas lentas lambda de la niñez

Como lo dice el nombre este tipo de ondas se da en la niñez, son de tipo transitoria, amplia y difásica haciendo esta característica única a esta onda y la podemos encontrar en la zona occipital de la cabeza. Se ha encontrado una duración de 200 a 400 seg. cuando hay un parpadeo constante o movimiento ocular. Generalmente se da desde los 6 meses hasta los 10 años.

4.24. Hiperventilación

En esta variante del EEG es conveniente estudiar a fondo la interpretación de las ondas que se asemejan al patrón espiga-onda, ya que su comportamiento parece no ser tan normal y se da frecuentemente en niños. Por este motivo es importante no considerar este tipo de onda como una prueba de un daño.

4.25. Respuestas Fotomiogénicas

Una característica distinguible es la respuesta Fotomiogénica. Esta radica en que no es cerebral refiriéndose a que sus espigas musculares son breves, y se

registran en la parte frontal, estando asociados a movimientos oculares. Una forma de controlarla es en cerrar los ojos.

Es importante distinguir señales u ondas de forma epileptiforme de las registradas por diversos factores, que pueden imitar actividad en las descargas del cerebro; por citar algunos encontramos artefactos conformados por electrodos, modificadores de pulso cardiaco, generadores de movimientos ajenos como temblores y algunos aparatos que generen corriente electrostática.

4.26. Variantes epileptiformes benignas

Este tipo de onda es registrada en las regiones temporales, con una frecuencia de 6 a 14 Hz cuando el paciente se encuentra durmiendo. La estructura de punta aguda pequeña, en la mayoría de los casos presentan bajo voltaje y su duración es mínima. Una característica singular de este tipo de onda es la facilidad y rapidez que tienen para aumentar y disminuir su voltaje con rapidez. Se encuentran principalmente en las regiones temporales de comportamiento bilateral ubicado en ambos hemisferios. Para poder discriminar las puntas agudas con las puntas patológicas, el análisis se basa en observar el tamaño y la forma de la onda, en duración y amplitud.

Otro tipo de onda que se debe considerar es una punta onda de 6 Hz y se localiza en las zonas anteriores y posteriores del cerebro, su duración es de 30 milisegundos. Por esa razón la denominaron como puntas fantasmas y están asociadas con el comportamiento de la descarga que en este caso es difuso, sincrónico y bilateral. Sin embargo existe un inconveniente para la lectura de esta onda, correspondiente a la asociación que tiene con otro tipo de onda que pueden existir en el mismo instante en el individuo y aparecen en el momento que el paciente se encuentra despierto o no puede conciliar el sueño, mientras que cuando se encuentra en un sueño profundo esta onda desaparece.

4.27. Ondas agudas del Vertex

Es fácil poder distinguir este tipo de onda, por su oposición de fases cuando se registran en las derivaciones transversales y se caracterizan por ser de alto

voltaje. Se manifiestan en niños en la fase temprana de sueño, por esta razón se confunden con actividad epileptiforme anormal.

4.28. Complejos K

Gracias a sus características como sus brotes agudos, aislados de gran voltaje, bihemisféricos y sincrónicos, se observan como un tipo de respuesta no muy específica a estímulos sonoros somato sensoriales hasta visuales.⁶⁸

4.29. Ondas agudas transitorias multifocales de la infancia.

El carácter de estas ondas es un poco difuso ya que se denotan en diversos sitios del cerebro. Se presentan más en bebés prematuros y recién nacidos y se presenta durante un sueño placentero.

V. APLICACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO

La ciencia del magnetismo tuvo su origen en la antigüedad, desarrollada a partir del estudio de la observación de pequeños trozos de magnetita (óxido de hierro), en donde se observó que la magnetita atraía pequeños fragmentos de hierro, nombrando a esta fuerza de atracción “magnetismo” por cierta región de Asia menor (la ciudad de Magnesia), lugar en donde se encontraron estas piedras y a dicho dispositivo que ejerce esta fuerza se le denominó como imán.

Al igual que en la antigüedad todavía se ocupan pequeños trozos de hierro para revelar la presencia de los efectos del magnetismo. Una de los primeros experimentos que se realizaron fue introducir un pequeño imán de barra en un recipiente con limaduras de hierro, observando que la mayoría de las limaduras se adherían en los extremos de dicha barra, señalando así a estos extremos como polos magnéticos.

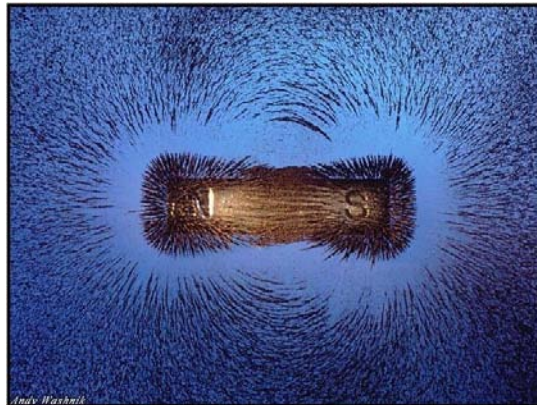


Figura5. 1. Efectos del magnetismo.

Continuando con estos estudios de materiales magnéticos se pudo constatar que al sostener una barra magnética de forma vertical esta siempre tomaba una determinada orientación (orientación Norte-Sur), siendo así que la punta que toma la orientación al norte se le dio el nombre de polo norte del imán y al opuesto polo sur, al igual que observaron que los polos norte y sur de un imán son distintos, y por ende no existe repulsión entre ellos, estableciendo así la **ley de las fuerzas magnéticas** :⁷⁰

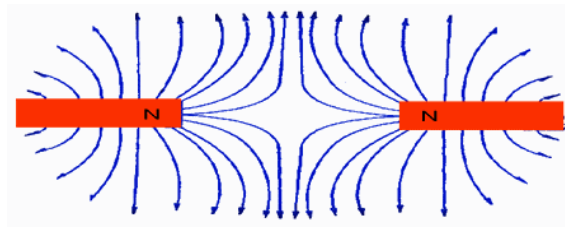


Fig. 5.2 .Polos magnéticos de igual naturaleza se repelen y los de diferente naturaleza se atraen. Repulsión de polos iguales.

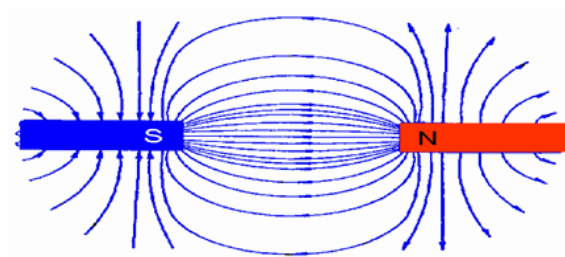


Figura 5.3. Atracción de polos diferentes.

Otro de los descubrimientos que se constataron por medio de los estudios de la magnetita o imanes como se conocen en la actualidad fue que todo imán está rodeado por un espacio en el cual sus efectos magnéticos están presentes. A tales regiones se les denomina ***campo magnético***. Al igual que las líneas del campo eléctrico fueron útiles para describir el campo eléctrico, las líneas del campo magnético o ***líneas de flujo*** resultan útiles para visualizar el campo magnético fig. 4.

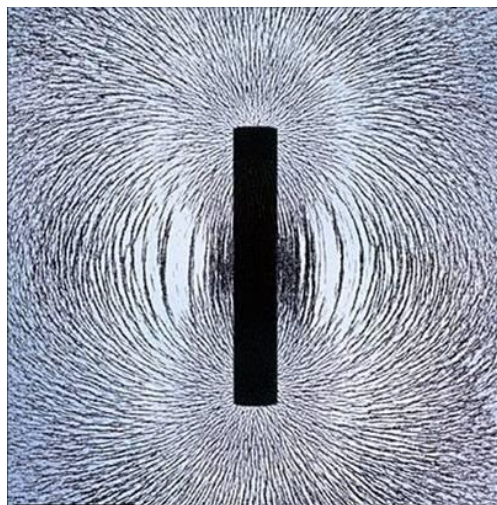


Figura 5.4. Líneas de flujo en un campo magnético

Las líneas de flujo magnético salen del polo norte del imán y entran en el polo sur. A diferencia que las líneas del campo eléctrico, las líneas del flujo del campo magnético no tienen un punto de origen ni extremo. Forman circuitos continuos que pasan a través de la barra metálica.

Por lo común se cree que el magnetismo de la materia es el resultado del movimiento de los electrones en los átomos de las sustancias. Si esto es cierto el magnetismo es una propiedad de la carga en movimiento y está estrechamente relacionado con fenómenos eléctricos. De acuerdo con la teoría clásica, los átomos individuales de una sustancia magnética son, de hecho pequeños imanes con polos (positivos y negativos), obteniéndose así que la polaridad de los átomos se basa principalmente en el spin de los electrones y se debe solo parcialmente a su movimiento orbital alrededor del núcleo.

Teniendo así que los átomos de una materia magnética se agrupan en regiones designados **dominios**, en un material no magnetizado los átomos están orientados en direcciones al azar.

Esta teoría del magnetismo es muy útil para realizar la explicación de diversos fenómenos magnéticos observados. Como ejemplo una barra de hierro no magnetizada puede transformarse en un imán simplemente sosteniéndolo cerca de otro imán, lo cual es conocido como una **inducción magnética**, teniendo así una explicación con la teoría de los dominios ya que el imán provoca sobre la barra de hierro no magnetizada una polarización a lo largo de su campo cristalino, de una manera momentánea; siendo que al retirar paulatinamente los dominios se vuelve a desordenar el campo cristalino, pero si los dominios permanecen alineados en cierto grado, después de retirar los dominios (imán), se dice que ha sido magnetizado permanentemente.

Otra de las propiedades que se pueden explicar fácilmente por la teoría de los dominios es la **sustracción magnética**, teniendo así que toda materia tiene un grado máximo de magnetización y una vez alcanzado este límite ningún campo externo de mayor intensidad puede incrementar su magnetización y se considera que todos los dominios han sido alineados.

Hoy en día se le ha dado a este descubrimiento un gran uso práctico, desde los pequeños imanes de refrigerador, las cintas magnéticas para grabar,

los discos de computadoras, hasta la magnetoterapia en la recuperación en fracturas óseas.

En la actualidad el campo magnético es un agente más aplicado en el campo terapéutico y complemento de las terapias existentes. Nos permite influir en el proceso evolutivo de una enfermedad, a veces antes de que ésta se manifieste. En el laboratorio de dinámica no lineal de series de tiempo electrofisiológicas en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM se vienen desarrollando patrones de reconocimiento visual que permiten observar el desarrollo de ciertas alteraciones antes y después de la aplicación del campo magnético en: el musculo, cerebro, sistema óseo, traumatismos musculares, cráneo, y a nivel celular.

La magnetoterapia se considera un agente físico atérmico por lo que sus efectos biológicos no dependen del aumento de temperatura como en otros agentes, observándose resultados característicos a diferentes niveles, que se amplifican y que tienen un efecto sistémico. De este modo está indicado en etapas muy agudas del proceso patológico. Por esto mismo no está contraindicado en caso de presencia de materiales de osteosíntesis de prótesis articulares o de fijadores externos. Tiene una gran capacidad de penetración y un efecto relevante en el estímulo trófico del hueso y del colágeno, efecto que está vinculado a la producción local de micro corrientes acelerando la osteogénesis. También un significativo efecto a nivel circulatorio, antiinflamatorio, analgésico y estimulante de los mecanismos de inmunidad. El rol fundamental de los fenómenos piezoeléctricos o en este caso llamados magnetostricción con su efecto mecánico de empaquetamiento de la fibra colágena, con el estímulo de la génesis de los fibroblastos y osteoblastos, con la producción de micro corriente inducida a nivel de la matriz ósea, es vital.⁷²

En el tratamiento de la fractura ósea (traumatismo cráneo encefálico), desde el más antiguo y efectivo de los métodos hasta el más novedoso y menos divulgado todos tienen un período de recuperación, de limitación y de invalidez que supera con creces no sólo el deseo del paciente sino el deseo de cada profesional a cargo del caso.

Basados en toda esta experiencia acumulada, atendiendo a la significativa incidencia que tienen las fracturas y secuelas en las consultas de rehabilitación de la atención primaria y debido a la nueva posibilidad de contar con equipos de campo magnético de baja frecuencia en la comunidad, se ha analizado por dinámica no lineal el tratamiento de la fractura ósea, traumatismo craneal, entre otras, dentro del marco de un programa de rehabilitación.

En la antigüedad se realizaban curaciones por diversos métodos en los cuales se atribuían grandes atributos a la curación con la energía magnética. Es importante hacer una escala en este punto para explicar que no todo aquello que irradie energía o en su defecto forme un campo magnético, pueda usarse como un control de enfermedades, ya que al analizarse la influencia de los campos electromagnéticos emitidos por aparatos electrónicos como los microondas, emisión del radio y televisión y a los campos asociados a los imanes permanentes, se encontró que los campos magnéticos variables en el tiempo siempre están asociados con un campo eléctrico, el cual también es variable.

La interacción entre estos dos campos promueve una onda electromagnética, la cual tiene la particularidad de propagarse y transportar energía en una dirección determinada (radiación electromagnética) la cual causa daños severos y hasta en ocasiones irreversibles.

La radiación electromagnética se caracteriza por una serie de parámetros como su amplitud (una medida de la intensidad) y su frecuencia. Esta última puede definirse como el número de veces por segundo que oscilan o cambian de dirección los campos eléctrico y magnético que forman la onda. La frecuencia está asociada a la energía que la onda es capaz de transportar y entregar al interactuar con la sustancia. La luz ordinaria también posee propiedades de onda electromagnética, y se diferencia de las ondas de radio únicamente en su mayor frecuencia.

5.1. Campos magnéticos de alta frecuencia

La eficacia de la aplicación terapéutica de campo magnético viene dada por su capacidad de penetración en los tejidos vivos. Los metales reflejan la radiación electromagnética de igual forma que la luz se refleja en un espejo. Pero el resto de las sustancias dejan pasar la radiación magnética o la absorben en mayor o menor grado. La capacidad de absorción varía con la frecuencia, y existen diferencias esenciales cuando se aplica al cuerpo humano radiación de alta o de baja frecuencia.

El principal efecto de la radiación de alta frecuencia en los tejidos es la generación de calor. Se utiliza ampliamente para tratar el dolor y la inflamación mediante calentamiento interno, irradiando la zona afectada con ondas electromagnéticas de frecuencia de varios megahertz. La generación de calor se obtiene al menos por dos diferentes mecanismos;

1) mediante la aparición de pequeñas corrientes eléctricas en los tejidos, producidas por los campos eléctricos alternos. Las corrientes producen calor de forma similar a como se calienta un alambre de resistencia cuando pasa la corriente eléctrica;

2) el calor también se puede originar mediante la denominada interacción dipolar con las moléculas del agua y otras sustancias contenidas en los tejidos, elevando su temperatura en forma parecida a como ocurre en un horno de microondas. Estos procesos son muy selectivos; ocurren con mayor intensidad a determinadas frecuencias y a otras prácticamente no tienen lugar.

5.2. Campos magnéticos de baja frecuencia

En la literatura médica se denominan campos de baja frecuencia aquellos que van de 20 a 100 Hertz y prácticamente no generan calor al ser aplicados en los tejidos. A causa de su más fácil construcción, los equipos que generan estos campos usualmente funcionan a la frecuencia de la red comercial (60 Hz).⁷³

También es posible encontrar campos pulsantes, de frecuencia algo mayor, pero que se aplican por impulsos de corta duración para dar tiempo a dispersar lo más posible el calor generado.

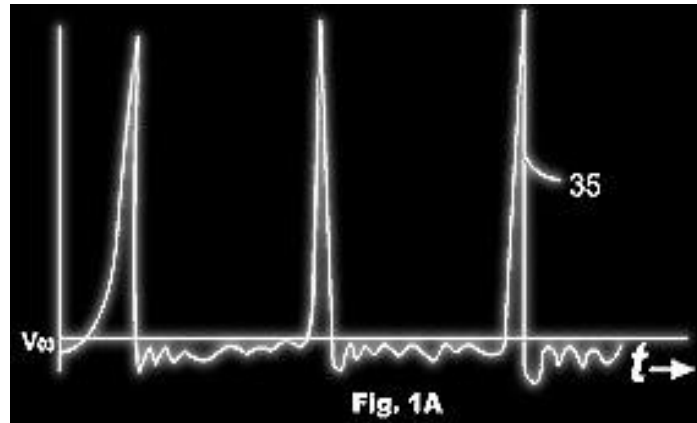


Fig. 5.5. Representación gráfica del campo magnético.

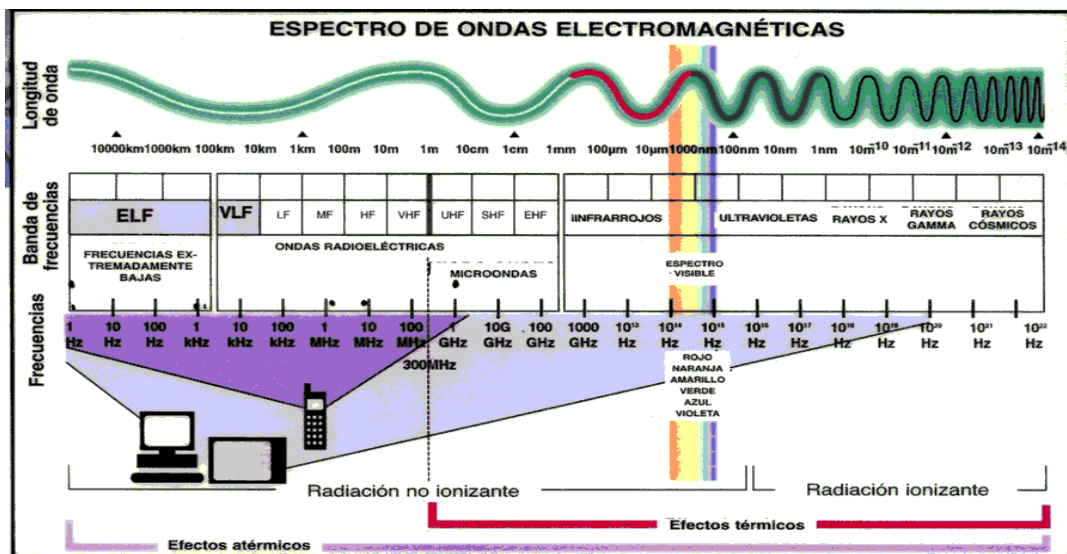


Fig. 5.6. Representación gráfica del espectro de potencia, el cual representa diversas frecuencias y su tipo de onda.

Nombre	Abreviatura inglesa	Banda ITU	Frecuencias	Longitud de onda
			< 3 Hz	> 100.000 km
Extra baja frecuencia Extremely low frequency	ELF	1	3-30 Hz	100.000–10.000 km
Super baja frecuencia Super low frequency	SLF	2	30-300 Hz	10.000–1.000 km
Ultra baja frecuencia Ultra low frequency	ULF	3	300–3.000 Hz	1.000–100 km
Muy baja frecuencia Very low frequency	VLF	4	3–30 kHz	100–10 km
Baja frecuencia Low frequency	LF	5	30–300 kHz	10–1 km
Media frecuencia Medium frequency	MF	6	300–3.000 kHz	1 km – 100 m
Alta frecuencia High frequency	HF	7	3–30 MHz	100–10 m
Muy alta frecuencia Very high frequency	VHF	8	30–300 MHz	10–1 m
Ultra alta frecuencia Ultra high frequency	UHF	9	300–3.000 MHz	1 m – 100 mm
Super alta frecuencia Super high frequency	SHF	10	3-30 GHz	100–10 mm
Extra alta frecuencia Extremely high frequency	EHF	11	30-300 GHz	10–1 mm
			> 300 GHz	< 1 mm

Tabla. 5.1. Representación del espectro de potencia así como su frecuencia y su longitud de onda.

VI. PARTE EXPERIMENTAL

6.1 Objetivo general

Registrar y procesar el comportamiento de las series de tiempo de un sistema electroencefalografico dinámico complejo, mediante la terapia de campo magnético, aplicando técnicas de la dinámica no lineal: teoría del caos y geometría fractal para, visualizar y analizar el comportamiento del daño cerebral.

6.1.1 Objetivos particulares

Obtener los datos experimentales de las derivaciones 2,3 y 4 del cerebro que presentan alteración antes y después de la estimulación del campo magnético de baja frecuencia.

Digitalizar los datos experimentales.

Obtención y procesamiento de las series de tiempo del cerebro.

DATOS EXPERIMENTALES DE PACIENTE CON ALTERACIÓN NEUROLÓGICA							
9.18E-05	-0.00009172	0.00015539	0.0002115	-0.0009091	-0.00027682	0.00013658	0.00016102
9.54E-05	0.00027052	0.00031059	0.0002056	-0.0009091	-0.00032393	0.00015825	0.0001851
0.000108	0.00032576	0.00035559	0.0001892	-0.0009091	0.00006004	0.00018236	0.00018741
0.0001211	0.00023315	0.00039692	0.0001764	-0.0009091	0.00030762	0.00020563	0.00037334
0.000137	0.00010773	0.00039124	0.0001695	-0.0009091	0.00038042	0.0002187	0.00002805
0.0001614	0.00000713	0.00036316	0.0001493	-0.0009091	0.00034146	0.00022403	0.00022511
0.0001711	-0.00004544	0.00030642	-0.000361	-0.0005469	0.0002824	0.00021321	0.00028847
0.0001778	-0.00006778	0.00024614	-0.000461	0.00007779	0.00021923	0.00020045	0.00061368
0.0001801	-0.00005393	0.00017037	-0.000146	0.00028134	0.00015925	0.00018066	-0.0008455
0.0001839	-0.00000241	-0.00073556	0.0001169	0.00023518	-0.00065746	0.00017001	0.00025754
0.0001748	0.00006708	-0.00090762	0.0002102	0.00013125	-0.00078955	0.00016424	0.00009929
-0.000645	0.00014454	-0.00090909	0.0002117	0.00005601	-0.00028373	-0.0001752	0.00018058
-0.000798	0.00023249	-0.0000121	0.0001723	0.00000802	0.00007629	-0.00039637	0.00013073

Tabla. 6.1. Series de tiempo de datos experimentales de paciente aparentemente normal.

Analizar e interpretar el diagrama espacio fase, y sus parámetros cuantitativos, para determinar el comportamiento de las variables que expresan la presencia de daño “síndrome al ruido”.

Resaltar la importancia que tiene en la actualidad la Dinámica no Lineal, en el análisis del comportamiento de sistemas biológicos y fortalecer el vínculo con el área de la salud.

6.2. Equipo y software

✧ Material Biológico (paciente con manifestación de problema neuronal sintomatología epilepsia y paciente con nula manifestación de problema neuronal sintomatología epilepsia).

✧ Equipo digitalizador de Electroencefalograma (EEG).

✧ Equipo de Cómputo.

✧ Programas Computacionales (Excel; Mathlab, CDA, Word pad).

6.3 Método

6.3.1 Obtención de datos

El estudio se realiza en un paciente masculino de 15 años de edad, cuando manifiesta problemas neuronales, que clínicamente diagnosticado como sintomatología de epilepsia. Sin embargo al comparar los diagramas espacio fase con resultados con personas con epilepsia, se encontró que la estructura y comportamiento de éste divergen del comportamiento epiléptico. Causa por la cual nace este trabajo de investigación, para analizar de manera más profunda y encontrar la causa de la diferencia en la estructura y/o comportamiento de los diagramas espacio fase, mejor conocidos como atractor extraño; ya que el laboratorio de dinámica no lineal de series de tiempo electrofisiológicas de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM a través del análisis de los datos experimentales de otras patologías, se ha observado que cada patología impone su propia estructura característica en el diagrama espacio fase.

6.3.2. Procedimiento experimental

- ☆ Dejar en vigilia (mínimo 24 horas sin dormir) al paciente.
- ☆ Registro de datos en las siguientes etapas; sueño, hiperventilación y ojos abiertos.
- ☆ Colocar los electrodos en el cráneo del paciente de modo que compatibilicen con las zonas de transmisión de las señales derivación 2,3 y 4.
- ☆ Realizar corridas con el EEG (mínimo 7) por análisis.
- ☆ Cuantificar y codificar las señales de tiempo: Espacio Fase, exponente de Hurts, Exponente de Lyapunov, frecuencia dominante, probabilidad de distribución, etc.) aplicando técnicas de la dinámica no lineal.

6.3.3. Obtención numérica de datos experimentales

Digitalizar los datos experimentales en un paciente de 15 años con problemas de síndrome al ruido, antes y después de la estimulación, con campo magnético de baja frecuencia.

Cada derivación tiene una duración de 1 minuto, se realiza el registro 7 veces por cada derivada.

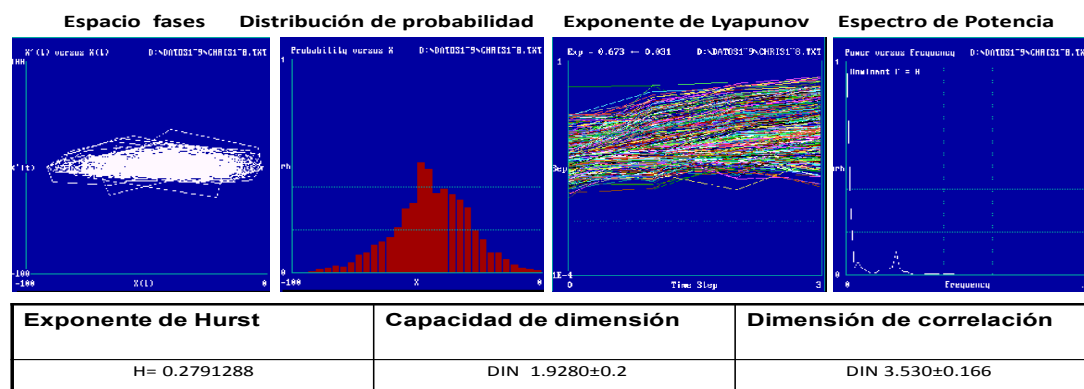
- Obtención y procesamiento de las series de tiempo electroencefalográficas.
- Registro y obtención de resultados.
- Análisis e Interpretación de resultados: Diagramas espacio-fase, exponente de Hurts, Exponente de Lyapunov, frecuencia dominante, probabilidad de distribución.
- Conclusiones y proyecciones.
- Referencias.

VII. RESULTADOS

ETAPA DE SUEÑO

ANTES DE LA ESTIMULACIÓN DERIVADA 2

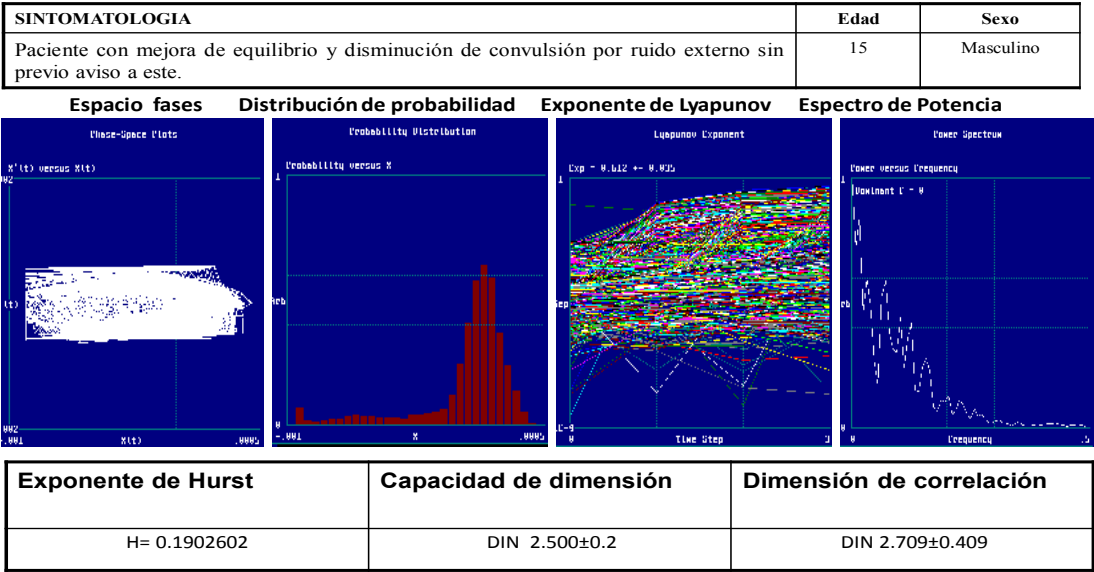
SINTOMATOLOGIA	Edad	Sexo
Presencia de convulsión al mínimo ruido extraño, desequilibrio corporal e inseguridad.	15	Masculino



Etapa: Sueño El daño causado por la presencia de convulsiones, se observa el daño en la derivación del lenguaje., como se exhibe en el diagrama espacio fase y parámetros que avalan su comportamiento.

Esta derivación confirma la alteración del desequilibrio, que va relacionado con óptimo funcionamiento del oído, el atractor manifiesta un comportamiento ligeramente caótico, soportado por los valores numéricos del exponente de Lyapunov y exponente de Hurst. Sin embargo los parámetro cuantitativo de distribución de probabilidad, espectro de potencia, capacidad de dimensión y dimensión de correlación, demuestran la presencia de comportamiento periódico, considerando que todo ser humano responde a cualquier estímulo lo que implica que el comportamiento del equilibrio debe ser altamente caótico y no presentar una tendencia al 50%, como se detecta en estos resultados. El resultado caótico es reflejo del esfuerzo que realiza el paciente por mantener su equilibrio.

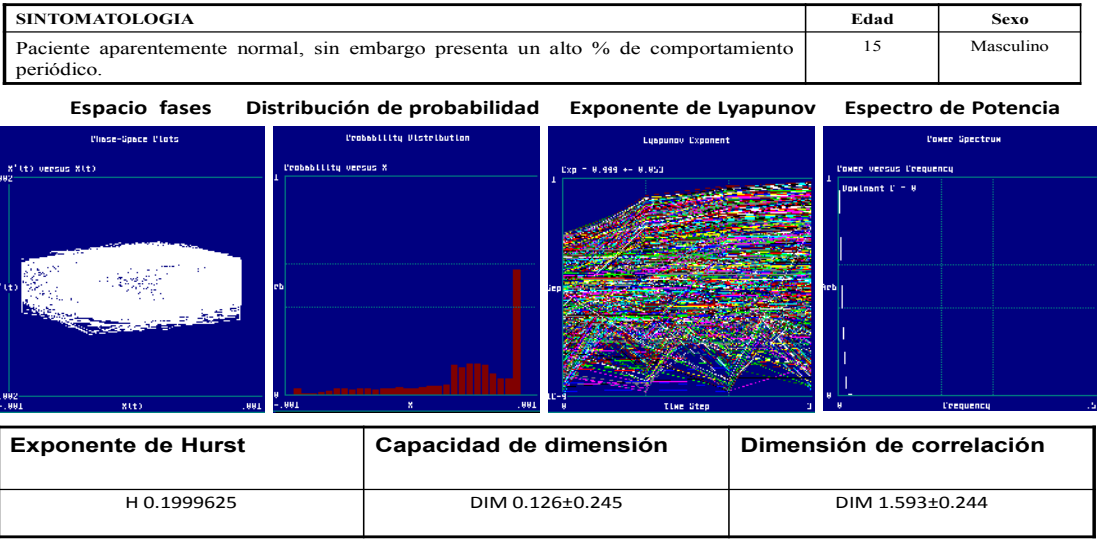
DESPUÉS DE LA ESTIMULACIÓN



Etapa: Sueño. Comprobándose en la estructura del diagrama espacio fase, así como en distribución de probabilidad, sin embargo el valor del exponente de Hurst y de Lyapunov confirman la presencia de comportamiento caótico pero en menor porcentaje.

El diagrama espacio fase presenta un cambio ligero, pero y con apariencia periódica, sin embargo el exponente de Lyapunov, la capacidad de dimensión, dimensión de correlación confirman la presencia de mayor complejidad a diferencia del exponente de Hurst que indica un comportamiento periódico, Es importante mencionar que en todo sistema complejo se tienen ambos comportamientos aleatorio y periódico, pero en mayor porcentaje es el caótico, esto confirma el efecto positivo del campo magnético en el equilibrio del paciente que físicamente se observa un cambio (Mejor modo de caminar y expresarse).

COMPARATIVO



Etapas: Sueño Reflejándose de forma directa en los cambios de conducta y alejamiento de convulsiones.

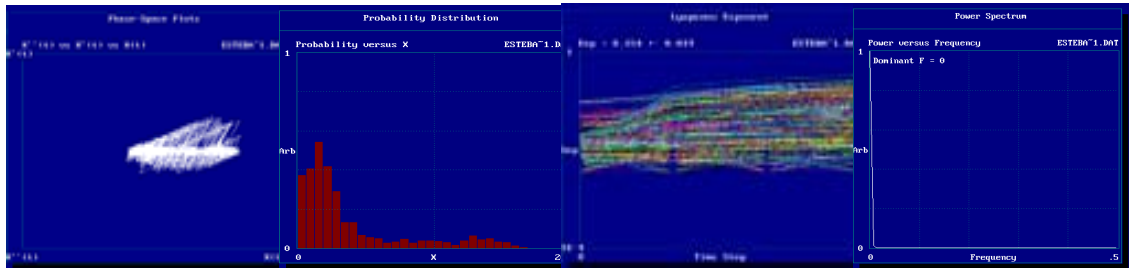
En el estudio comparativo se confirma la presencia del problema emocional, existe la hibridación de comportamientos pero en menor porcentaje el aleatorio. Al ser analizado tiende a perder la ubicación de lo que realiza, y se queja de tener más trabajo por lo que se duplica sus actividades.

ANTES DE LA ESTIMULACIÓN

DERIVADA 3

SINTOMATOLOGIA	Edad	Sexo
Desequilibrio corporal, baja autoestima e inseguridad .	15	Masculino

Espacio fases Distribución de probabilidad Exponente de Lyapunov Poder de espectro



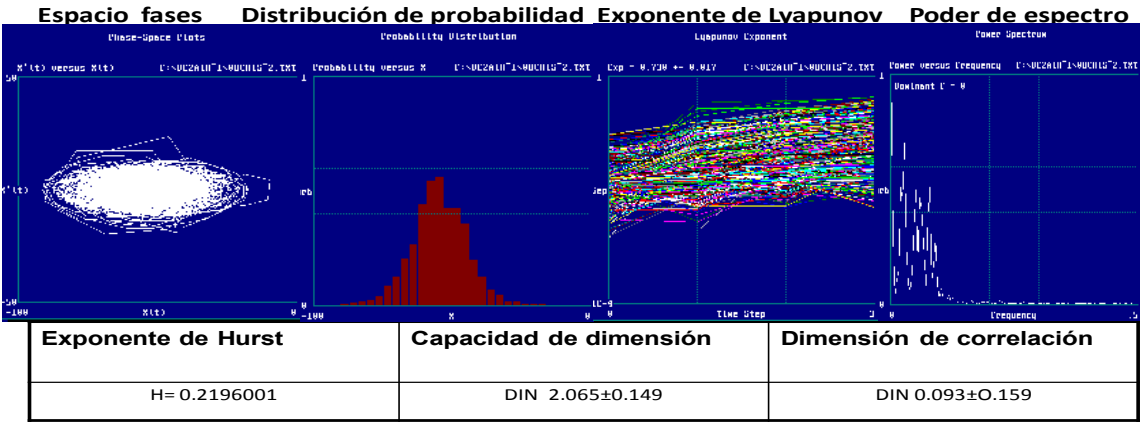
Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H 0.2267933	DIN 1.716±0.191	DIN 3.793±0.158

ETAPA: SUEÑO. Se observa alteración en el espacio fase así como un desequilibrio en el diagrama de distribución de probabilidad. Indica presencia de convulsiones.

Se observa que la forma del diagrama espacio-fase tiene un comportamiento periódico, sin embargo en el parámetro cuantitativo de distribución de probabilidad exhibe un comportamiento caótico. El espectro de potencia indica presencia de un comportamiento no lineal. Estos datos fortalecen el comportamiento del paciente el cual presenta deficiencia en su equilibrio al estar en movimiento (caminar, subir y bajar escaleras entre otros). El valor numérico del exponente Hurst confirma el comportamiento periódico, mientras que la dimensión de correlación nos aporta la complejidad del sistema.

DESPUÉS DE LA ESTIMULACIÓN

SINTOMATOLOGIA	Edad	Sexo
Disminución de convulsiones por ruido externo y mayor equilibrio corporal.	15	Masculino



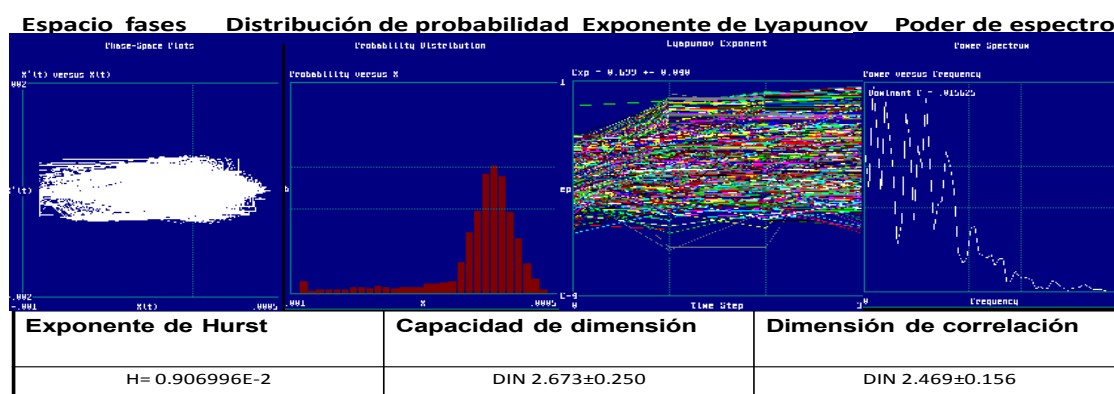
ESTAPA: SUEÑO. Se observa comportamiento caótico en el diagrama de espacio fase y mayor equilibrio en la distribución de probabilidad.

El comportamiento del diagrama espacio fase pasó de un comportamiento poco caótico a un comportamiento de mayor caoticidad. Observando mejora en el equilibrio y sistema motriz. La distribución de probabilidad tiene un comportamiento en forma campana de gauss denota una distribución de variable discreta siendo estos valores positivos e finitos.

El exponente de Hurts aun señala un comportamiento periódico así como la capacidad de dimensión y la dimensión de correlación establece la periodicidad del sistema, sin embargo en el paciente mejora en el sistema motriz, mayor factibilidad del lenguaje, el andar es más seguro buscando mayor interacción con persona lo cual no se llevaba a cabo con anterioridad.

COMPARATIVO

SINTOMATOLOGIA	Edad	Sexo
Presencia de inestabilidad emocional y bajo autoestima.	15	Masculino

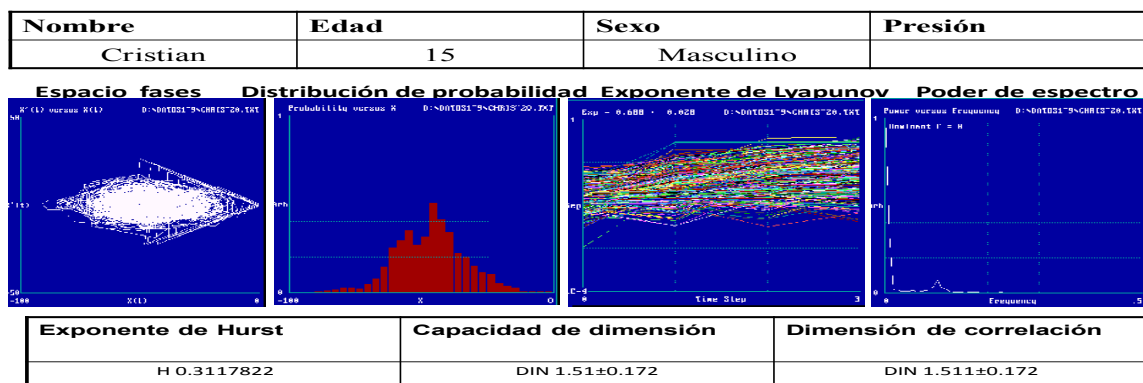


ESTAPA: SUEÑO. Se observa un desequilibrio en el espacio fase resaltándolo en el diagrama de distribución. Se obtiene una correlación negativa.

En el estudio comparativo de paciente con características “normales” se observa comportamiento cuasi periódico en el diagrama de espacio fase confirmando este comportamiento el diagrama de distribución de probabilidad.

DERIVADA 4

ANTES DE LA ESTIMULACIÓN

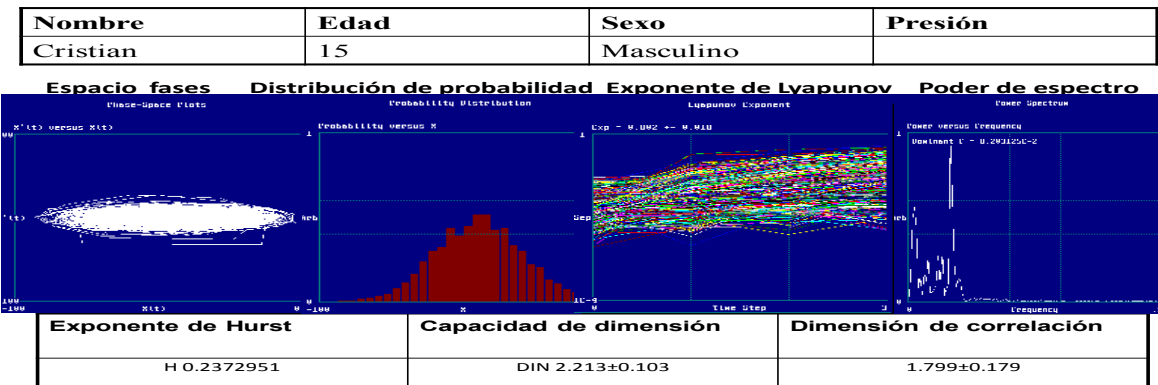


Etapas: Sueño (135-139DER4)

Obsérvese que el diagrama espacio fase es diferente con respecto al descrito en la derivada 3. Aparentemente estas 2 derivadas están muy relacionadas, sin embargo el equilibrio se relaciona con el movimiento torpe del sistema motriz, reflejándose en la estructura del atractor extraño, así como sus parámetros que soportan su comportamiento. La distribución de probabilidad presenta un comportamiento con cierta caoticidad pero con mayor grado de periodicidad.

Esto mismo se manifiesta en el exponente de Lyapunov cuyo valor avala el comportamiento dinámico y valor finito. Sin embargo el valor del exponente de Hurts confirma la periodicidad sin embargo tiende a hacer más caótico. La estructura del espectro de potencia confirma el comportamiento periódico.

DESPUÉS DE LA ESTIMULACIÓN



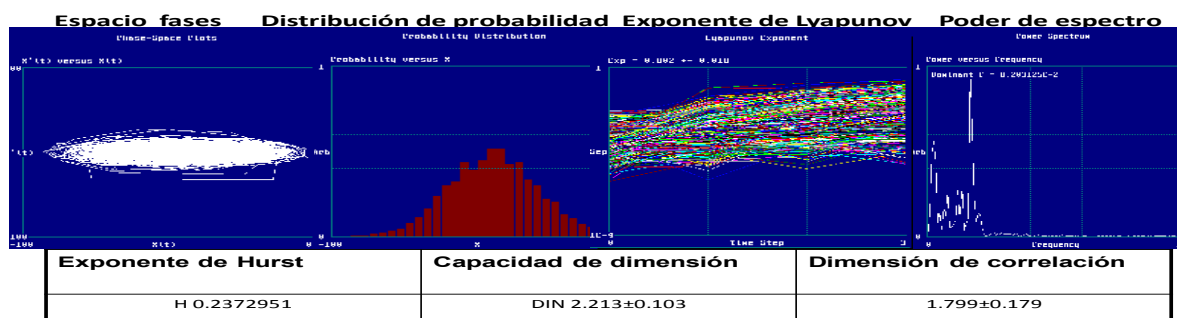
Etapas: Sueño (DER4)

La forma del diagrama de espacio fase después de recibir la estimulación del campo magnético, se observa un comportamiento diferente confirmando con la distribución de probabilidad, indicando caoticidad con tendencia a la aleatoridad. Sin embargo manifestándose en el valor de Hurst, que existe un comportamiento periódico observándose mayor equilibrio reflejándose en el comportamiento físico del paciente.

El exponente de Lyapunov, confirma la tendencia a la aleatoridad; esto es el paciente tiende a realizar movimientos aleatorios ampliando su equilibrio. Así mismo se observa que la capacidad de dimensión se incrementa, pero a su vez es menor que la dimensión de correlación hay mejora en el paciente.

COMPARATIVO

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Etapas: Sueño (DER4)

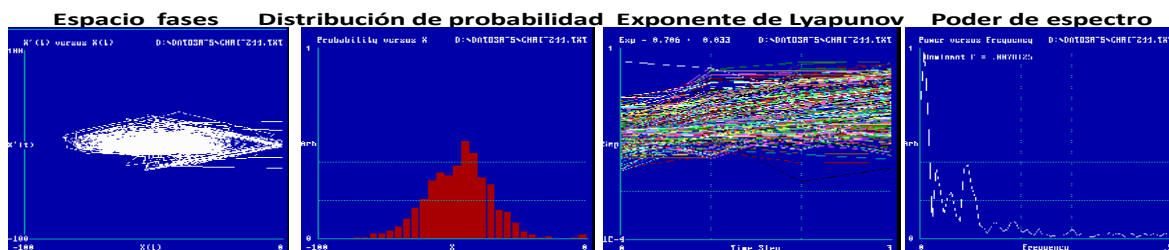
Con la finalidad de confirmar el efecto del campo magnético en el “Síndrome al Ruido”, se realizó un estudio comparativo con un paciente del mismo sexo, edad y “cotidianidad”, que clínicamente estaba diagnosticado como epilepsia, aparentemente los datos electroencefalográficos son semejantes a epilepsia. Sin embargo el laboratorio de Dinámica no Lineal observo que los atractores extraños de epilepsia, divergía con respecto a los atractores extraños del paciente, obteniéndose resultados positivos con estimulación del campo magnético de aquí la importancia del estudio en el método comparativo. El atractor extraño manifiesta un comportamiento con aumento en la aleatoriedad, indicando que el paciente que recibió campo magnético, su atractor extraño también sugiere presencia de aleatoriedad. Sin embargo se observa incremento en la densidad en el atractor comparativo, a causa del tiempo de repuesta en el sujeto de estudio, esto confirmando el valor del exponente de Lyapunov donde las trayectorias infinitesimales son más espaciadas y por ende adquiere un mayor valor. Así mismo el valor, ya que se trata de la mezcla de dimensiones y de respuesta de un sujeto a estudio con características normales.

ETAPA DE HIPERVENTILACION

ANTES DE LA ESTIMULACIÓN

DERIVADA 2

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



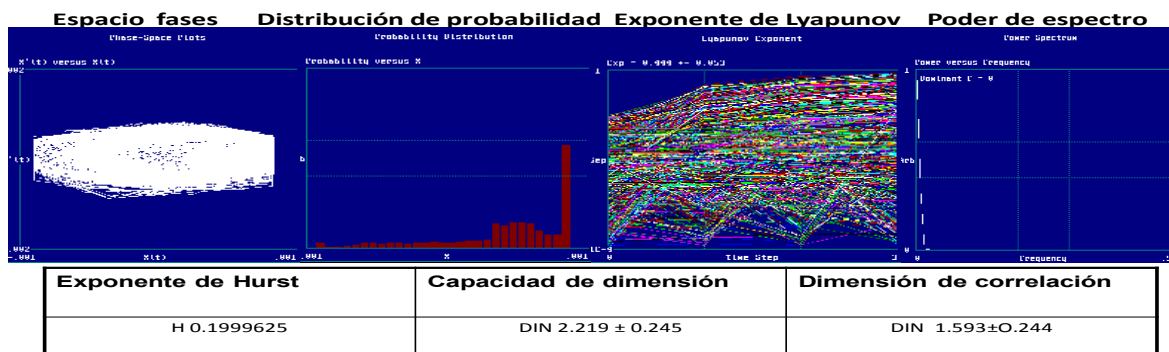
Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H 0.2794200	DIN 0.728±0.034	DIN 1.920±0.211

Etapa: Hiperventilación (167-170 DER 2)

El lenguaje del paciente es muy escueto confirmándose en la distribución de probabilidad, de comportamiento aleatorio y efectivamente el paciente responde al interrogatorio de manera al azar, no hay coordinación en su respuesta y pobre secuencia. Sin embargo el exponente de Lyapunov confirma este comportamiento de igual manera como lo denota el poder de espectro. Los valores de capacidad de dimensión y dimensión de correlación demuestran que se trata de un sistema no lineal, ya que presenta valores fraccionarios.

DESPUES DE LA ESTIMULACION

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	

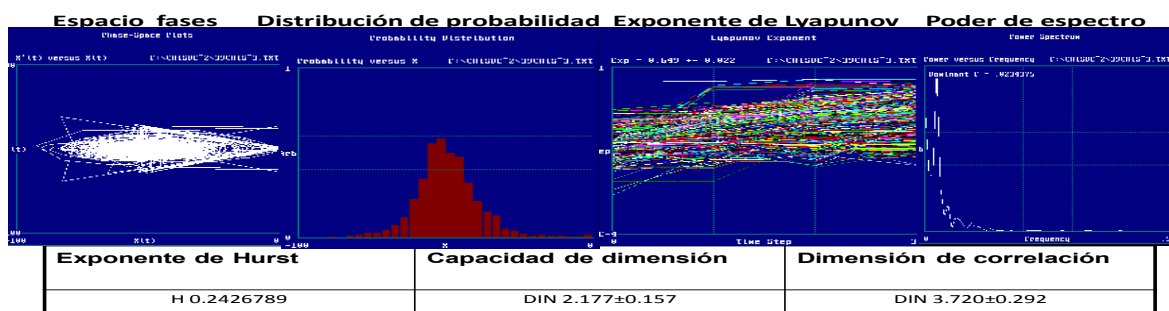


Etapas: hiperventilación (DER2)

El comportamiento del atractor extraño después del campo magnético, exhibe diferencia con ligera tendencia aleatoria, evidenciándose con el valor del exponente del Lyapunov y exponente de Hurst. Sin embargo en la capacidad de dimensión se observa gran diferencia entre la capacidad de dimensión y dimensiones de correlación ya que como su sistema motriz y equilibrio han mejora se enjuague no se ha incrementado.

COMPARATIVO

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



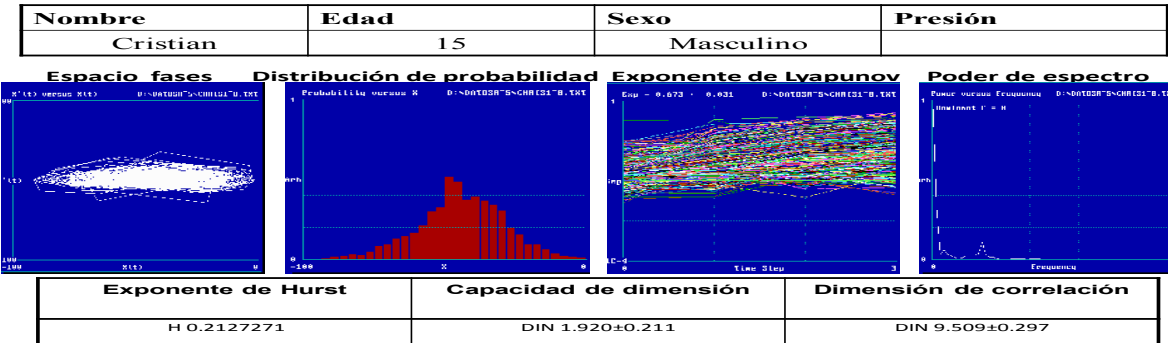
Etapas: HIPERVENTILACION (DER2)

Para confirmar el estudio puede detectarse el cambio y similitud de ciertos parámetros en el sujeto de estudio de un paciente "normal". El comportamiento del atractor extraño o diagrama de espacio fase presenta comportamiento aleatorio, pero con cierto grado de periodicidad y pequeña persistencia, como lo muestra el valor numérico del exponente de Hurst. Así mismo se presenta una

diferencia entre el valor de capacidad de dimensión con respecto al valor de la dimensión de correlación, ya que el de menor valor presenta el limite sobre la dimensión de correlación. Indicando que hay correlación entre un punto de atractor con respecto a sus trayectorias vecinas y el atractor extraño, pero este tiene alto grado de complejidad lo que implica que no haya correlación entre los vecinos.

ANTES DE LA ESTIMULACIÓN

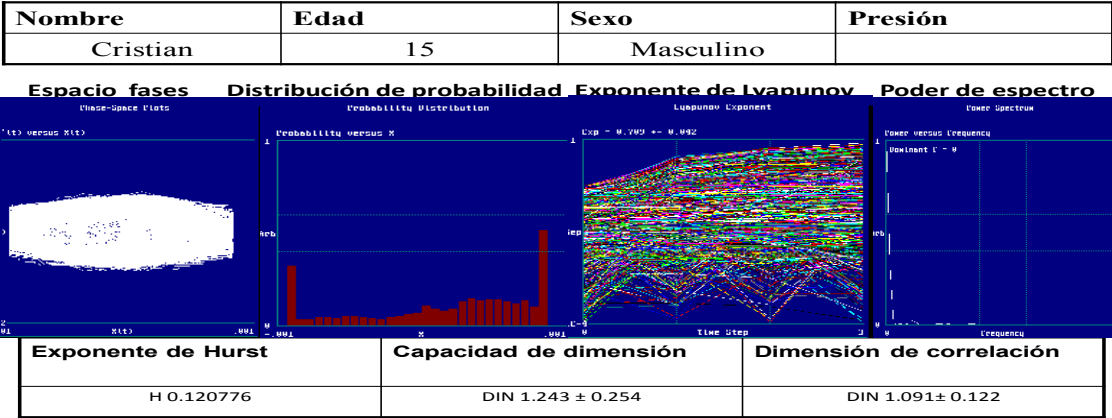
DERIVADA 3



Etapas: Hiperventilación (167-170 DER 3)

El diagrama espacio – fase presenta un comportamiento ligeramente un comportamiento ligeramente caótico, confirmándose en el espectro de potencia, exponente de Lyapunov y la distribución de probabilidad. Sin embargo el exponente de Hurts confirma mayor periodicidad con respecto a la caoticidad. El valor de la dimensión de correlación exhibe un comportamiento con bajo grado de aleatoridad manifestándose en movimientos fuera de control y nula coordinación, que puede ser consecuencia de las fuertes crisis convulsivas, causadas ruidos inesperados.

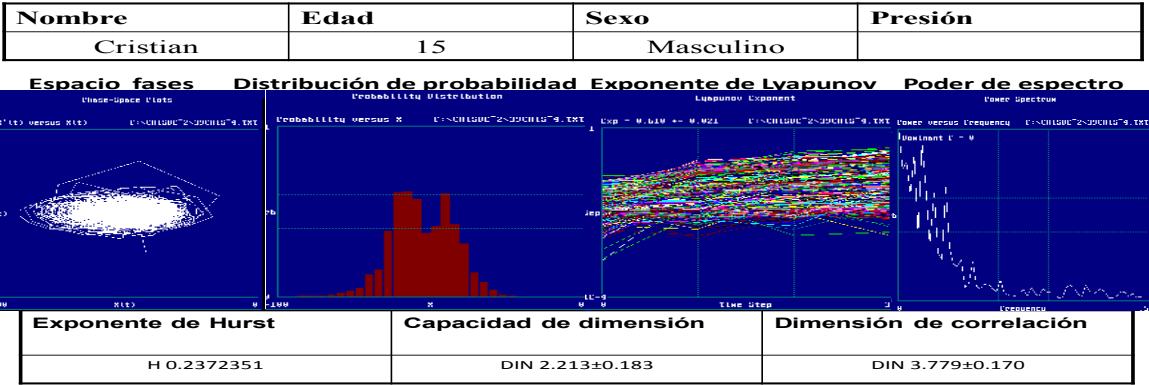
DESPUÉS DE LA ESTIMULACIÓN



Etapas: hiperventilación (DER3)

El comportamiento del atractor extraño presenta mayor complejidad, corroborándose con el incremento con el valor de Hurst, como en la estructura de la distribución de probabilidad y el poder de espectro. No obstante se observa, el deterioro motriz pero con cierta mejora y la capacidad de dimensión y dimensión de correlación.

COMPARATIVO



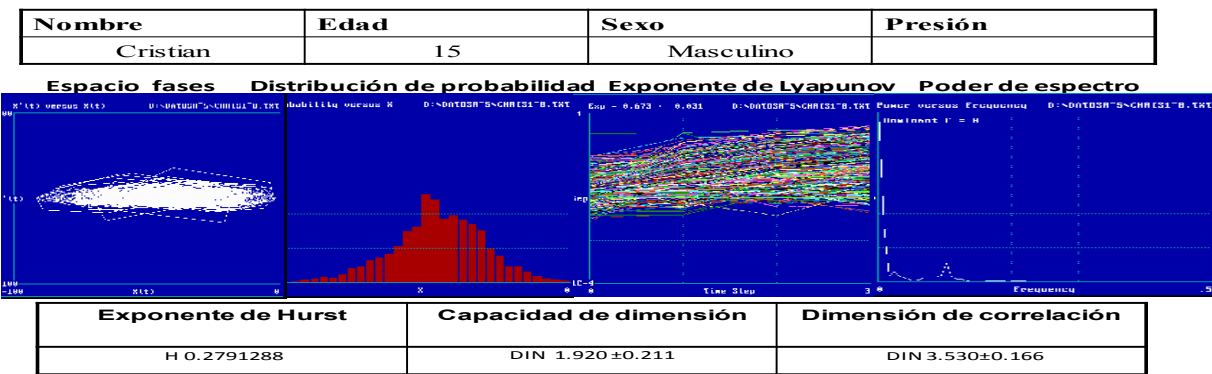
Etapas: HIPERVENTILACION (DER3)

En el estudio comparativo se observa el comportamiento caótico, pero con secuencia lógica, ya que todo movimiento tiene una función previamente descrita, confirmándose en la distribución de probabilidad, que manifiesta movimientos de comportamiento periódico. Por consecuencia el exponente de Hurst presenta un valor menor. El comportamiento del poder de espectro es de

menor caoticidad, mientras que el exponente de Lyapunov, confirma que el sistema motriz también presenta movimientos aleatorios.

ANTES DE LA ESTIMULACIÓN

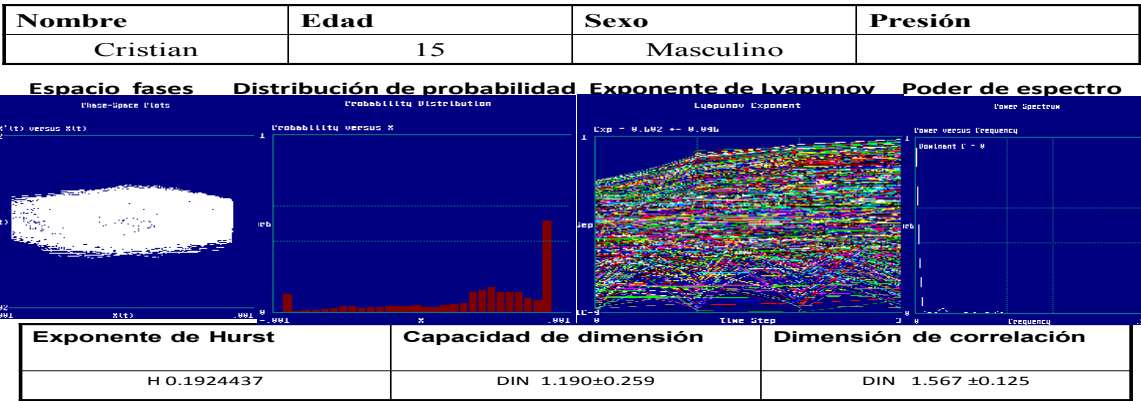
DERIVADA 4



Etapas: Hiperventilación (167-170 DER 4)

Se observa un comportamiento ligeramente caótico en el diagrama de espacio fase, confirmándolo la distribución de probabilidad y el poder de espectro. Con respecto al exponente de Lyapunov su equilibrio es deficiente, esto se ve reflejado en el paciente de manera determinante a causa de las frecuentes crisis convulsivas. Los valores de la capacidad de dimensión con respecto a la dimensión de correlación son menores, denotando la falta de equilibrio en el paciente.

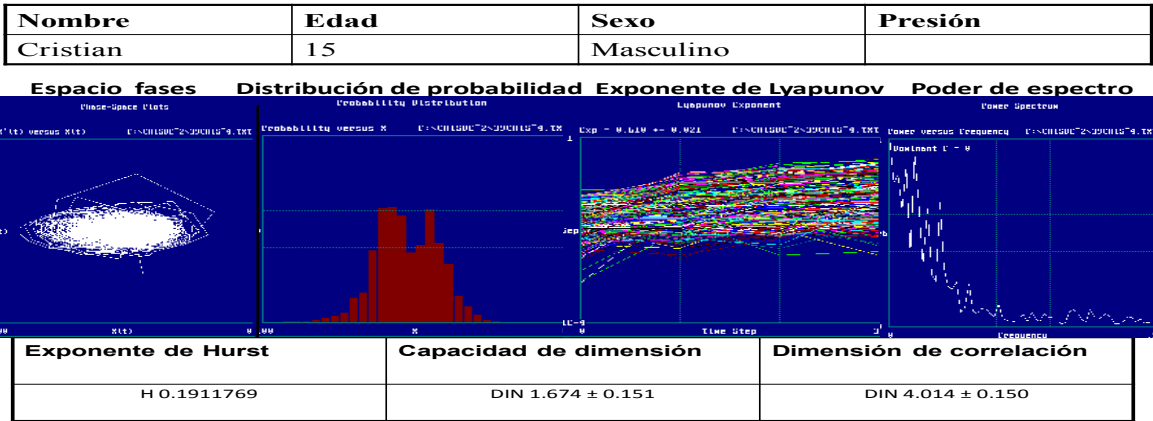
DESPUÉS DE LA ESTIMULACIÓN



Etapas: hiperventilación (DER4)

Después de recibir la estimulación de campo magnético el diagrama de espacio de fase presenta mayor comportamiento caótico pero con un cierto grado de periodicidad confirmándose con los valores del exponente de Lyapunov y distribución de probabilidad. Sin embargo el avance de equilibrio se ha obtenido en menor grado y esto se confirma con la capacidad de dimensión y con la dimensión de correlación pero se observa el efecto positivo del campo magnético directamente en el paciente.

COMPARATIVO



Etapas: HIPERVENTILACION (DER4)

En el comparativo se observa que el equilibrio debe de tener un grado mayor de periodicidad, fundamentado en la distribución de probabilidad, así como en el poder de espectro y el exponente de Hurst. El valor de capacidad de Dimensión de correlación y Capacidad de dimensión denotan menor grado de complejidad.

VIII. CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se procesaron los datos experimentales de las derivadas 2,3 y 4 que corresponden al lenguaje, sistema motriz y equilibrio problema que presenta el paciente del cual se obtuvo la información experimental y presenta alteraciones correspondientes de las derivadas antes mencionadas.

Los resultados obtenidos, reflejados físicamente y mediante técnicas de la teoría del caos, se encuentran involucrados factores externos que de manera indirecta afectan la variabilidad de los mismos. Entre ellos encontramos a la Presión atmosférica, la contaminación, en particular el ruido. Denotándose cambios cambio positivos en la conducta después de estar expuesto a la terapia del campo magnético de baja frecuencia.

Para el paciente bajo la modificación en las condiciones ambientales de los factores antes mencionados acentúan en forma drástica el daño que padece. Con el mínimo ruido que altere su sistema auditivo, se promueve la convulsión inmediata, la cual afecta severamente su equilibrio, disminución del apetito, incremento de la ansiedad, y disminución en la seguridad y autoestima, como consecuencia la calidad de vida de este paciente se demerita.

Sin embargo se realizó una prueba de cambio de residencia a un lugar de menor contaminación ambiental, dentro de ellos el menor ruido, incremento de la temperatura y un lugar menos poblado dando una tranquilidad y estabilidad física y emocional, reduciendo los factores que detonan su comportamiento habitual (convulsiones frecuentes) sin suspensión de la terapia de campo magnético de baja frecuencia.

Tiempo después el paciente regresa a su cotidianidad (Edo. México) siendo recurrente su comportamiento bajo las condiciones que alteran su sistema físico y emocional; mermando nuevamente su calidad de vida. Clínicamente se suspende la terapia de campo magnético, y solo continua con el tratamiento médico, el problema es recurrente, se incrementan las crisis convulsivas en presencia del mínimo ruido. Nuevamente se recurre a la terapia de campo magnético obteniendo resultados positivos manifestados en la reducción de

convulsiones, mejora en el equilibrio, facilidad de palabra y por ende seguridad en su desenvolvimiento social. El paciente presenta mejoría pese a la suspensión del tratamiento con campo magnético.

La estimulación del campo magnético aplicado al paciente se tuvo un cambio radical en su salud, mejorando el equilibrio, su lenguaje, aumento su seguridad y sobre todo, disminuyo la dosis del medicamento. El resultado del procesamiento de los datos experimentales después de recibir la terapia con campo magnético durante 1 año confirman las mejoras en la calidad de vida en el paciente. Los resultados que a continuación se presentan confirman lo antes mencionado.

Etapa de Sueño

Derivada	Poder de espectro	Frecuencia Dominante	Exponente de Hurst	Capacidad de Dimensión	Dimensión de correlación	Exponente de Lyapunov
1	0	0	0.2791288	1.9280±0.2	3.530±0.166	0.673±0.031
2	0	0	0.3209907	1.661±0.186	3.768±0.113	0.611±0.029
3	0	0	0.2267933	1.716±0.191	3.793±0.158	0.688±0.028
4	0	0	0.3117822	1.51±0.172	1.511±0.172	0.590±0.028
5	0	0	0.2381356	2.062±0.229	3.886±0.186	0.716±0.027
6	0	0	0.2530535	2.126±0.236	3.750±0.218	0.738±0.028
7	0.1015625	0	0.2216027	2.0800±0.032	3.735±0.150	0.738±0.029
8	0.101625	0	0.2511586	2.067±0.0231	3.767±0.167	0.719±0.0230

Tabla 6.2. Resultados obtenidos en la etapa de sueño antes de la estimulación.

El estudio describe en las diferentes derivadas su grado de caoticidad es menor, ya que se visualiza que existe una patología que es la síndrome al ruido que daña principalmente en este caso a las partes del movimiento motriz, auditivo y del lenguaje.

En el análisis de los datos experimentales y con apoyo de la dinámica no lineal permite diferenciar el daño cerebral visualizándolo de manera más cercana a la realidad con la interpretación del comportamiento de cada una las derivadas del cerebro. El atractor extraño y los parámetros que apoyan el comportamiento del síndrome antes y después de haber sido sometido a un campo externo, y siendo estos comparados con el comportamiento de los resultados de las series de tiempo en un paciente de la misma edad “sin problema aparente”, se determina que el efecto de la terapia del campo magnético en el paciente logra mejorar en los fenómenos de estudio, que el síndrome al ruido afecta y confirmándose que en la suspensión de esta terapia retrocede el avance logrado, a diferencia de tener el tratamiento continuo la calidad de vida del paciente no retrocede y a través del tiempo el síndrome al ruido encarece proporcionando mejor desenvolvimiento social. Este tipo de terapia con respecto al daño neuronal

expresado en el paciente es una alternativa para el sector salud coadyuvado con la ciencia buscando una mejora de calidad de los pacientes, ya que se sabe que la mayoría de daño cerebral es irreversible.

Tabla 6.3. Resultados obtenidos en la etapa de sueño después de la estimulación.

Derivada	Poder de espectro	Frecuencia Dominante	Exponente de Hurst	Capacidad de Dimensión	Dimensión de correlación	Exponente de Lyapunov
1	0	0	0.211555	1.923±0.171	4.197±0.134	0.684±0.021
2	0.0234375	0	0.2636159	1.533±0.158	3.918±0.175	0.559±0.020
3	0.0234375	0	0.1886633	1.77±0.158	4.074±0.133	0.649±0.022
4	0	0	0.1911769	1.674±0.151	4.014±0.150	0.610±0.021
5	0	0	0.2449499	1.935±0.171	4.198±0.151	0.694±0.021
6	0.02344375	0	0.2779479	1.730±0.152	4.03±0.180	0.658±0.023
7	0.015625	0	0.2206278	1.0705±0.154	4.063±0.129	0.648±0.021
8	0	0	0.02224234	2.022 ±0.137	4.121±0.023	0.137±0.023

IX. PROYECCIONES

El campo magnético de baja frecuencia ha sido utilizado desde época antes de nuestra era con resultados óptimos en diversas enfermedades, pero el sector salud no los admite ya que argumenta que no existen evidencias científicas para aceptar la aplicación del campo magnético.

El resultado obtenido permite recomendar la terapia de campo magnético de baja frecuencia como una alternativa más en mejorar los problemas neurológicos y que ha sido confirmada con técnicas de la dinámica no lineal desde un punto de vista científico. Se encuentran en proceso artículos de aplicación del efecto del campo magnético en diferentes enfermedades con resultados significativos mejoramiento de las enfermedades y como apoyo en el mejoramiento de la calidad de vida.

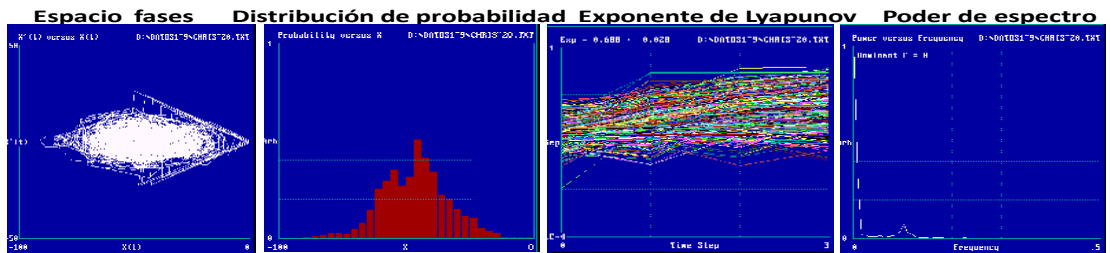
Tabla 6.3. Resultados obtenidos en la etapa de sueño después de la estimulación.

Derivada	Poder de espectro	Frecuencia Dominante	Exponente de Hurst	Capacidad de Dimensión	Dimensión de correlación	Exponente de Lyapunov
1	0	0	0.211555	1.923±0.171	4.197±0.134	0.684±0.021
2	0.0234375	0	0.2636159	1.533±0.158	3.918±0.175	0.559±0.020
3	0.0234375	0	0.1886633	1.77±0.158	4.074±0.133	0.649±0.022
4	0	0	0.1911769	1.674±0.151	4.014±0.150	0.610±0.021
5	0	0	0.2449499	1.935±0.171	4.198±0.151	0.694±0.021
6	0.02344375	0	0.2779479	1.730±0.152	4.03±0.180	0.658±0.023
7	0.015625	0	0.2206278	1.0705±0.154	4.063±0.129	0.648±0.021
8	0	0	0.02224234	2.022 ±0.137	4.121±0.023	0.137±0.023

X. APENDICE

ANTES DE LA ESTIMULACION CON CAMPO MAGNETICO

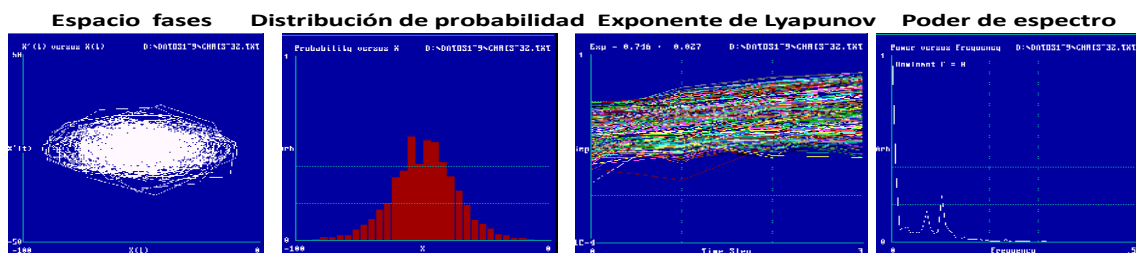
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H 0.3117822	DIN 1.51±0.172	DIN 1.511±0.172

Etapas: Sueño (135-139DER4)

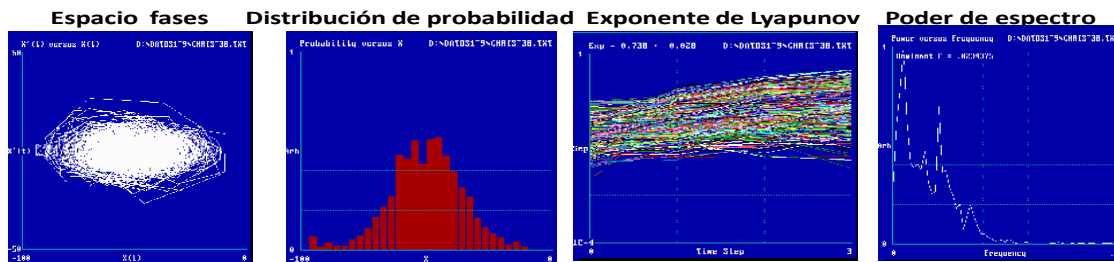
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H 0.2381356	DIN 2.062±0.229	DIN 3.886±0.186

Etapas: Sueño (135-139DER5)

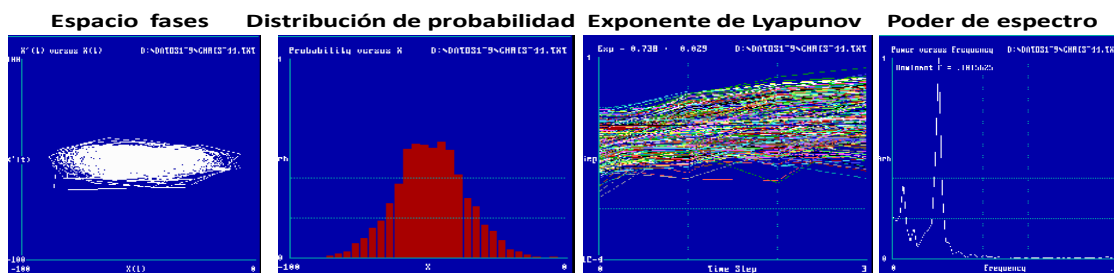
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H 0.2530535	DIN 2.126±0.236	DIN 3.750±0.218

Etapas: Sueño (135-139DER6)

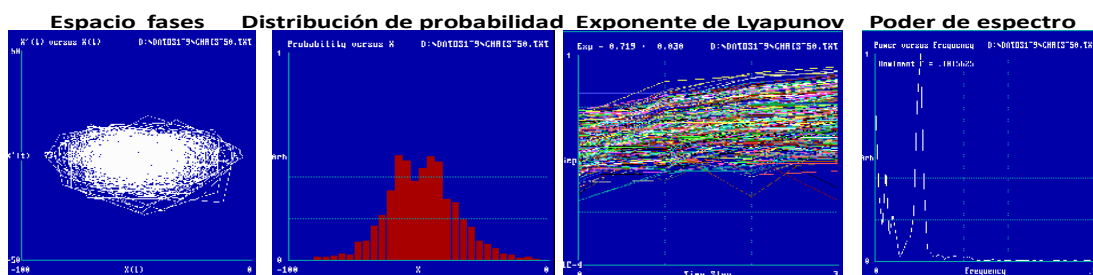
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H 0.2216027	DIN 2.0800±0.032	DIN 3.735±0.150

Etapas: Sueño (135-139DER7)

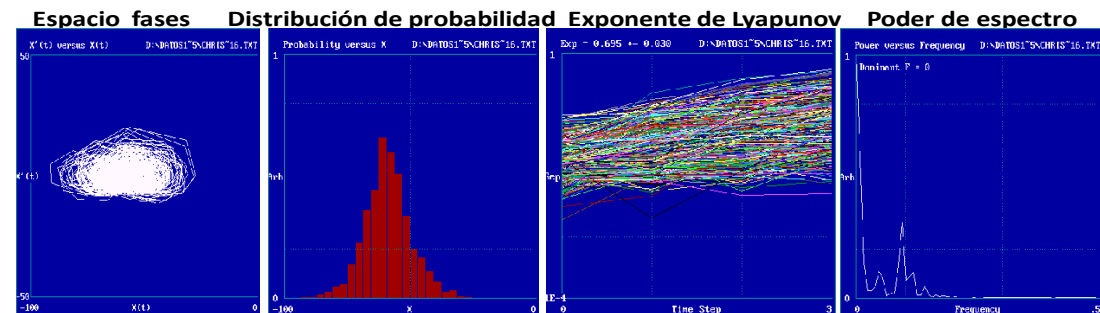
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H 0.2511586	DIN 2.067±0.0231	DIN 3.767±0.167

Etapas: Sueño (135-139DER8)

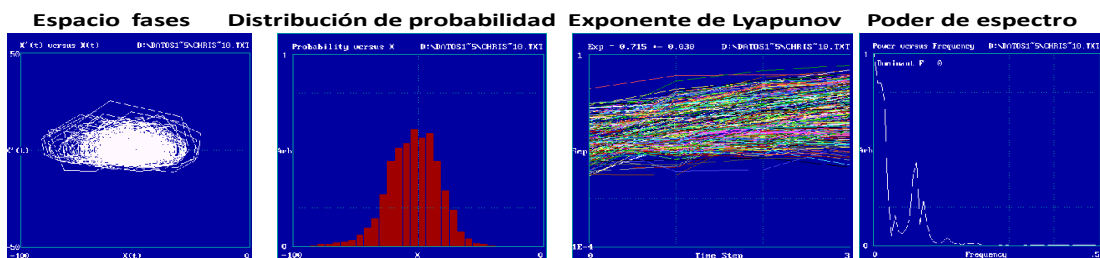
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H 0.2291336	DIN 3.513±0.288	DIN 2.224±0.262

Etapas: Sueño (142-5DER2)

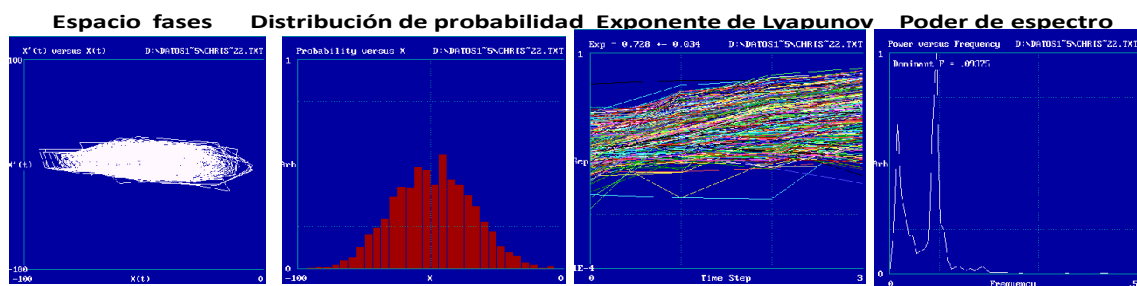
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H 0.2510798	DIN 2.015±0.238	DIN 2.015±0.238

Etapas: Sueño (142-5DER1)

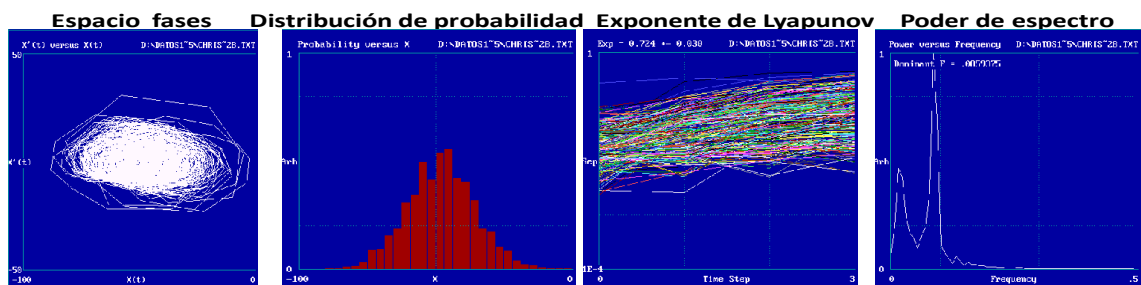
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H 0.246396	DIN 3.513±0.288	DIN 2.224±0.262

Etapas: Sueño (142-5DER3)

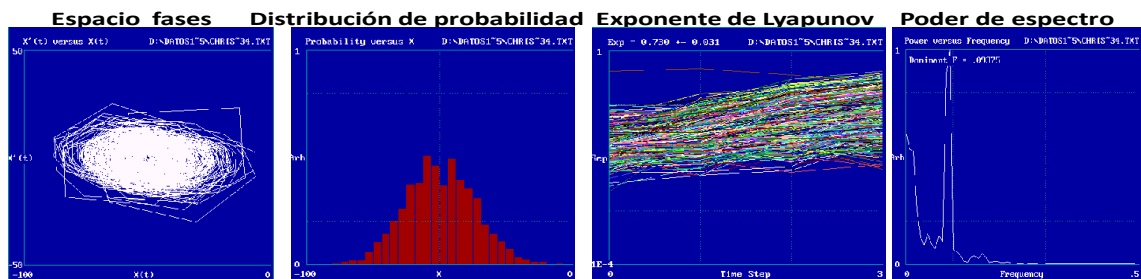
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H 0.2418698	DIN 3.7±0.140	DIN 1.867±0.220

Etapas: Sueño (142-5DER4)

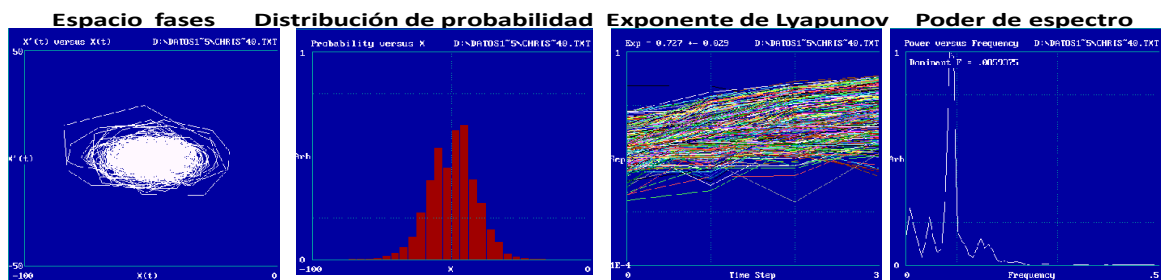
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H 0.2530418	DIN 3.646±0.138	DIN 2.161±0.254

Etapas: Sueño (142-5DER5)

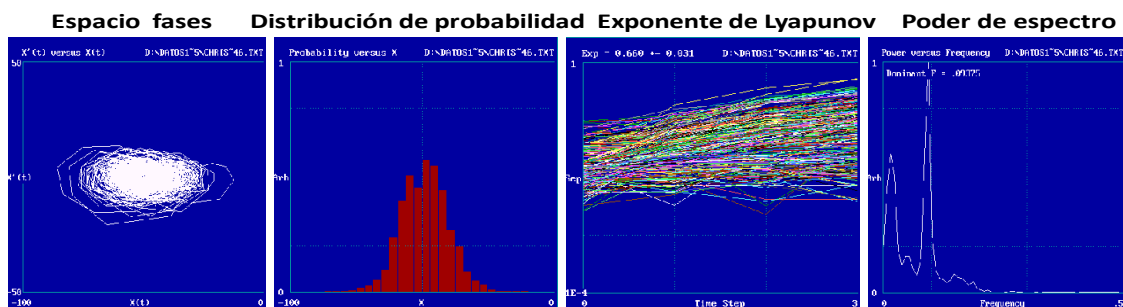
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H 0.2357485	DIN 3.725±0.138	DIN 2.063±0.245

Etapas: Sueño (142-5DER6)

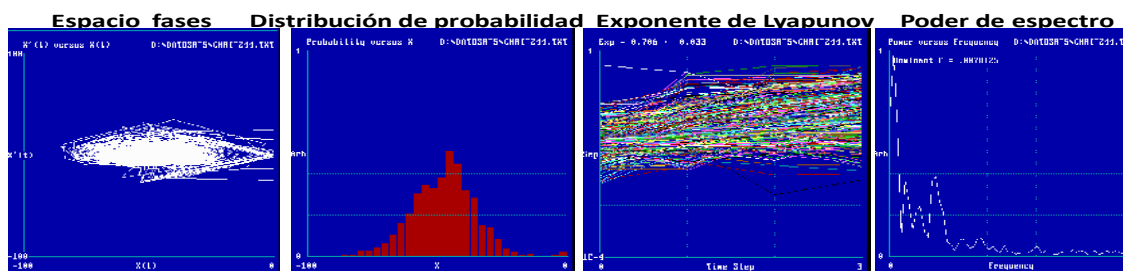
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H 0.2773305	DIN 1.885±0.225	DIN 3.563±0.115

Etapas: Sueño (142-5DER7)

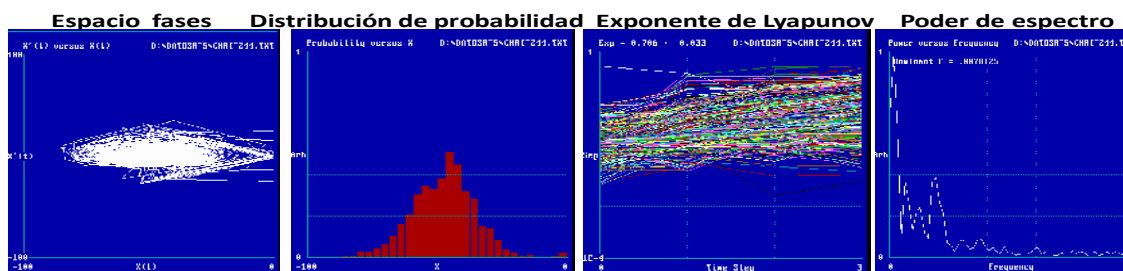
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H 0.1900696	DIN 2.091±0.210	DIN 3.727±0.331

Etapas: Hiperventilación (167-170 DER1)

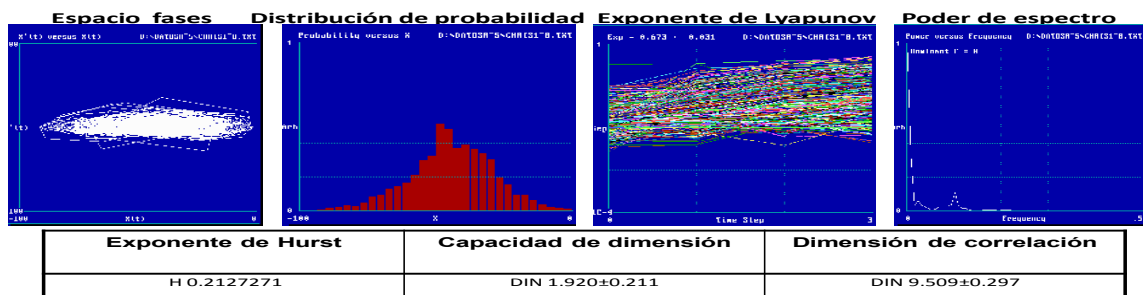
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H 0.2794200	DIN 0.728±0.034	DIN 1.920±0.211

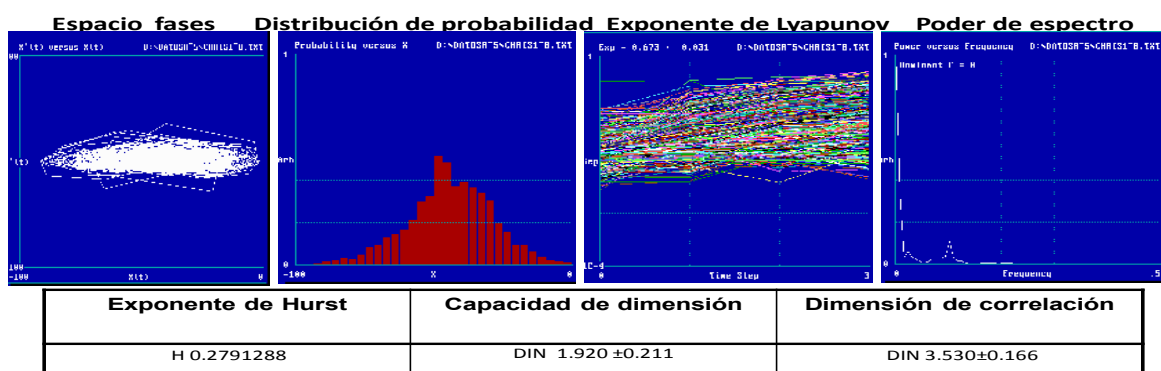
Etapas: Hiperventilación (167-170 DER 2)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



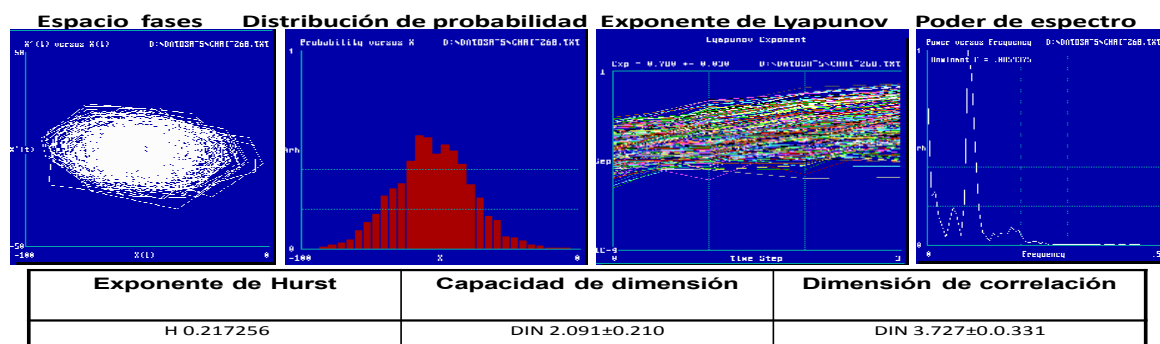
Etapas: Hiperventilación (167-170 DER 3)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



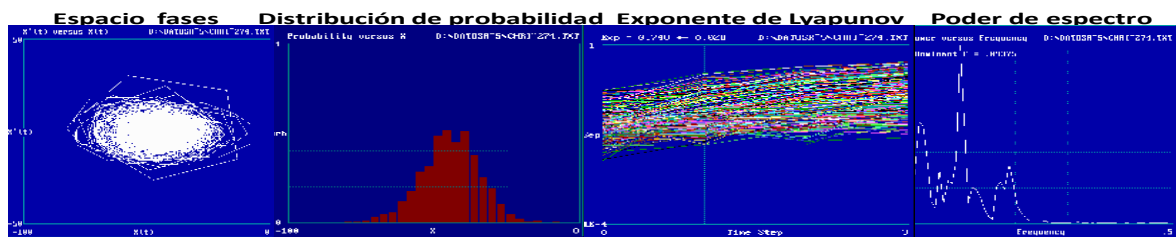
Etapas: Hiperventilación (167-170 DER 4)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Etapas: Hiperventilación (167-170 DER 5)

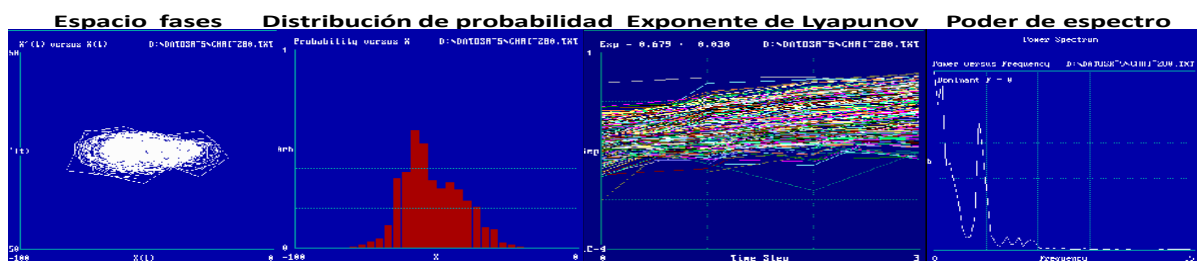
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H 0.2721362	DIN 1.885±0.225	DIN 3.563±0.115

Etapas: Hiperventilación (167-170 DER 6)

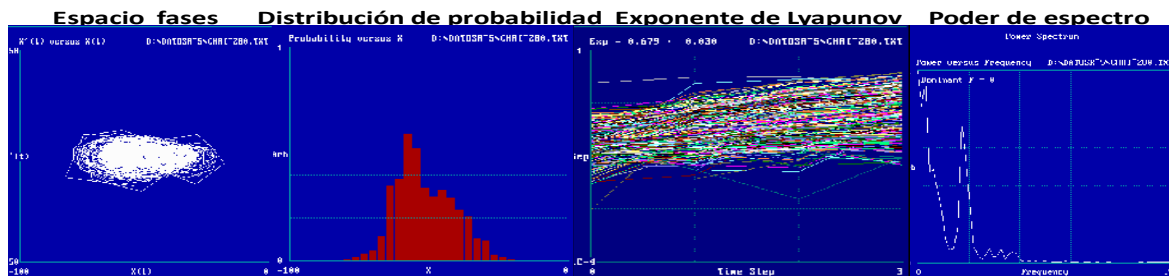
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H 0.2721362	DIN 1.885±0.225	DIN 3.563±0.115

Etapas: Hiperventilación (167-170 DER 7)

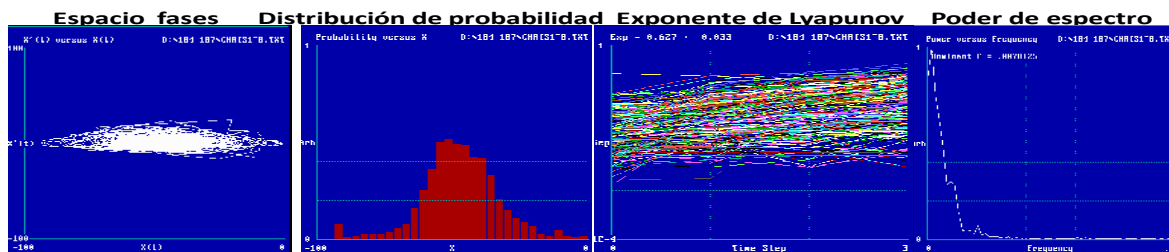
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H 0.2505652	DIN 1.937±0.211	DIN 3.838±0.250

Etap: Hiperventilación (167-170 DER 8)

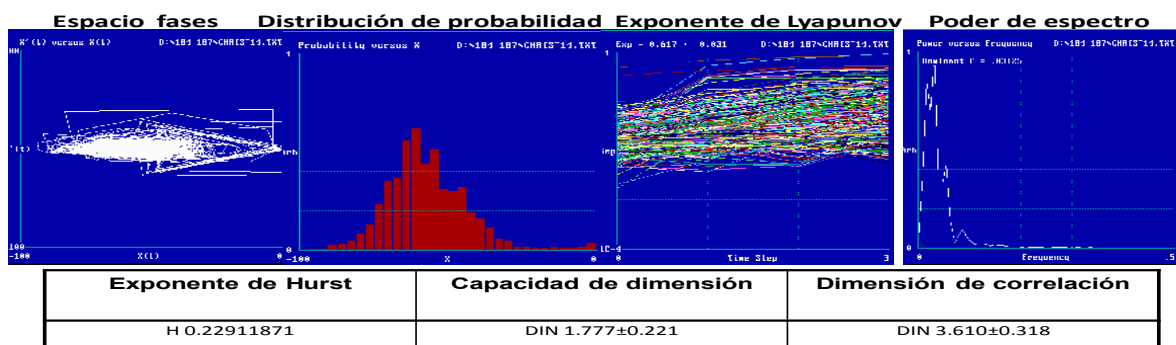
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H 0.3111652	DIN 1.590±0.197	DIN 3.623±0.291

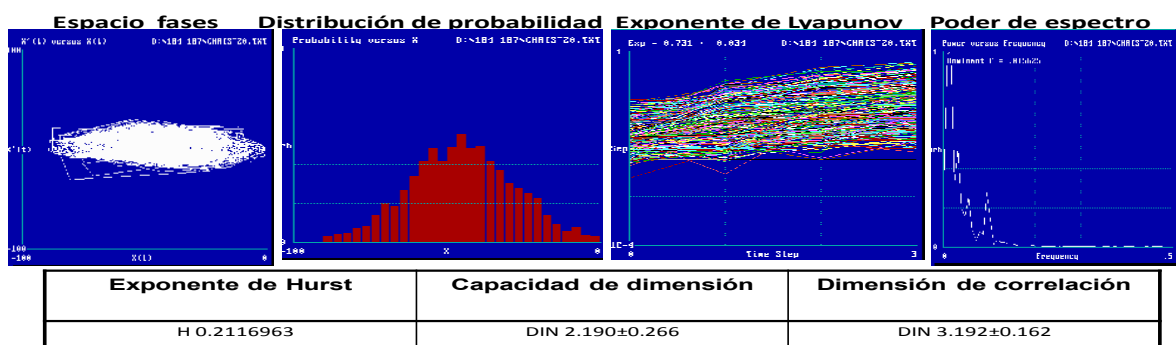
Etap: Hiperventilación (184-7 DER 1)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



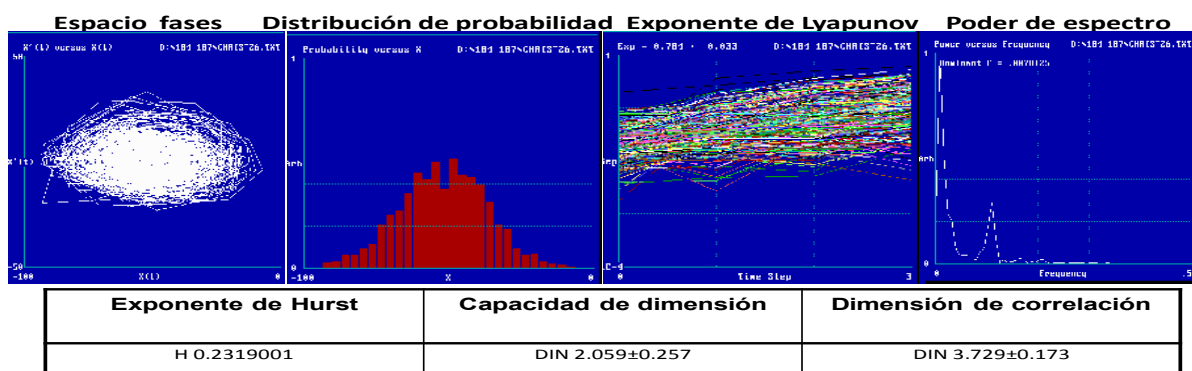
Etapas: Hiperventilación (184-7 DER 2)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



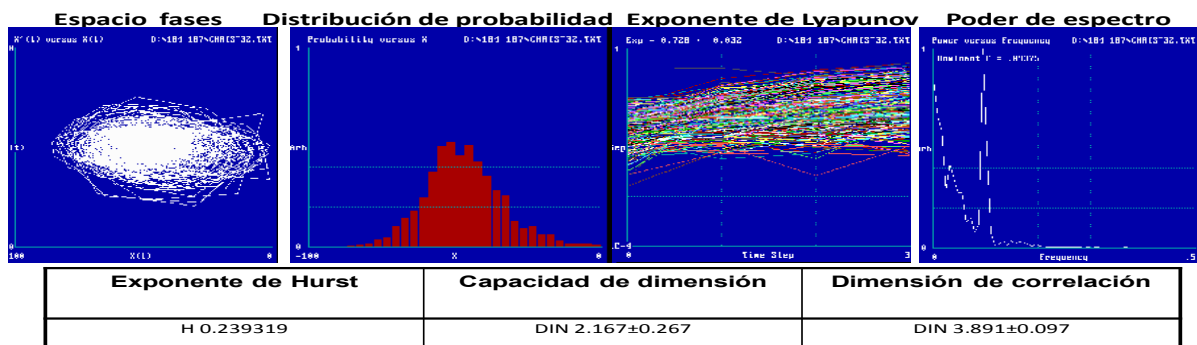
Etapas: Hiperventilación (184-7 DER 3)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



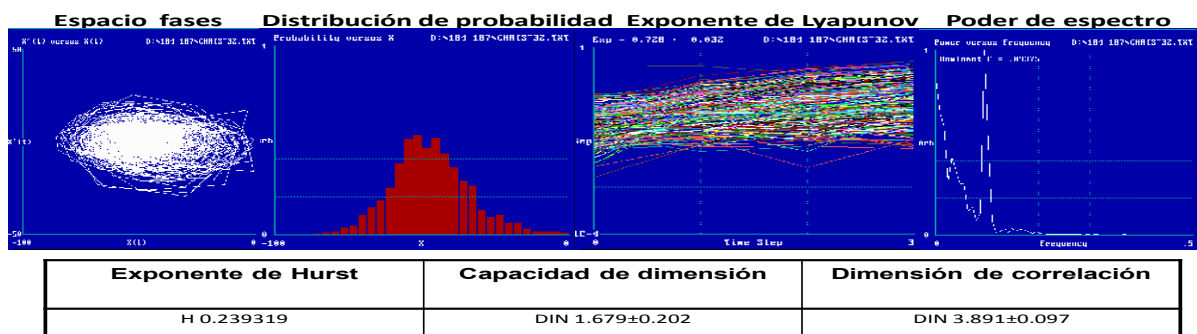
Etapas: Hiperventilación (184-7 DER 4)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



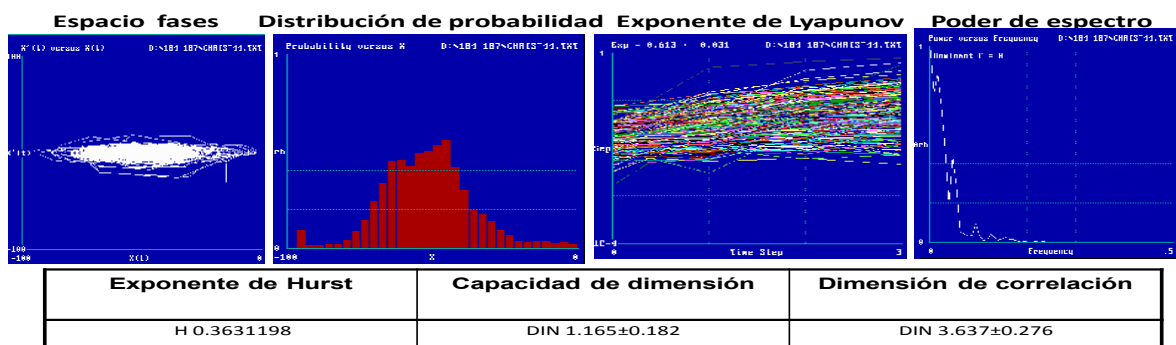
Etapas: Hiperventilación (184-7 DER 5)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



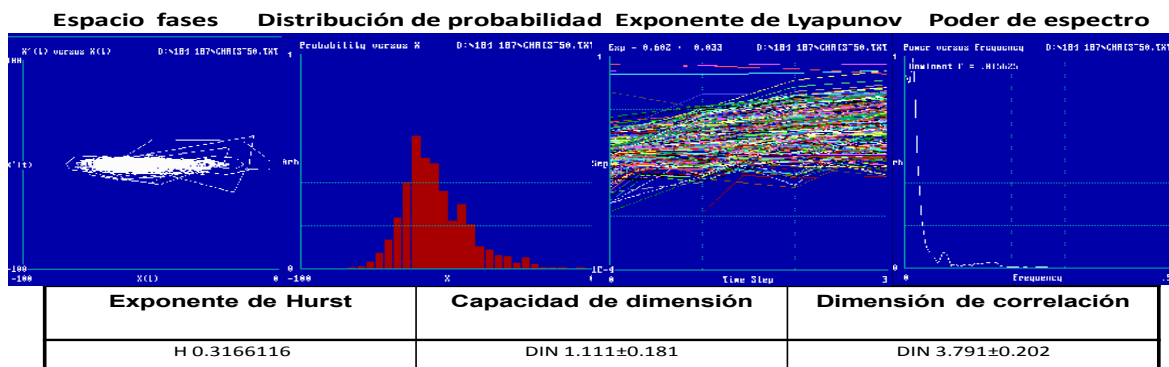
Etapas: Hiperventilación (184-7 DER 6)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



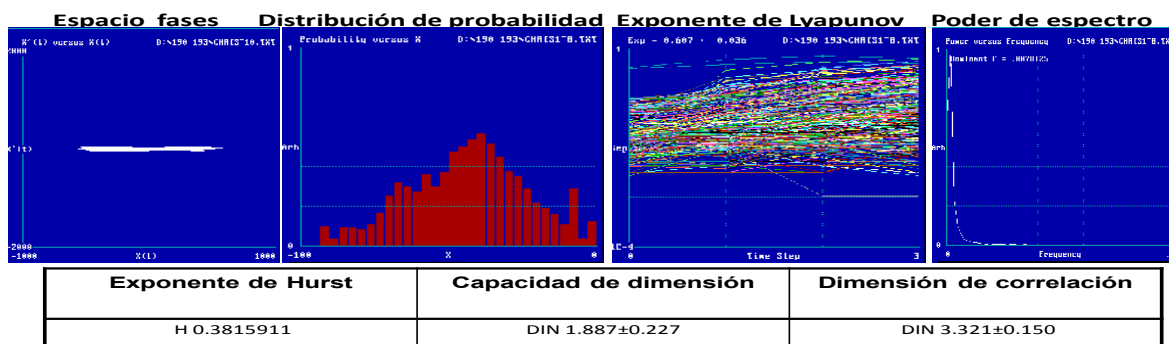
Etapas: Hiperventilación (184-7 DER7)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



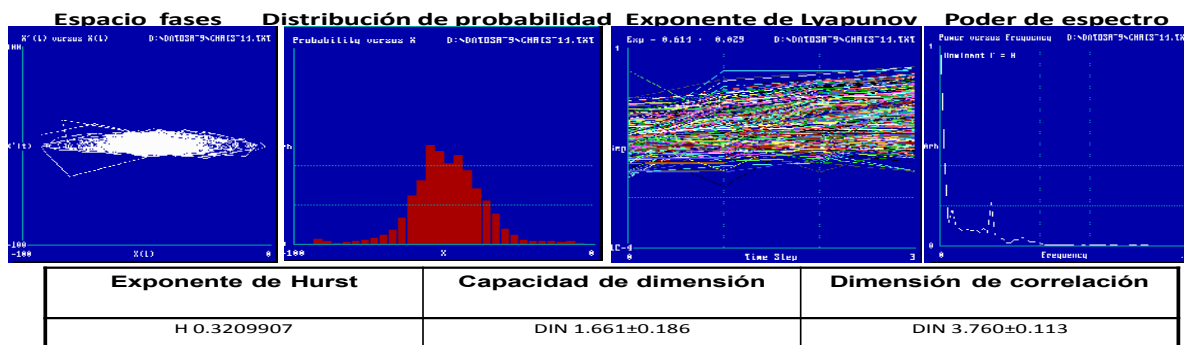
Etapas: Hiperventilación (184-7 DER8)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Etapas: Hiperventilación (190-7 DER1)

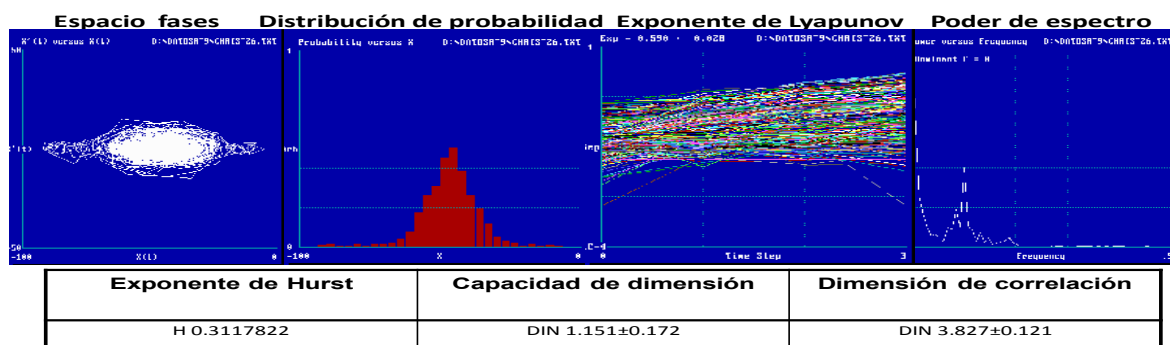
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Etapas: Hiperventilación (190-7 DER2)

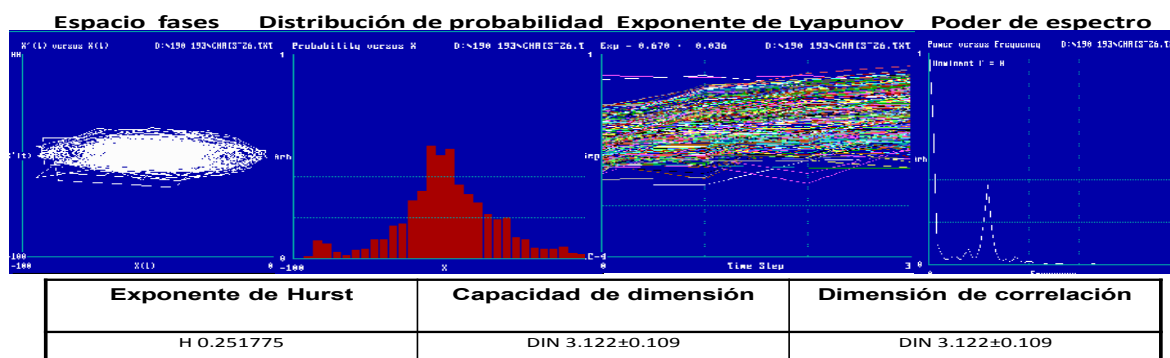
|

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



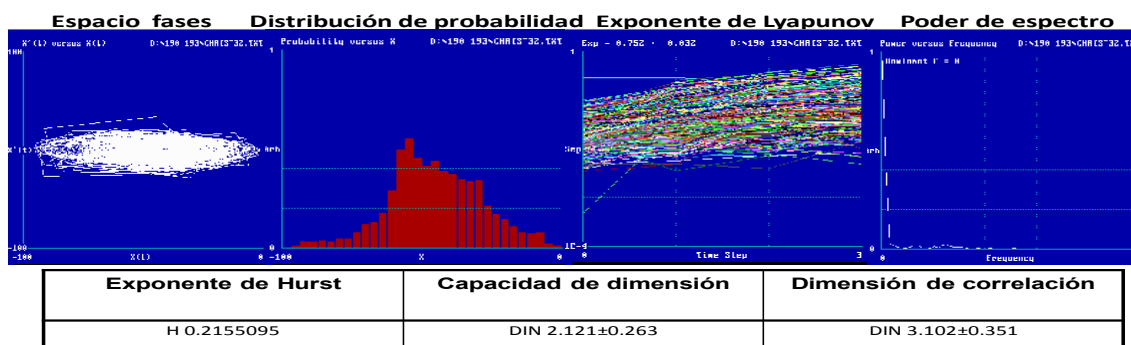
Etapas: Hiperventilación (190-7 DER3)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



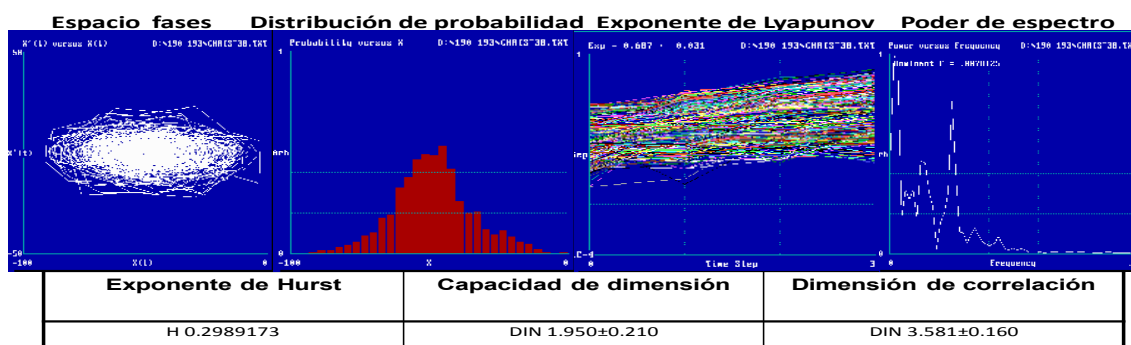
Etapas: Hiperventilación (190-7 DER4)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



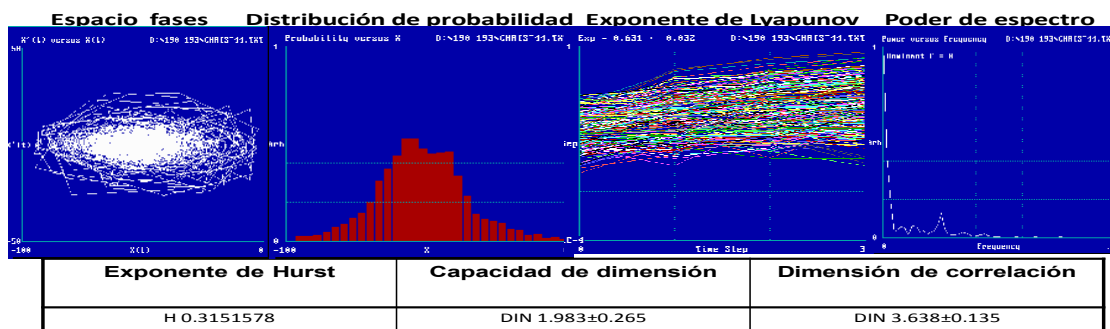
Etapas: Hiperventilación (190-7 DER5)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



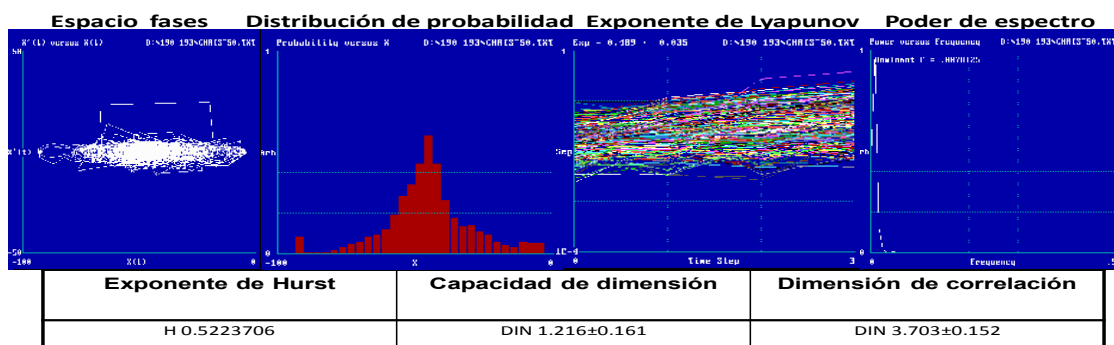
Etapas: Hiperventilación (190-7 DER6)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



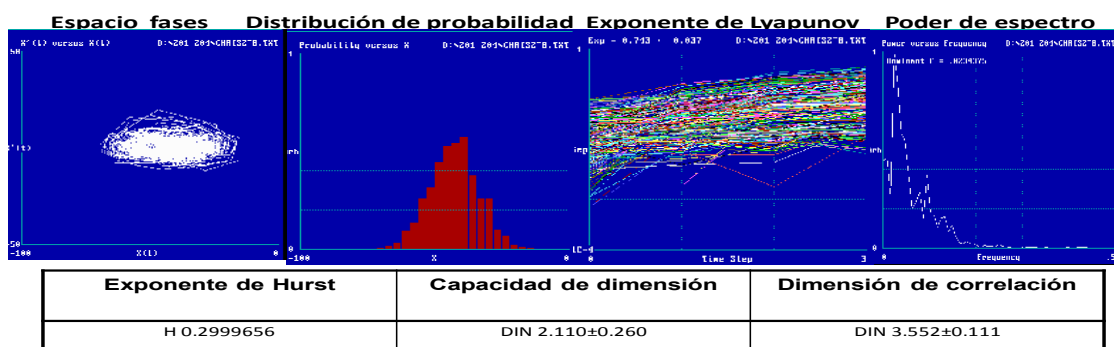
Etapas: Hiperventilación (190-7 DER7)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



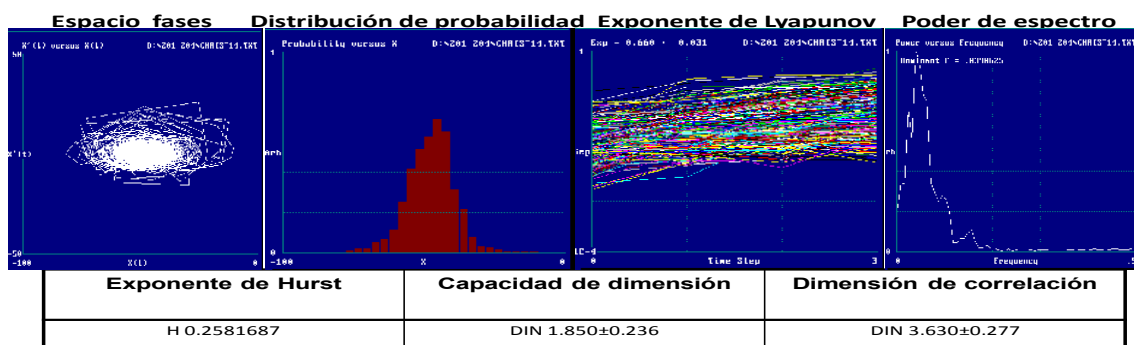
Etapas: Hiperventilación (190-7 DER8)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



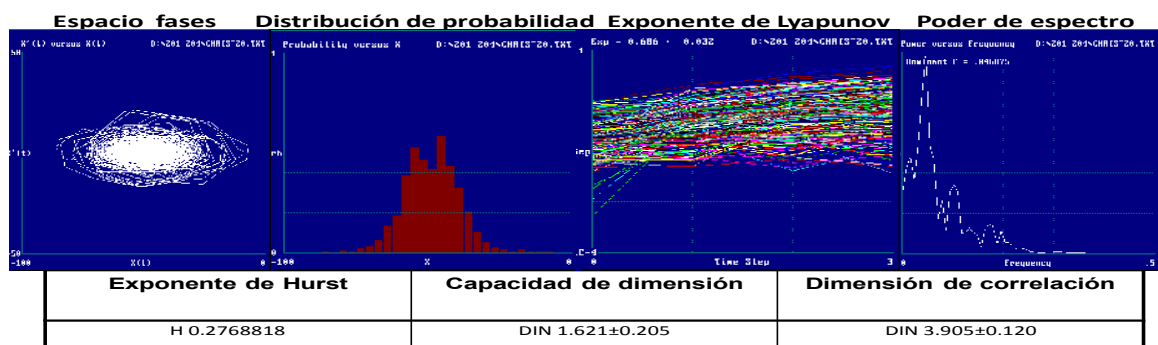
Etapas: Hiperventilación (201-4 DER1)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



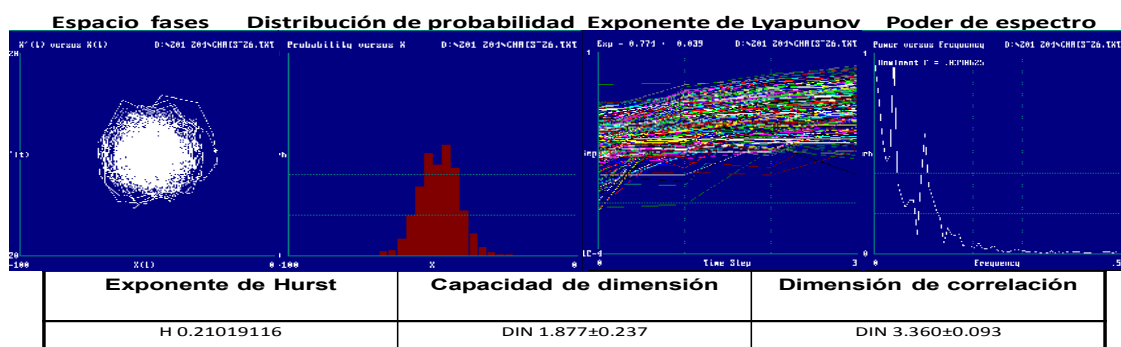
Etapas: Hiperventilación (201-4 DER2)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



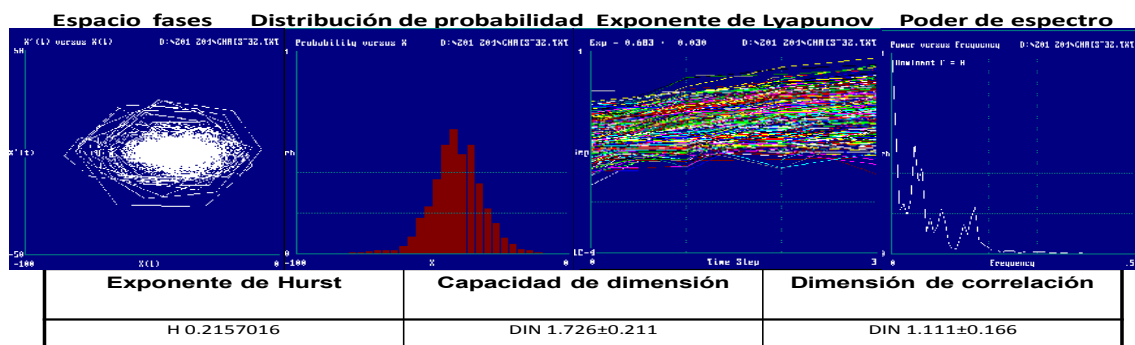
Etapas: Hiperventilación (201-4 DER3)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



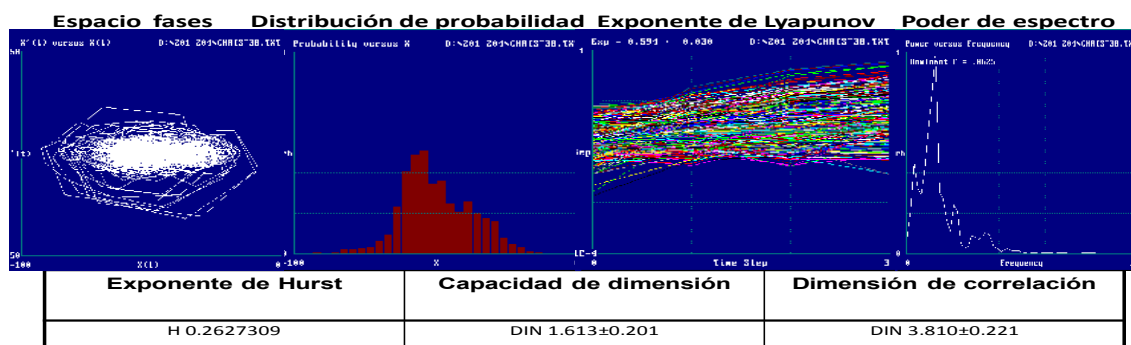
Etapas: Hiperventilación (201-4 DER4)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



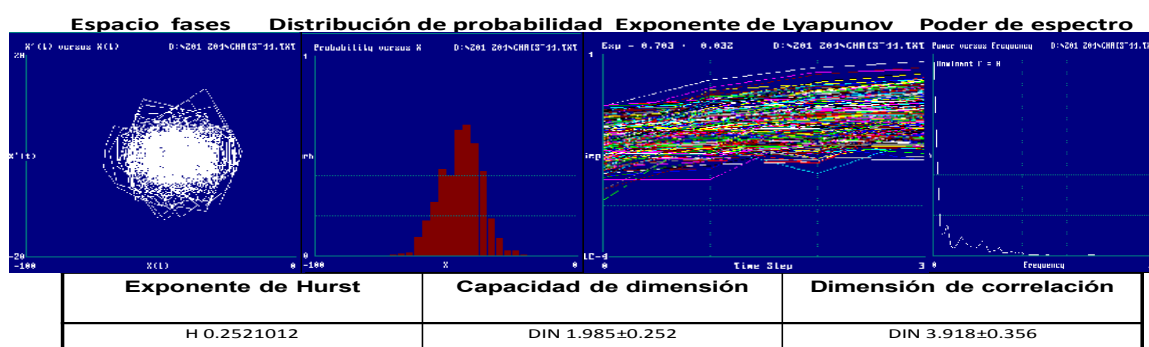
Etapas: Hiperventilación (201-4 DER5)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



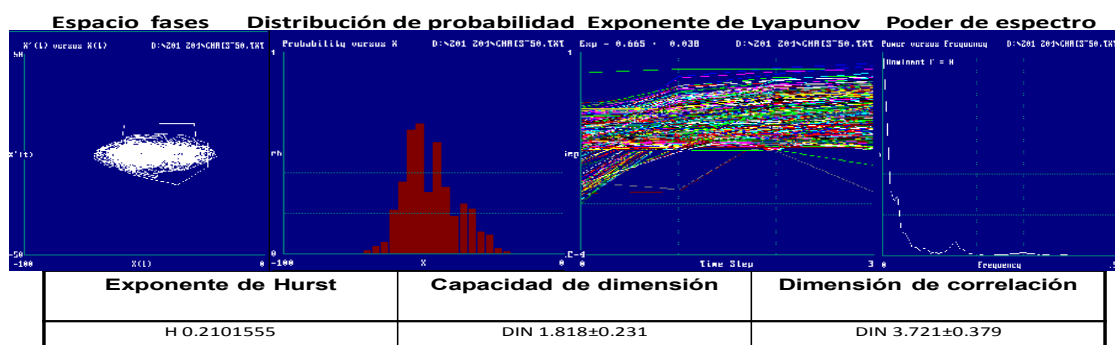
Etapas: Hiperventilación (201-4 DER6)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



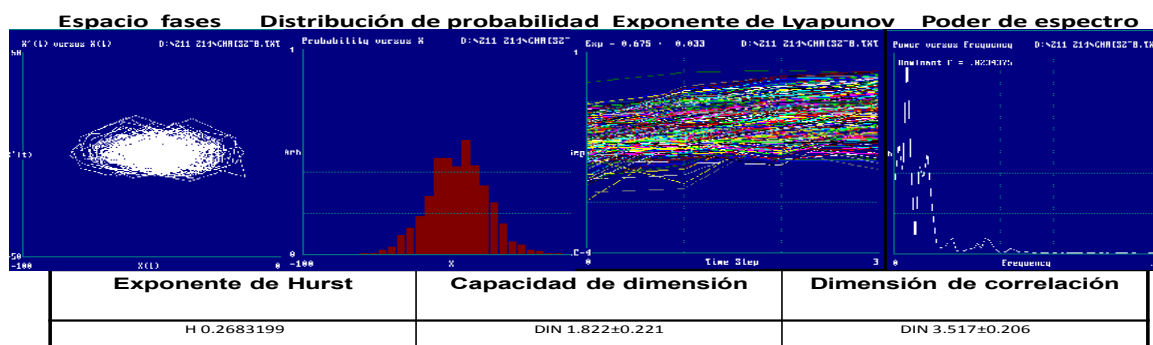
Etapas: Hiperventilación (201-4 DER7)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



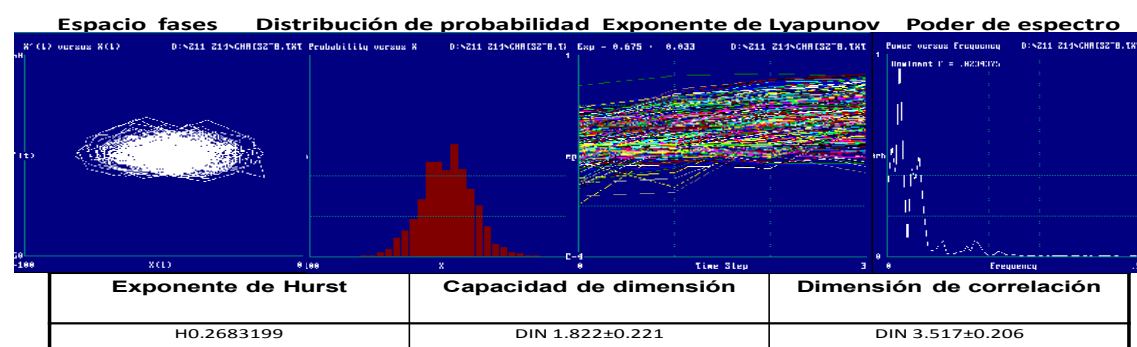
Etapas: Hiperventilación (201-4 DER8)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



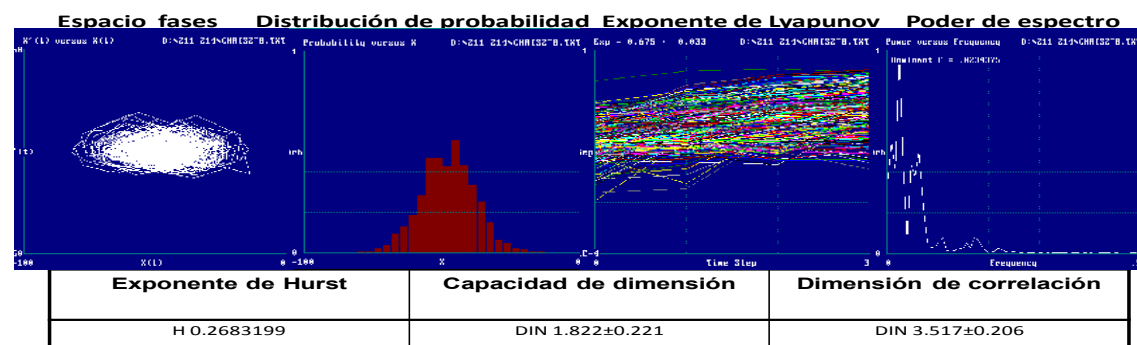
Etapas: Hiperventilación (211-14 DER1)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



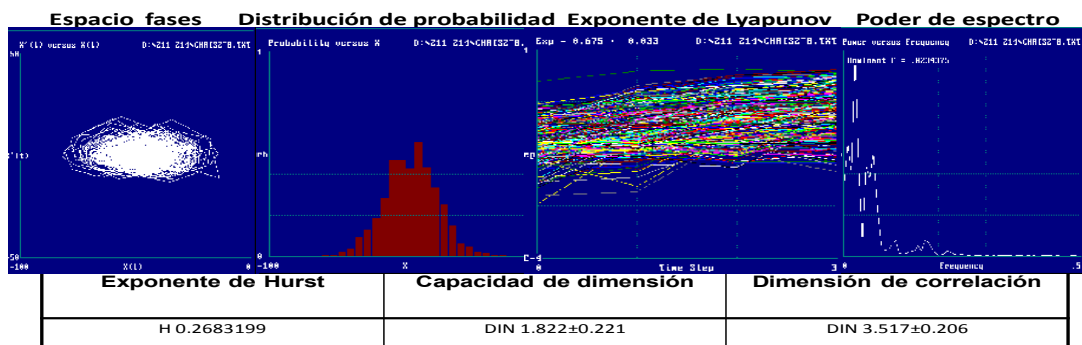
Etapas: Hiperventilación (211-14 DER2)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



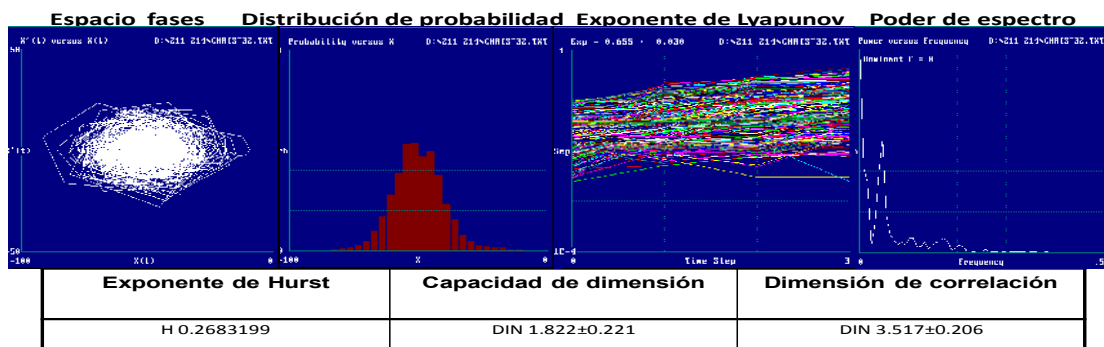
Etapas: Hiperventilación (211-14 DER3)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



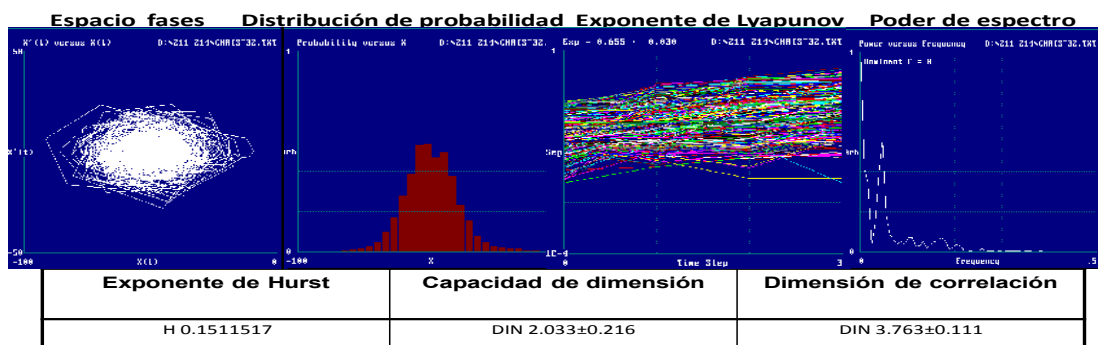
Etapas: Hiperventilación (211-14 DER4)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



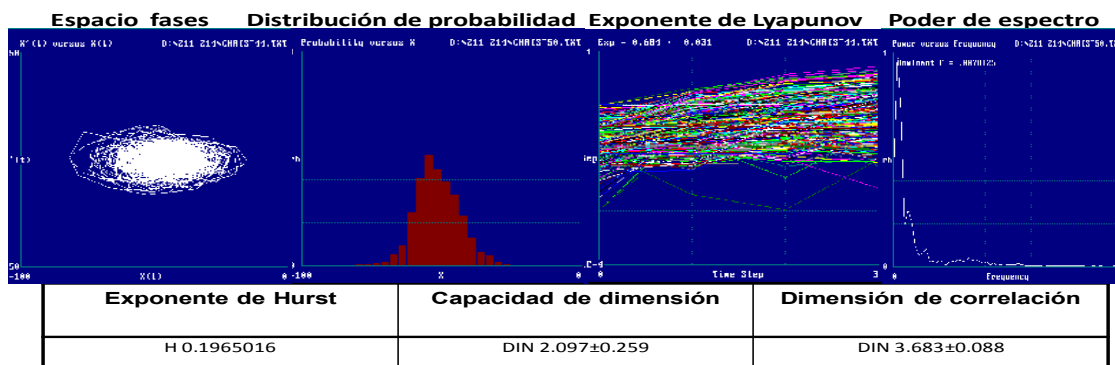
Etapas: Hiperventilación (211-14 DER5)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



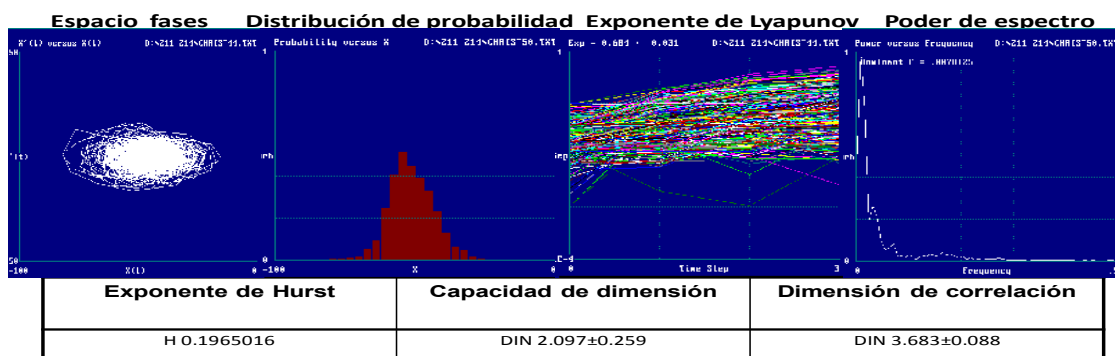
Etapas: Hiperventilación (211-14 DER6)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



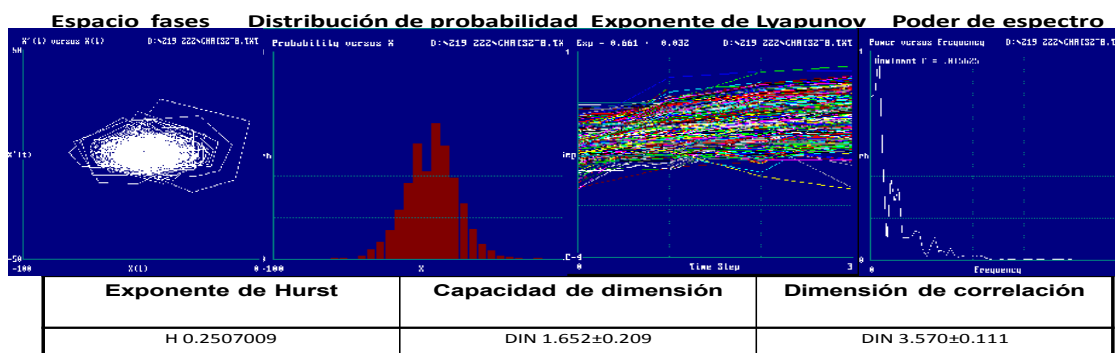
Etapas: Hiperventilación (211-14 DER7)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



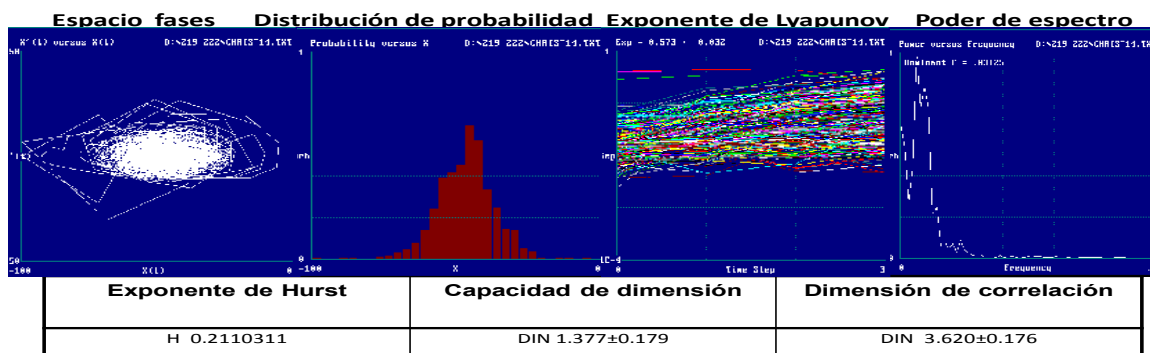
Etapas: Hiperventilación (211-14 DER8)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



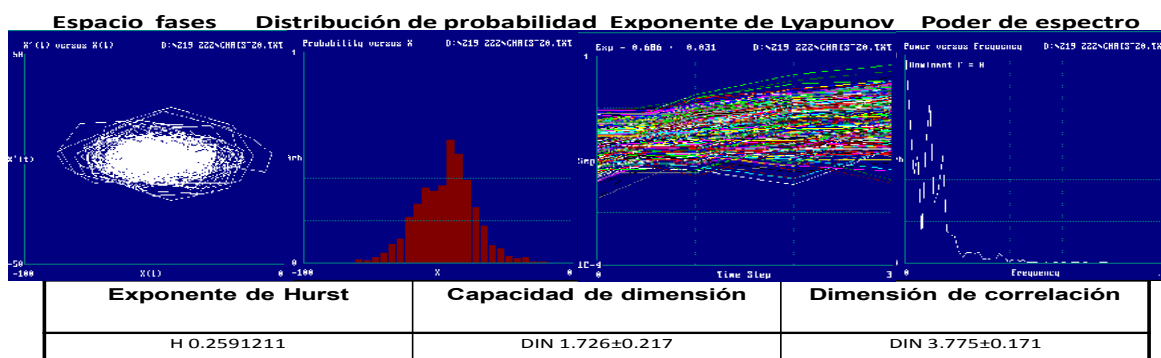
Etapas: Hiperventilación (229-32 DER1)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



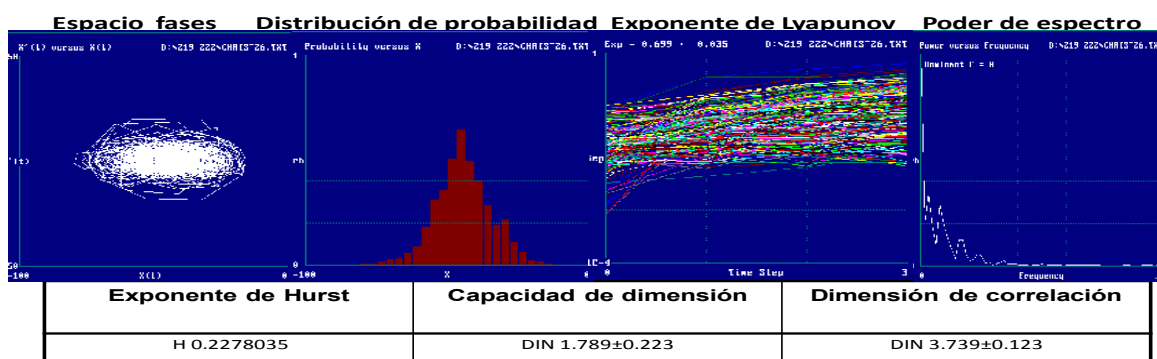
Etapas: Hiperventilación (229-32 DER2)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



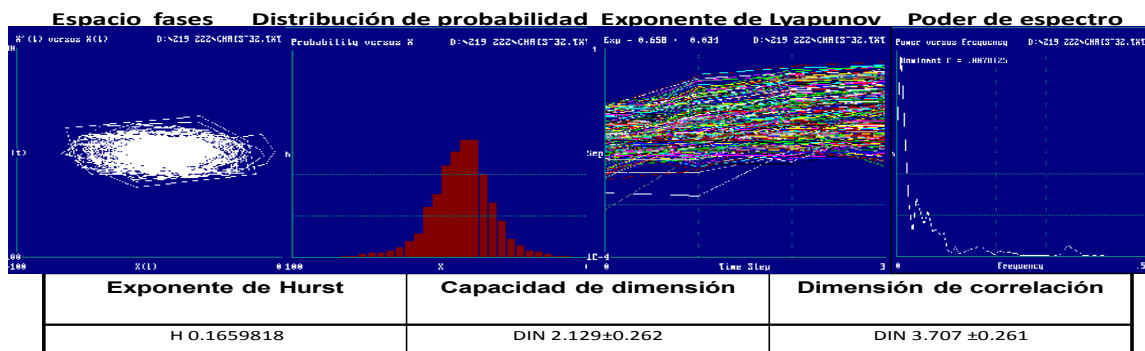
Etapas: Hiperventilación (229-32 DER3)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



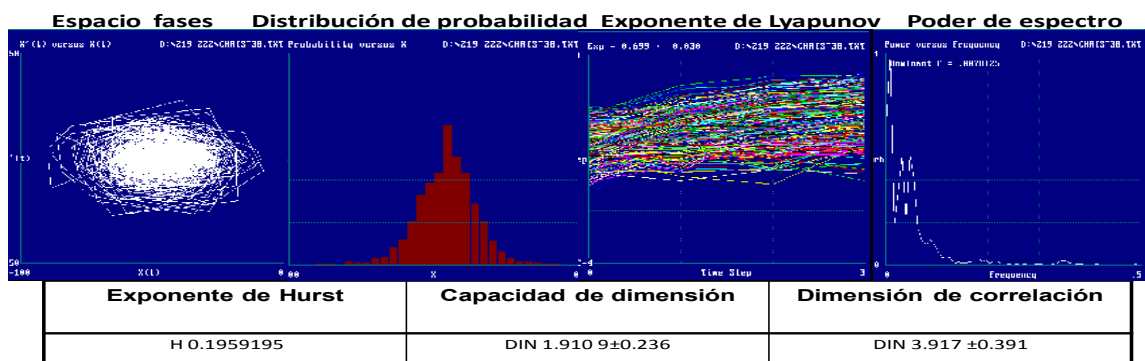
Etapas: Hiperventilación (229-32 DER4)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



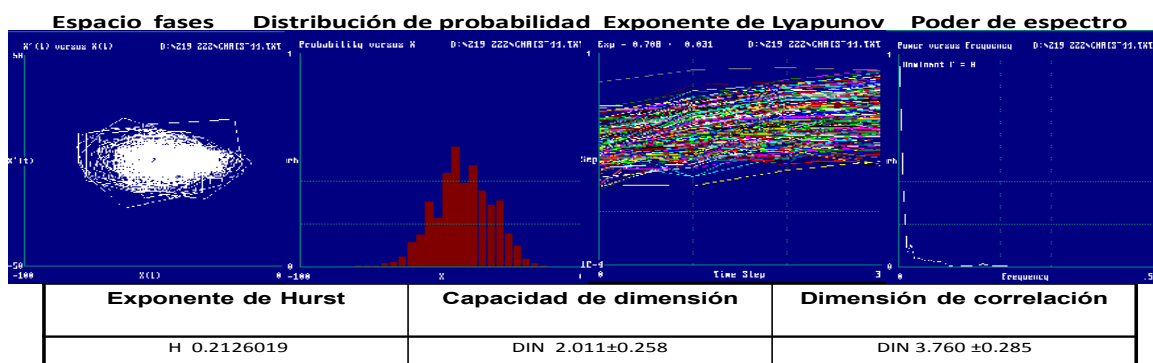
Etapas: Hiperventilación (229-32 DER5)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



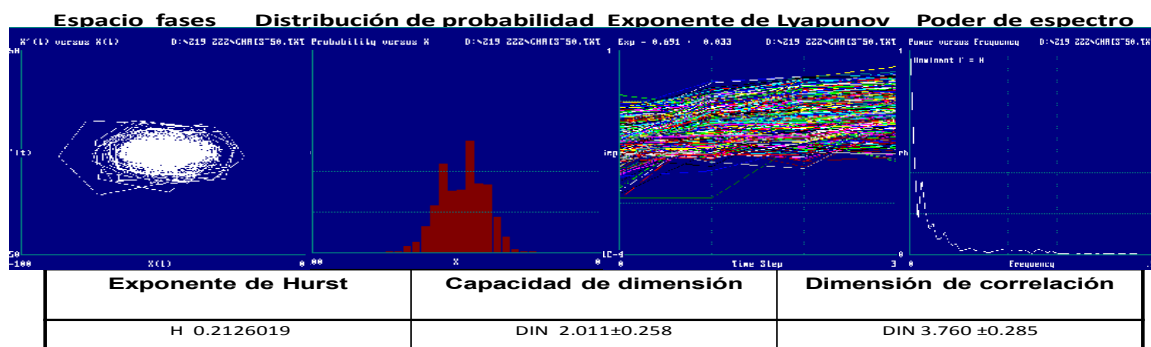
Etapas: Hiperventilación (229-32 DER6)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Etapas: Hiperventilación (229-32 DER7)

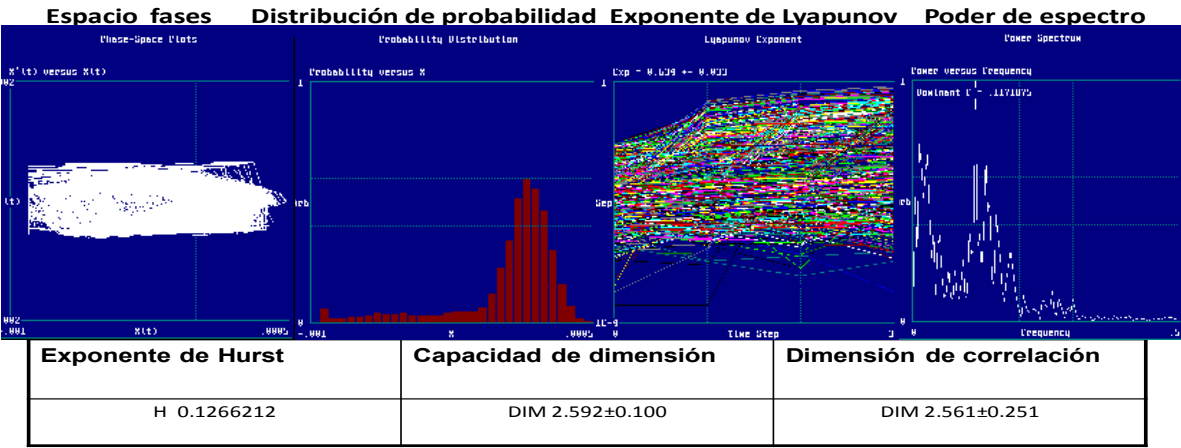
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Etapas: Hiperventilación (229-32 DER8)

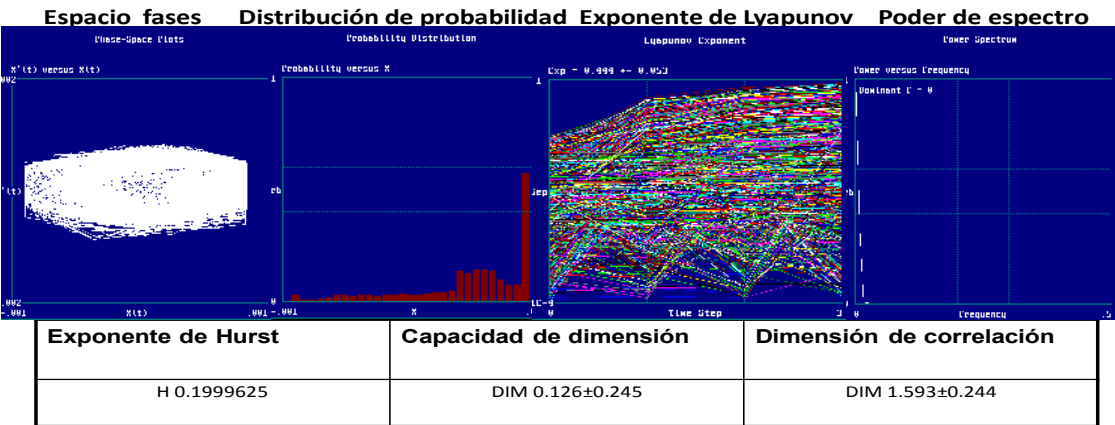
DESPUES DE LA ESTIMULACION DE CAMPO MAGNETICO

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



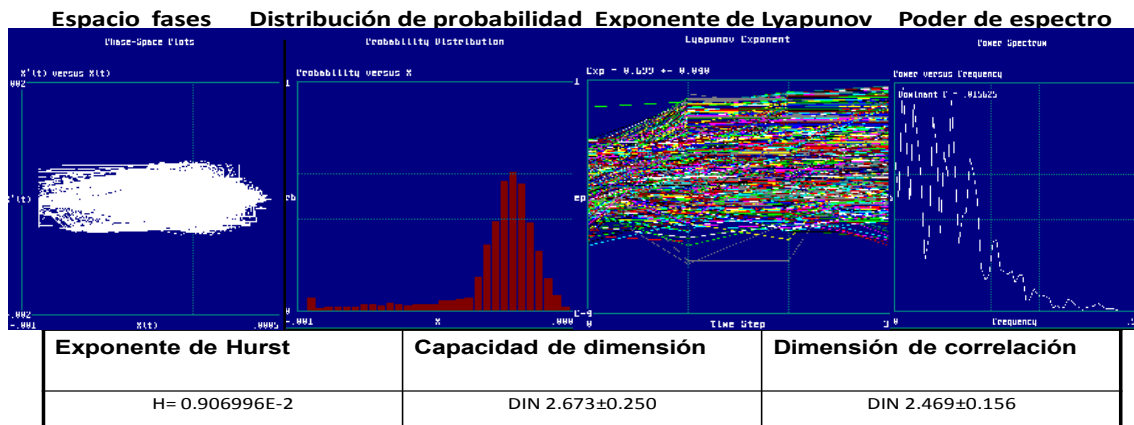
Eta­pa: Sueño (DER 1)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



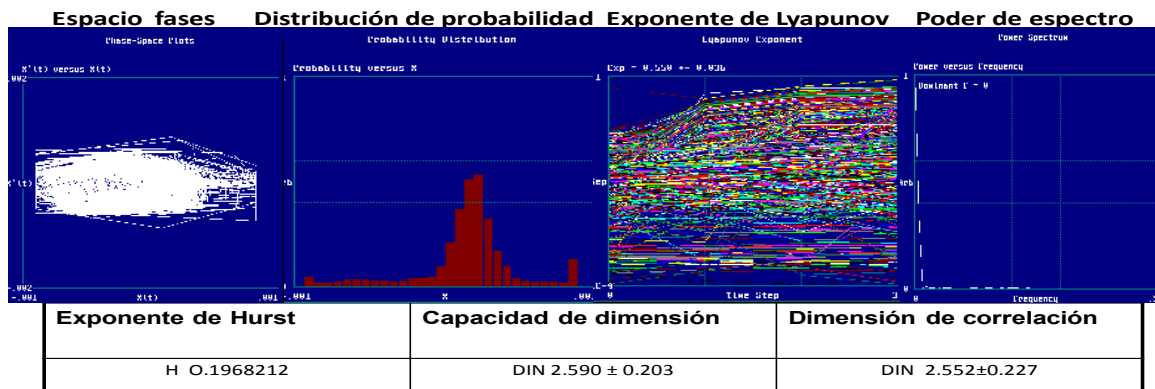
Eta­pa: Sueño (DER 2)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



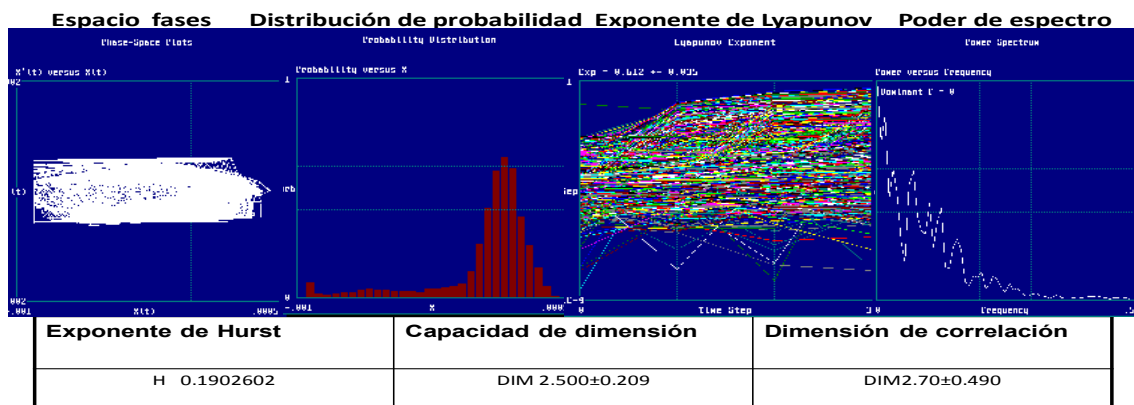
Etapa: Sueño (DER3)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



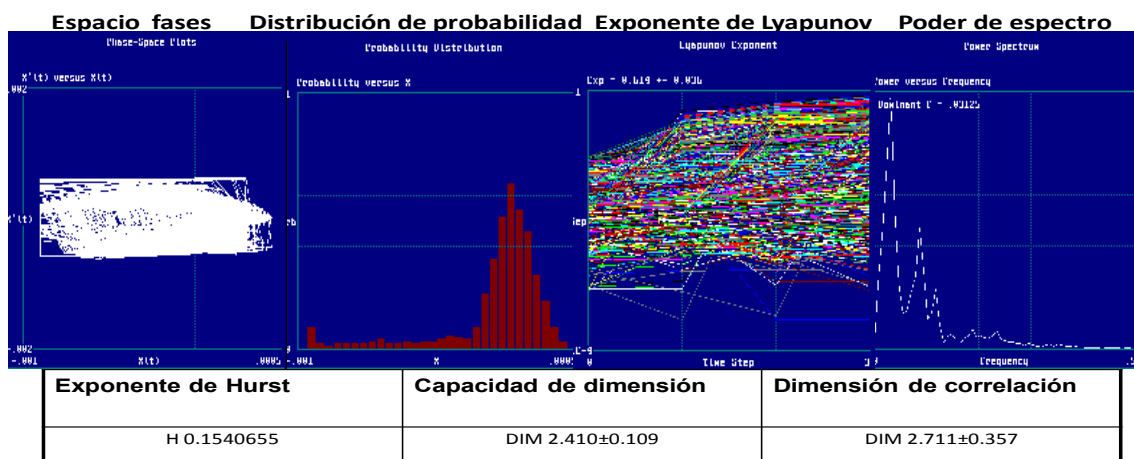
Etapa: Sueño (DER4)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Etapas: Sueño (DER 5)

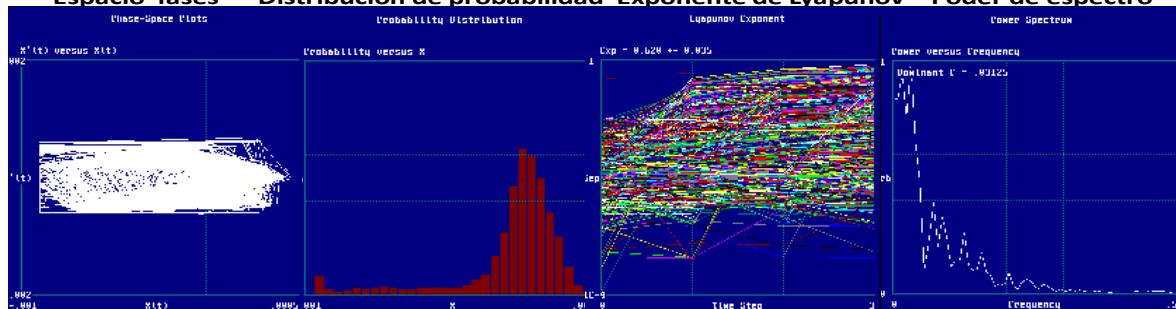
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Etapas: Sueño (DER 6)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	

Espacio fases Distribución de probabilidad Exponente de Lyapunov Poder de espectro

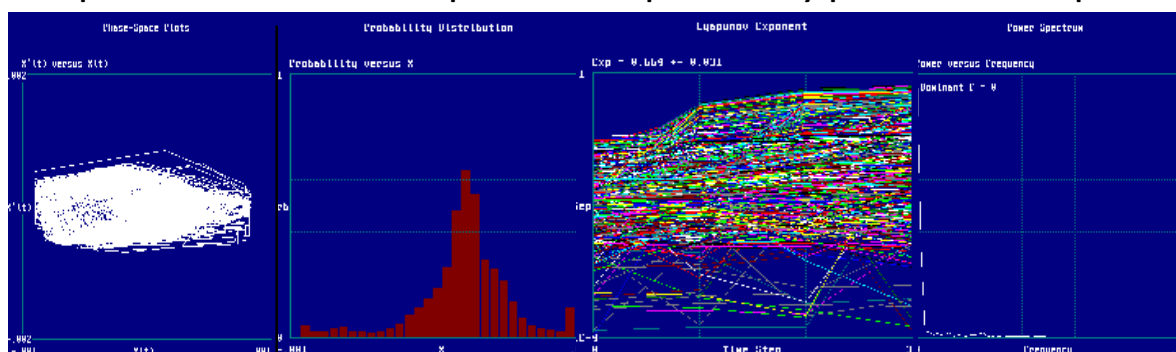


Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H 0.1419404	DIM 2.672±0.209	DIM 2.699±0.202

Etapas: Sueño (DER 7)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	

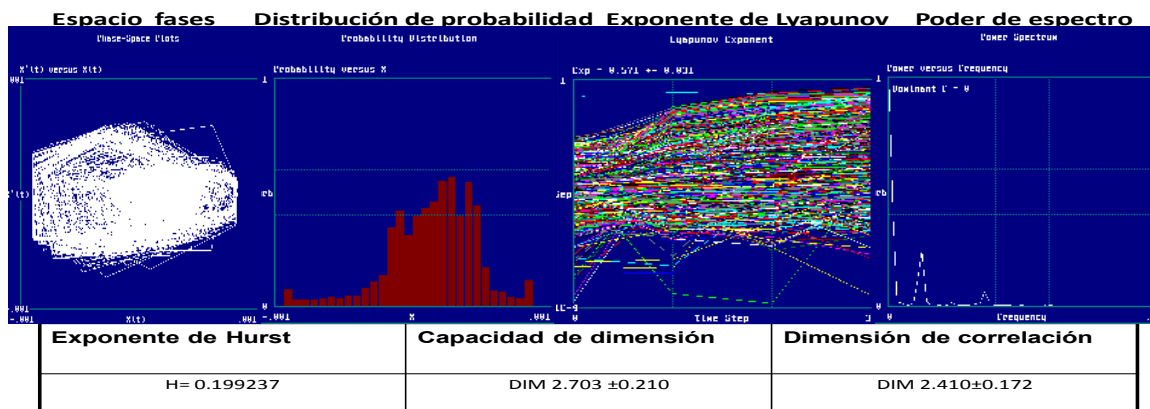
Espacio fases Distribución de probabilidad Exponente de Lyapunov Poder de espectro



Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
H = 0.1417305	DIM 2.600±0.203	DIM 1.022±0.65

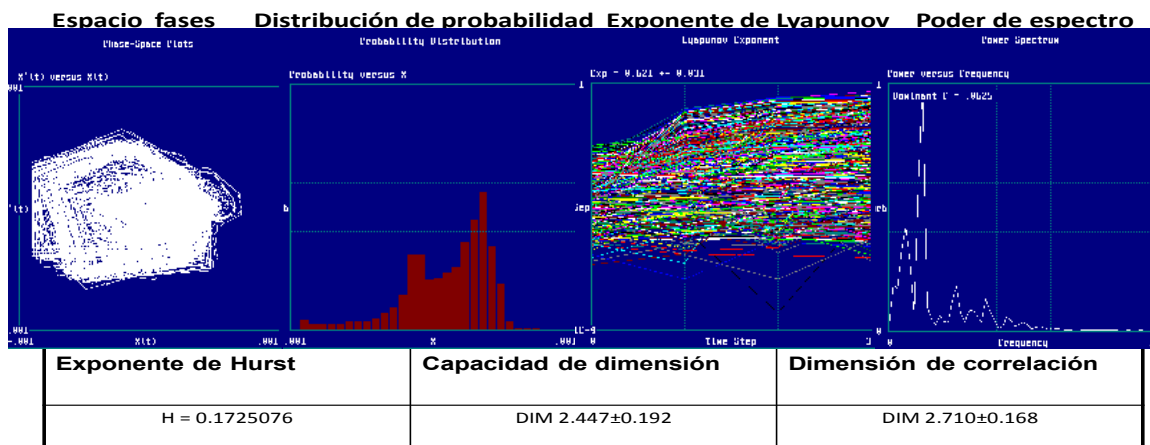
Etapas: Sueño (DER 1)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Etapas: Sueño (DER 2)

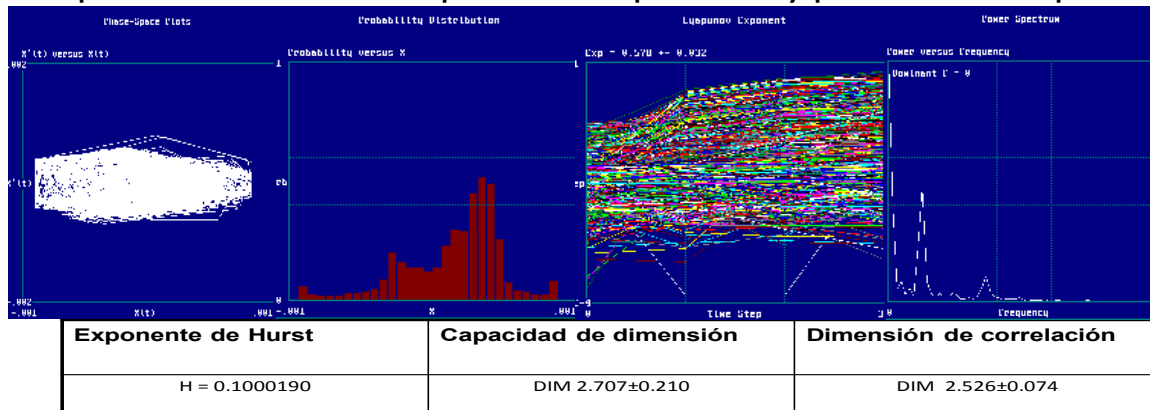
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Etapas: Sueño (DER 3)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	

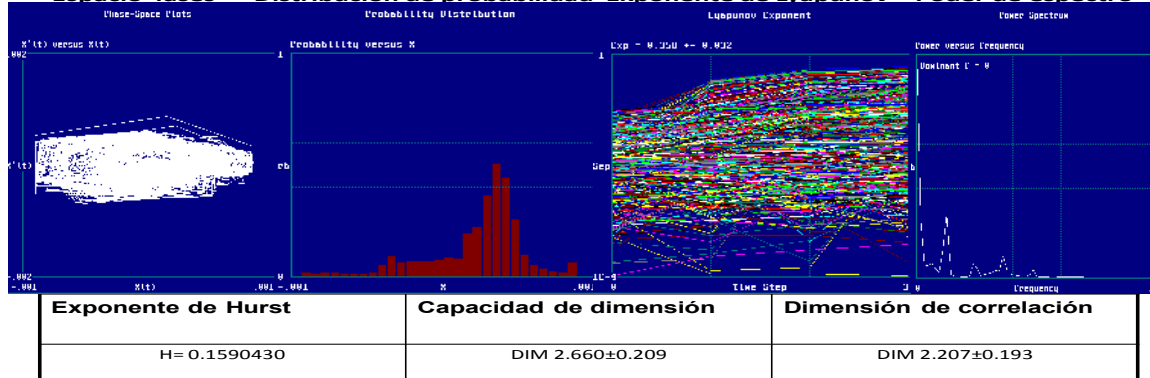
Espacio fases Distribución de probabilidad Exponente de Lyapunov Poder de espectro



Etapas: Sueño (DER 4)

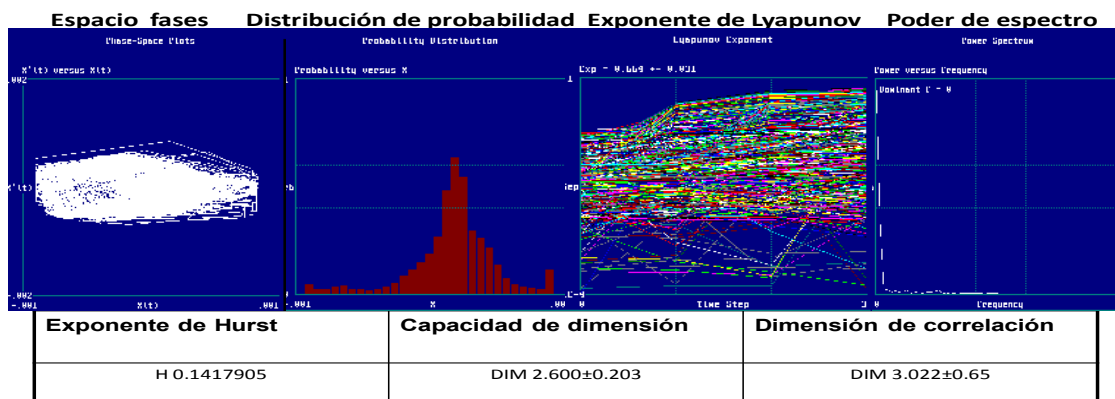
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	

Espacio fases Distribución de probabilidad Exponente de Lyapunov Poder de espectro



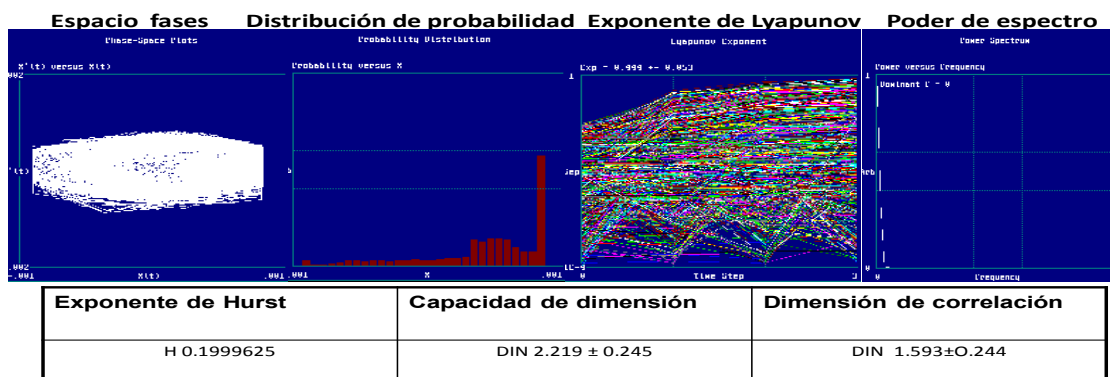
Etapas: Sueño (DER 5)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



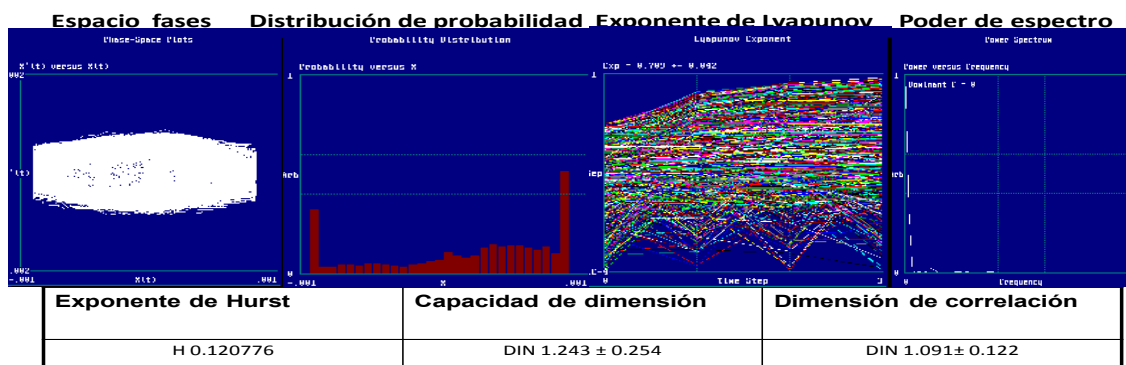
Etapas: Hiperventilacion (DER 1)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



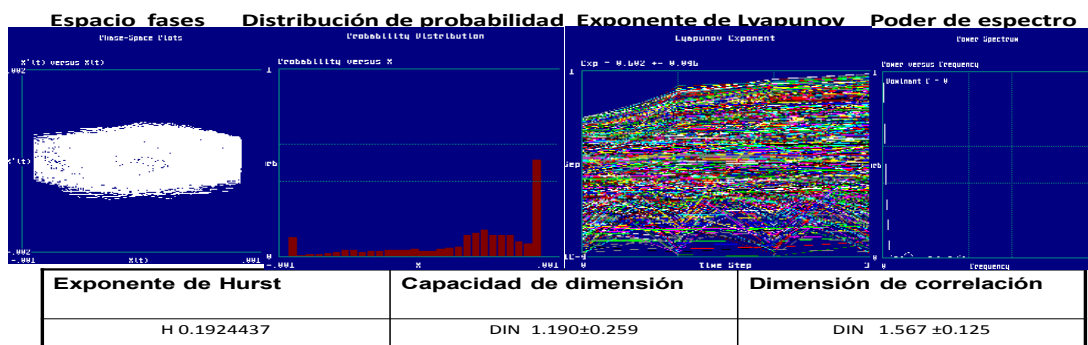
Etapas: hiperventilación (DER2)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



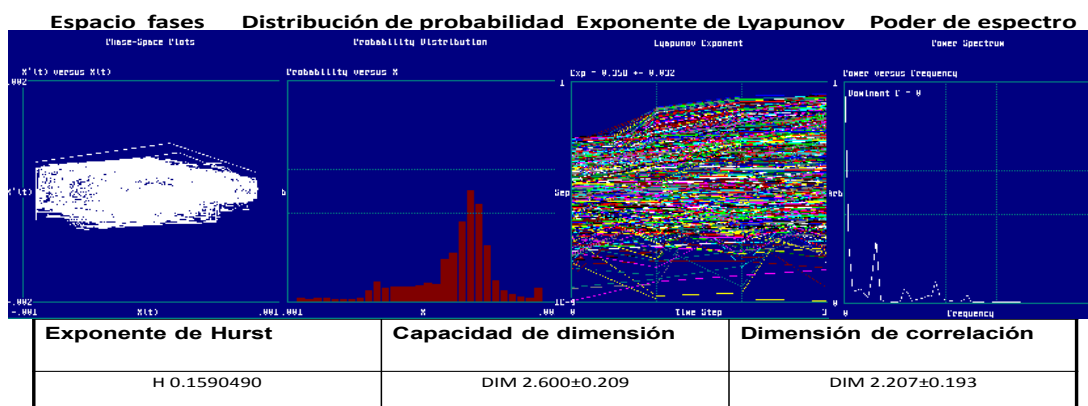
Etapas: hiperventilación (DER3)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



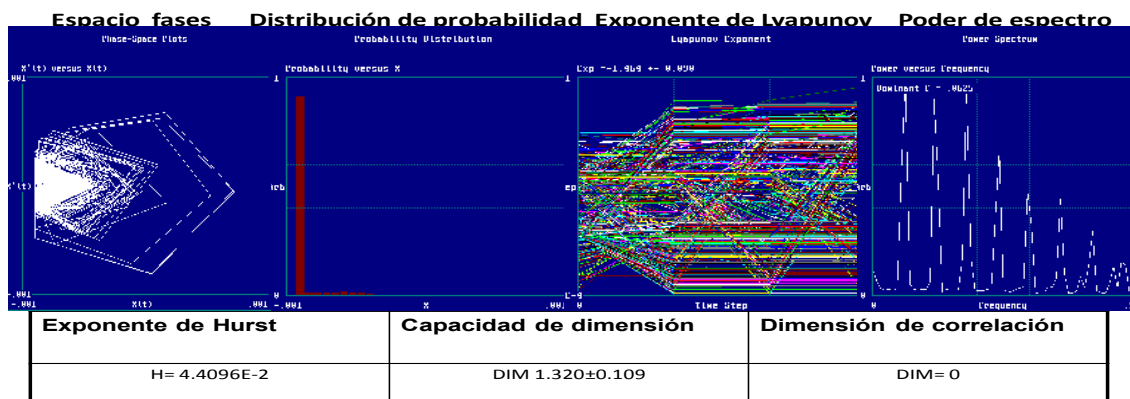
Etapas: hiperventilación (DER4)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



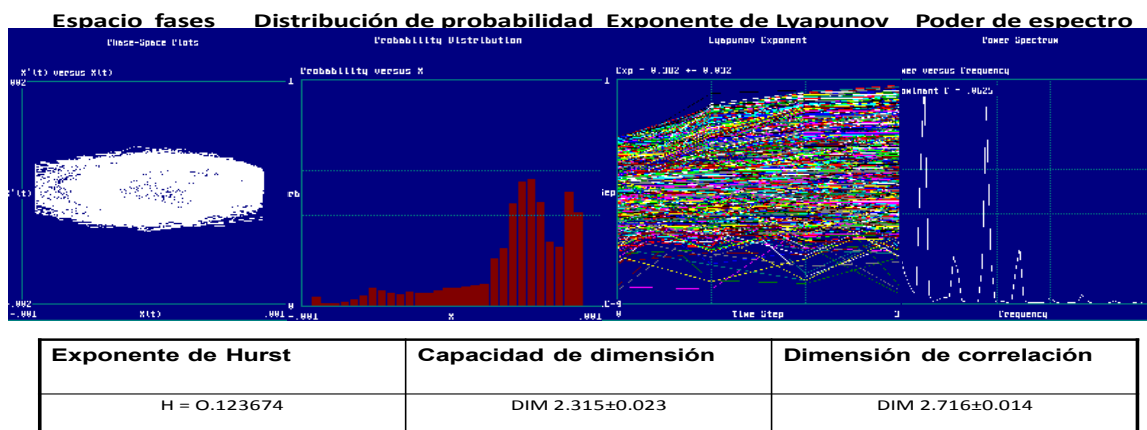
Etapas: Hiperventilacion (DER 5)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



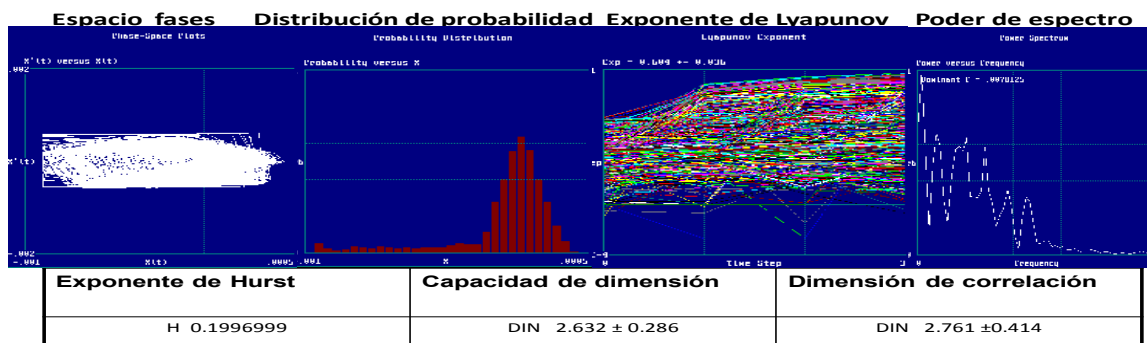
Etapas: Hiperventilación (DER 6)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



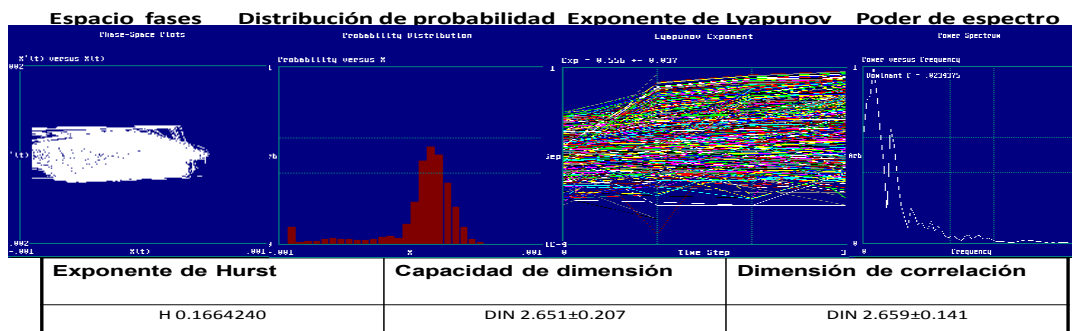
Etapas: Hiperventilación (DER 7)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



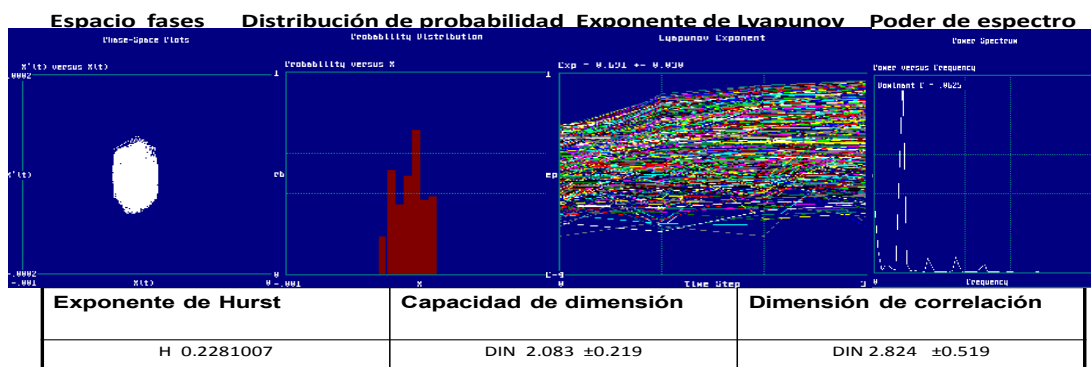
Etapas: Hiperventilación(DER1)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



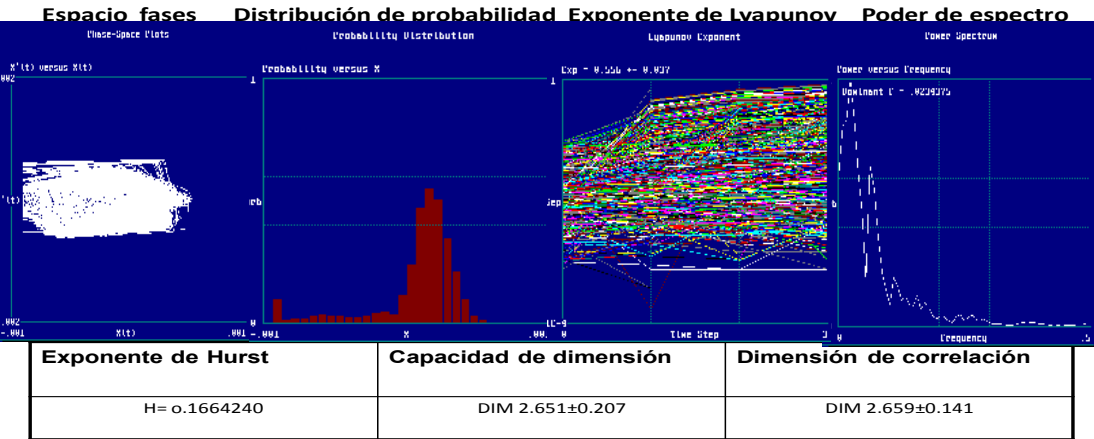
Etapas: Hiperventilación(DER2)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



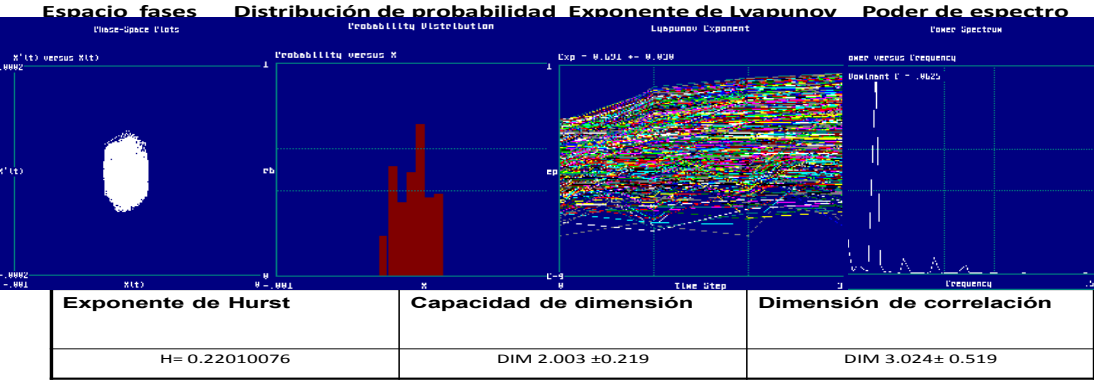
Etapas: Hiperventilación(DER3)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



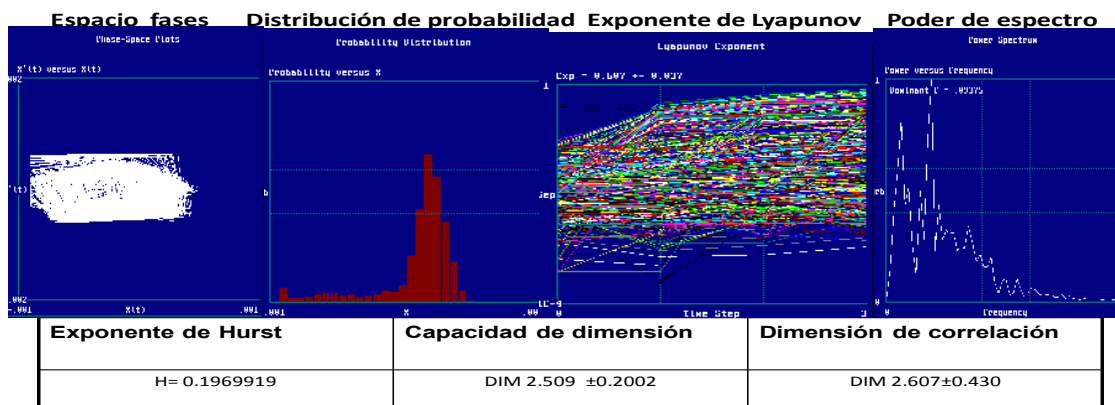
Etapas: Hiperventilación(DER 3)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



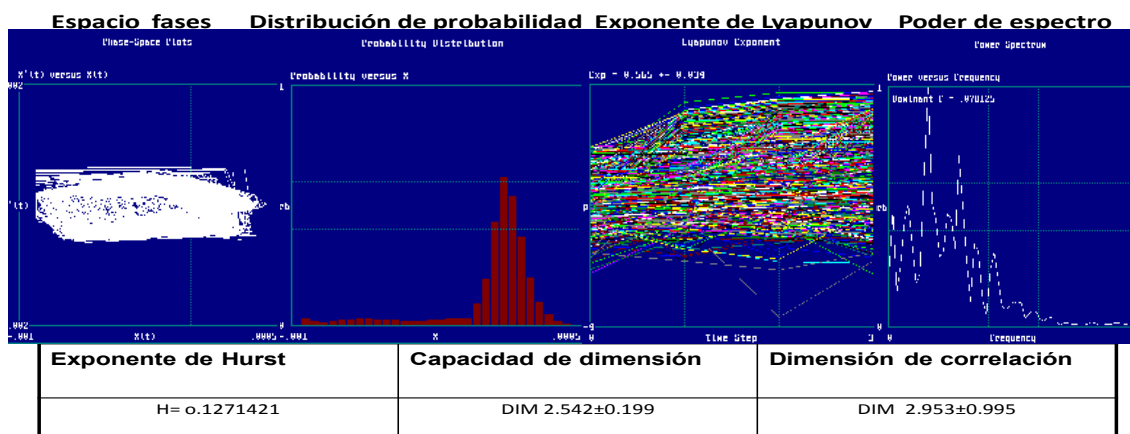
Etapas: Hiperventilación(DER 4)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



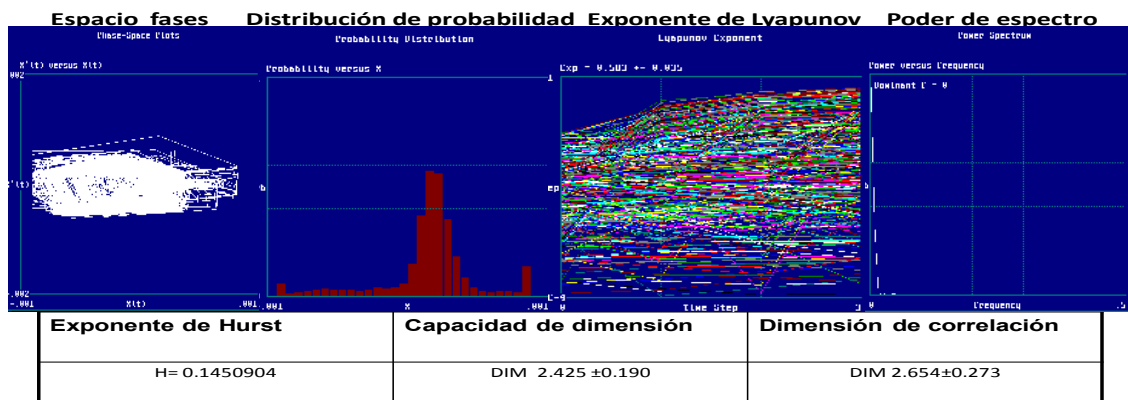
Etapas: Hiperventilación(DER 5)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



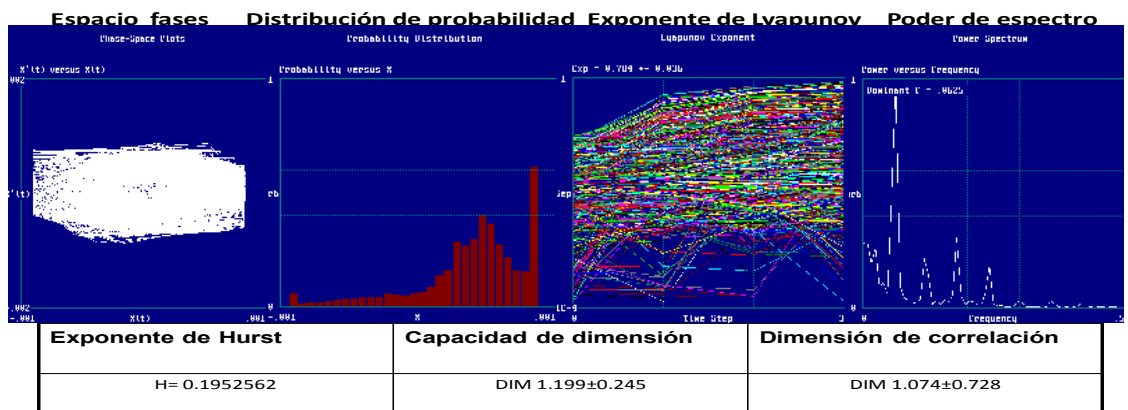
Etapas: Hiperventilación(DER 6)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



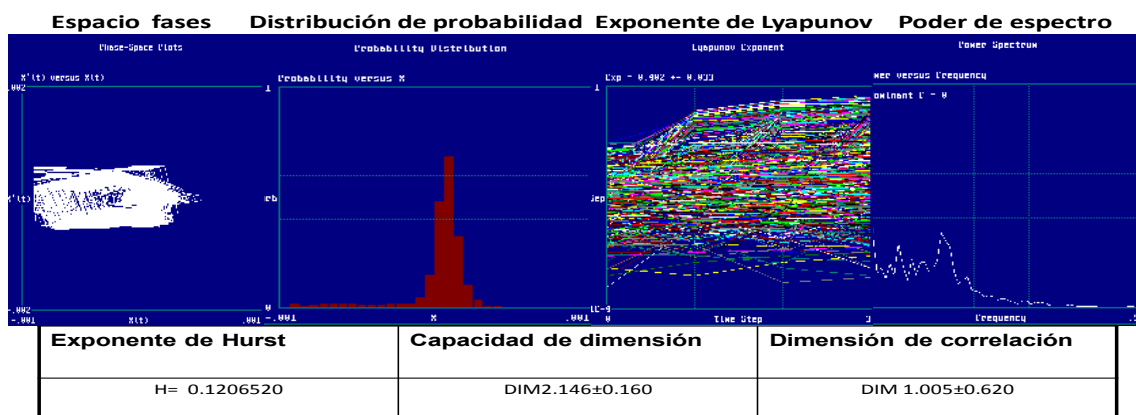
Etaa: Hiperventilación(DER 7)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



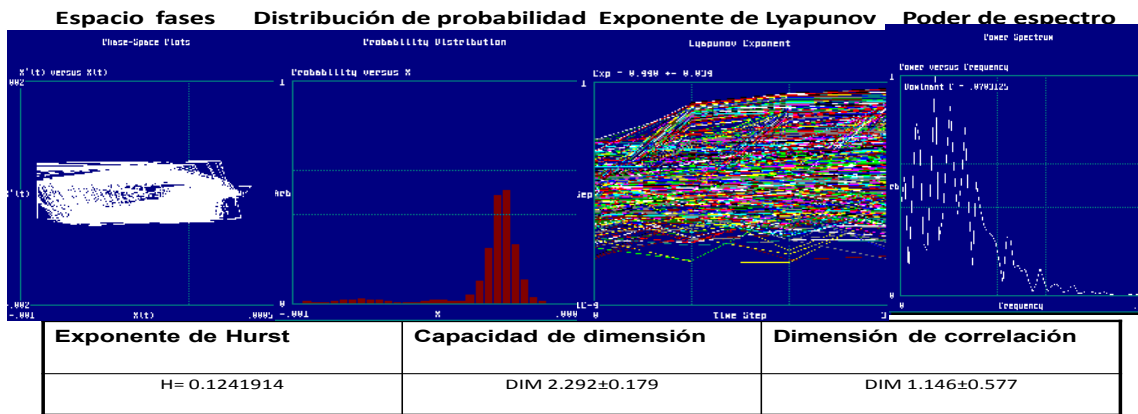
Etaa: Ojos Abiertos (DER 1)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Etaa: Ojos Abiertos (DER 2)

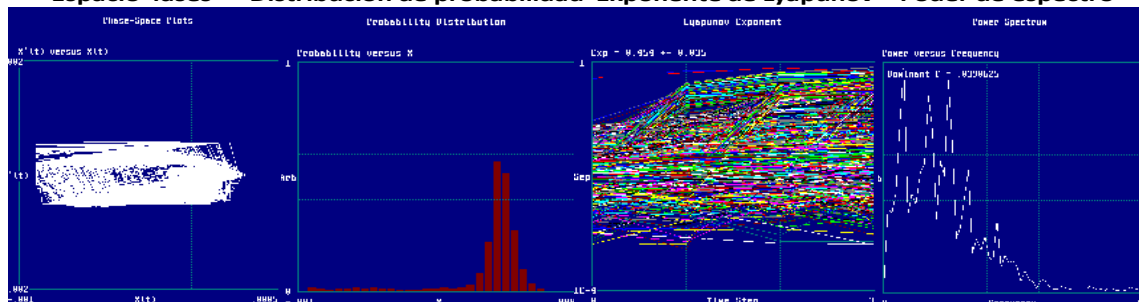
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Etapas: Ojos Abiertos (DER 3)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	

Espacio fases Distribución de probabilidad Exponente de Lyapunov Poder de espectro

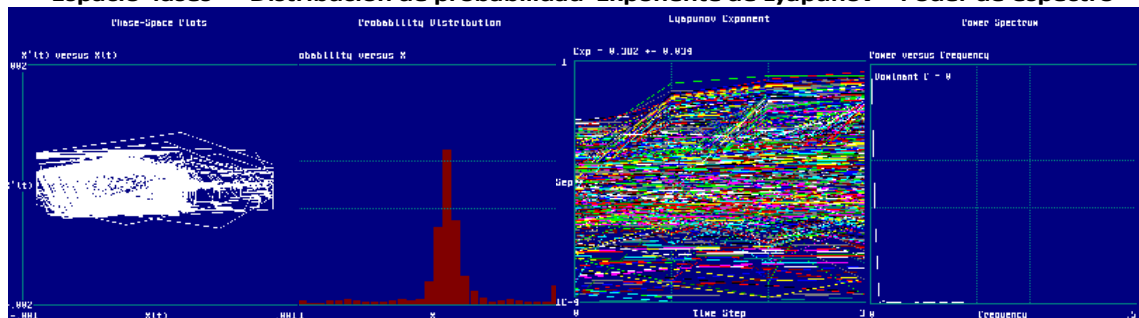


Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
$H = 0.1241914$	$DIM\ 2.292 \pm 0.179$	$DIM\ 1.146 \pm 0.577$

Etap: Ojos Abiertos (DER 4)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	

Espacio fases Distribución de probabilidad Exponente de Lyapunov Poder de espectro

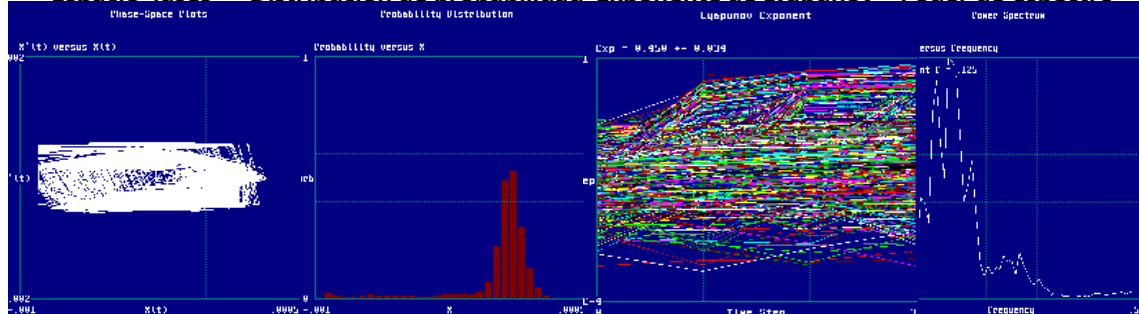


Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
$H = 0.1297020$	$DIM\ 2.212 \pm 0.173$	$DIM\ 1.096 \pm 0.592$

Etap: Ojos Abiertos (DER 5)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	

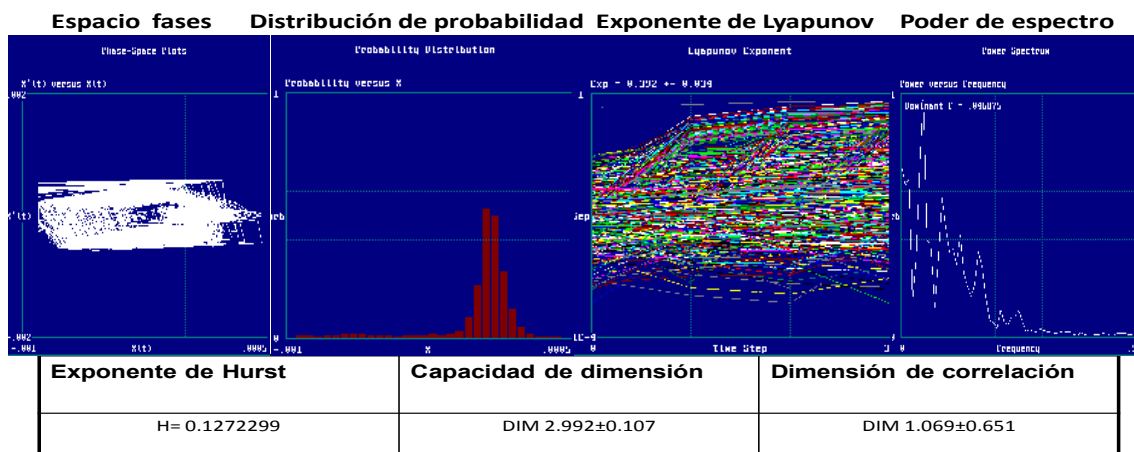
Espacio fases Distribución de probabilidad Exponente de Lyapunov Poder de espectro



Exponente de Hurst	Capacidad de dimensión	Dimensión de correlación
$H = 0.1292617$	$DIM\ 2.393 \pm 0.109$	$DIM\ 1.055 \pm 0.642$

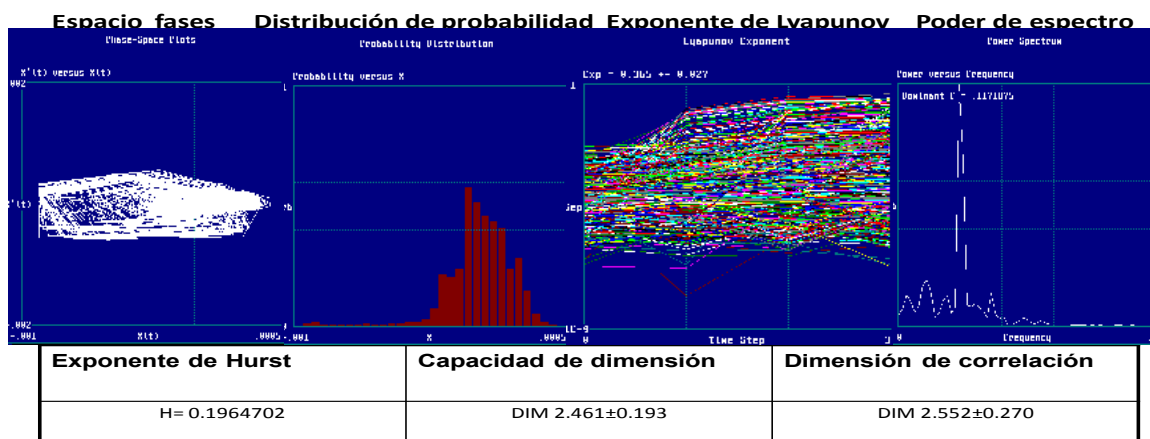
Etap: Ojos Abiertos (DER 6)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



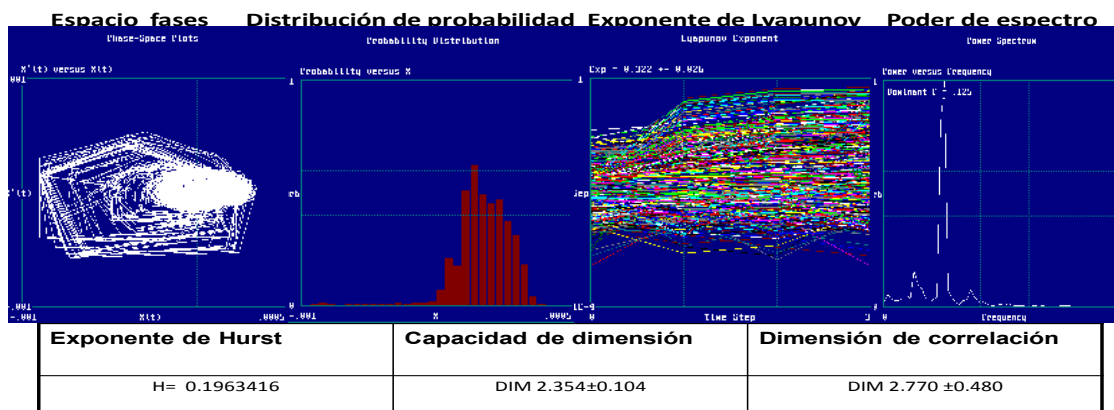
Etapa: Ojos Abiertos (DER 7)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



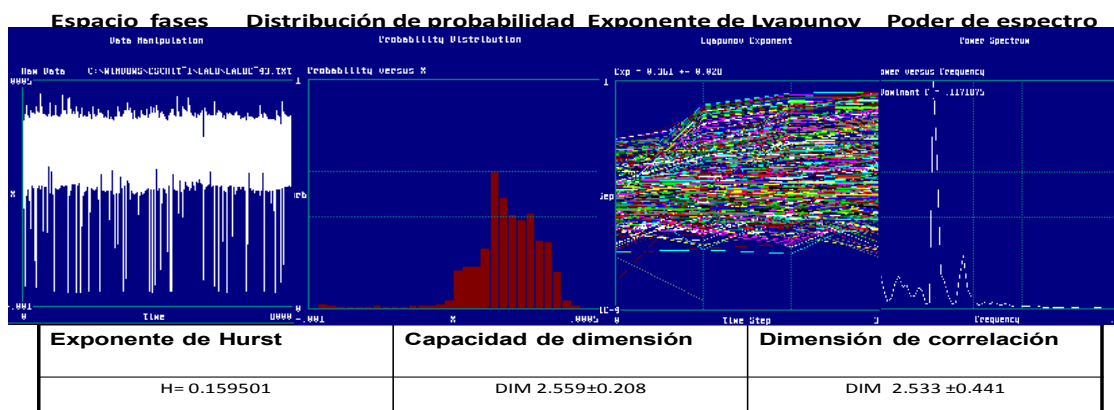
Etapa: Ojos Cerrados (DER 2)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



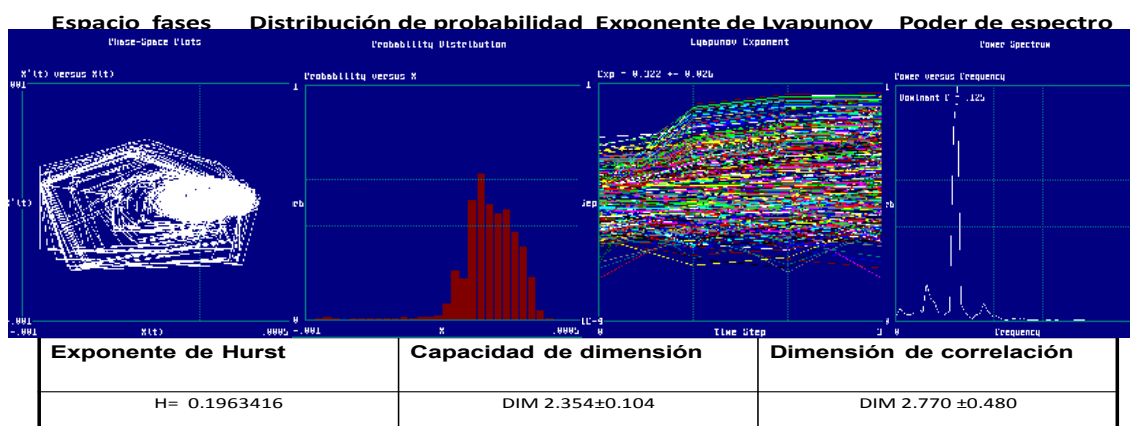
Etapa: Ojos Cerrados (DER 3)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



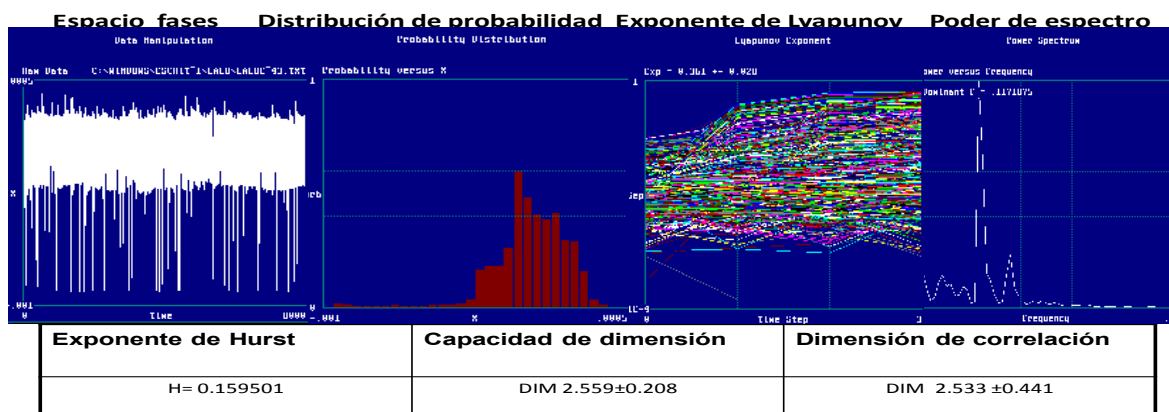
Etapa: Ojos Cerrados (DER 5)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



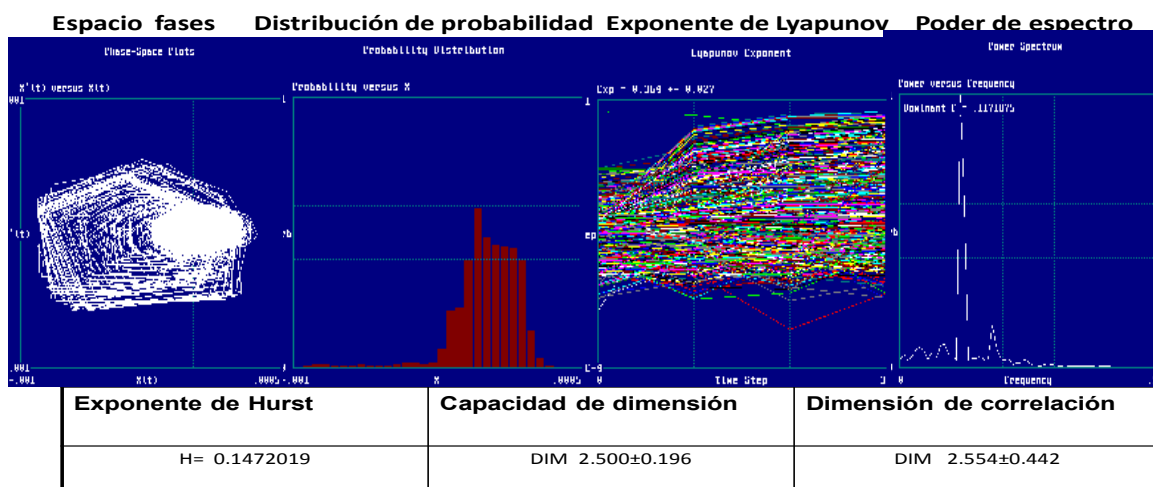
Etapa: Ojos Cerrados (DER 3)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



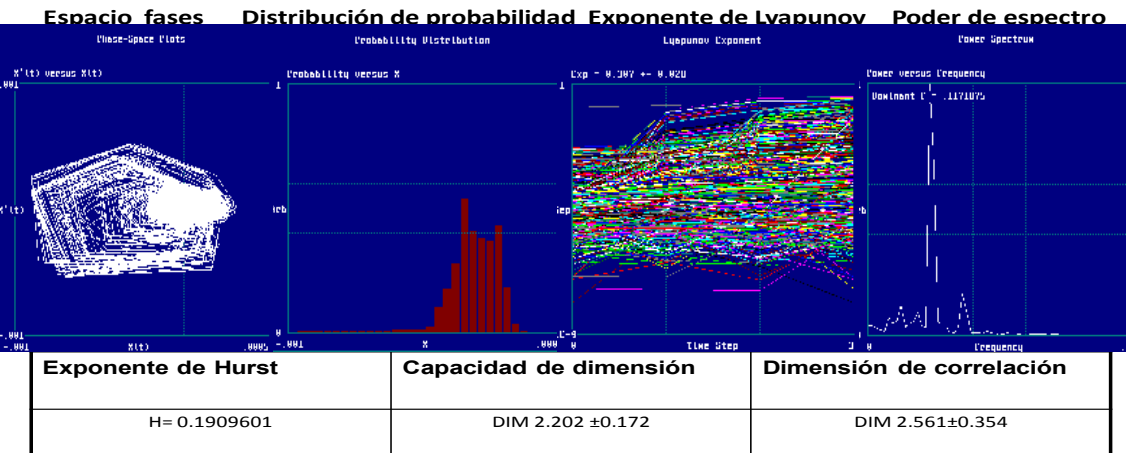
Etapas: Ojos Cerrados (DER 5)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Etapas: Ojos Cerrados (DER 6)

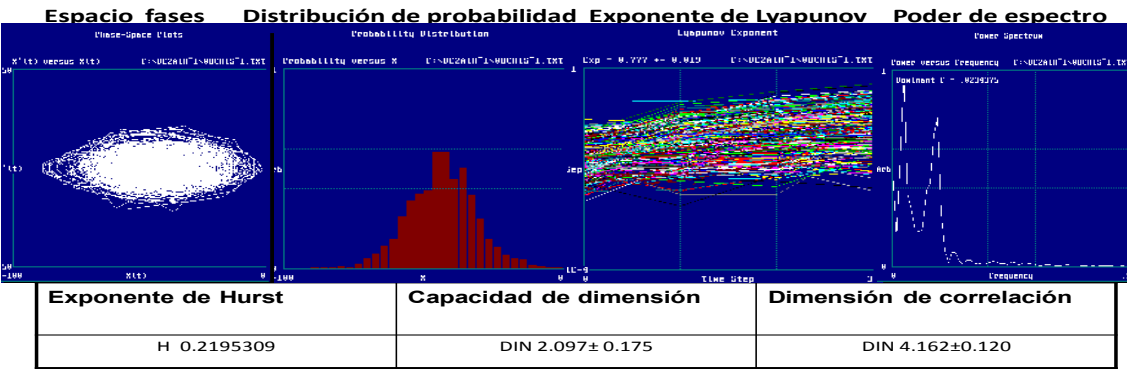
Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Etapas: Ojos Cerrados (DER 7)

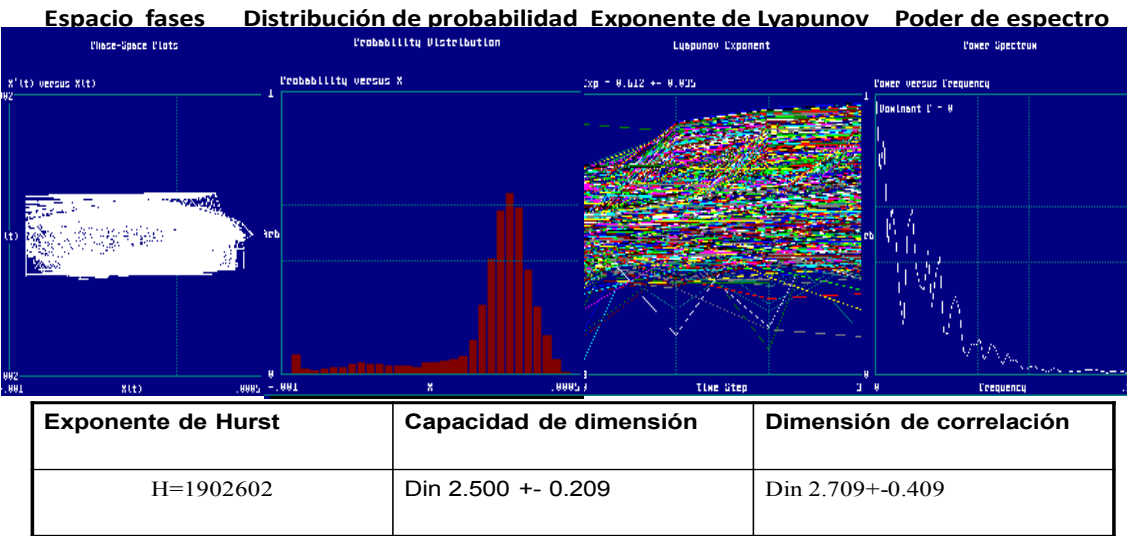
RESULTADOS COMPARATIVO

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



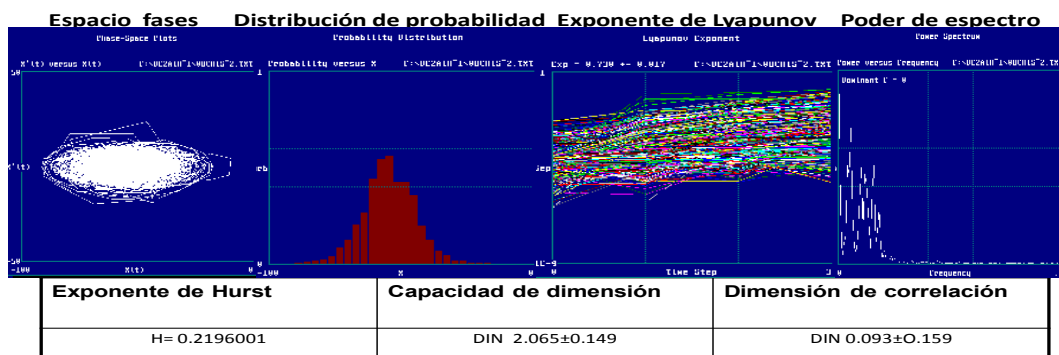
Etapas: Sueño (DER 1)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Eduardo	17	Masculino	



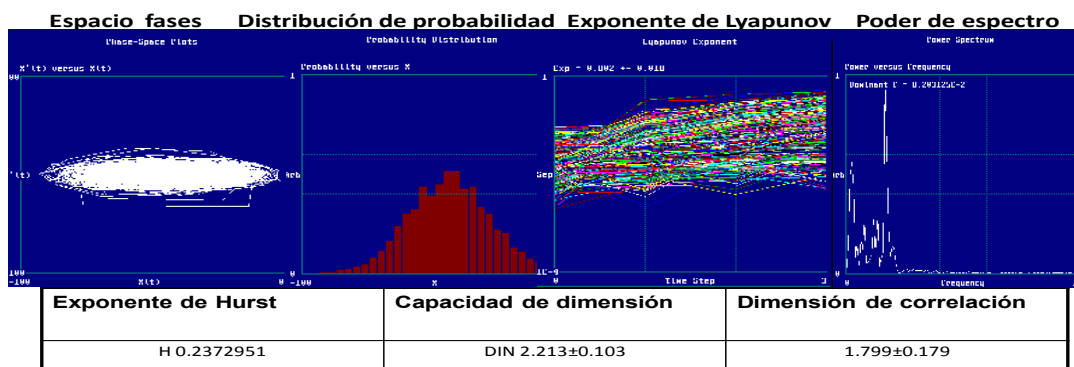
ETAPA: SUEÑO(DER 2)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



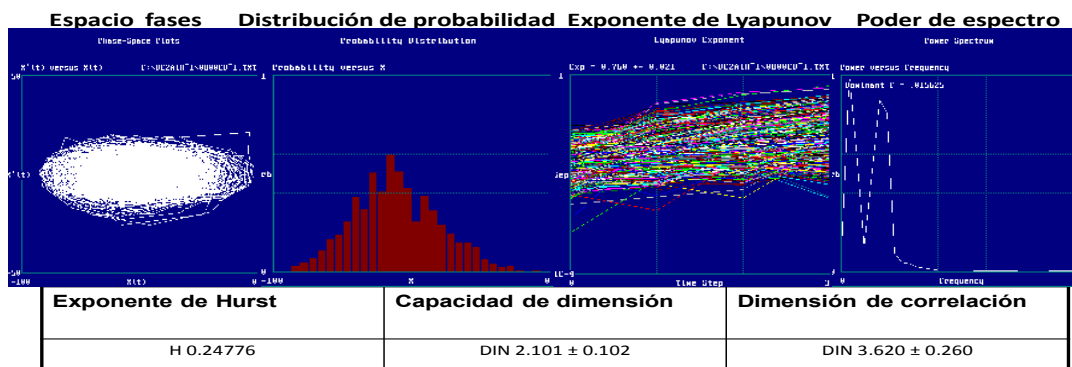
Etapas: Sueño (DER3)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



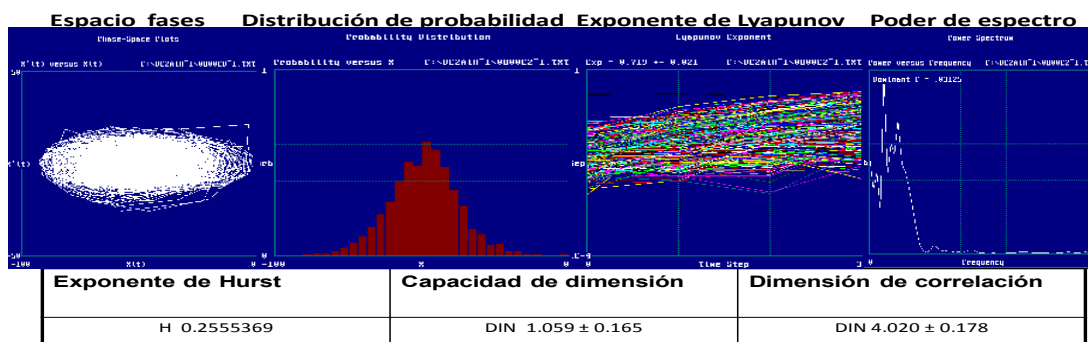
Etapas: Sueño (DER4)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



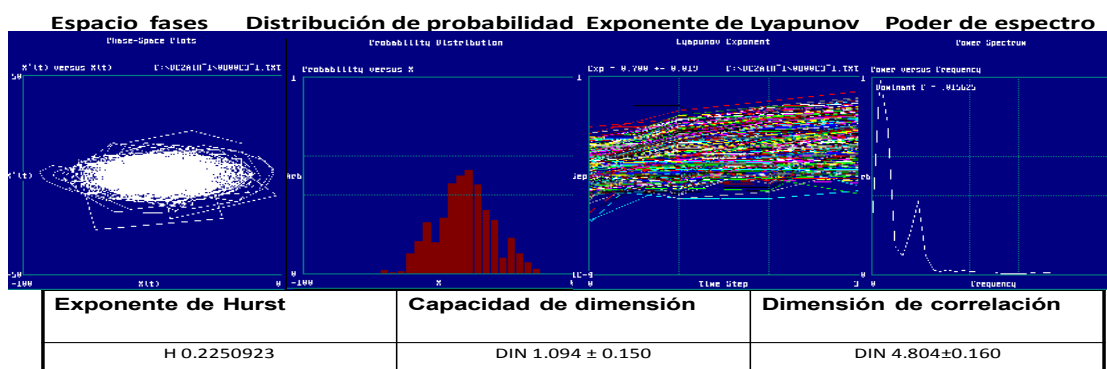
Etaa: Sueño (DER 5)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



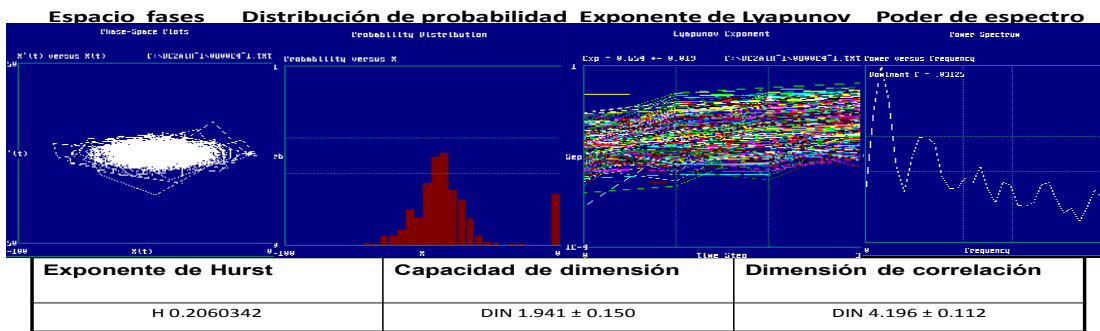
Etaa: Sueño (DER 6)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



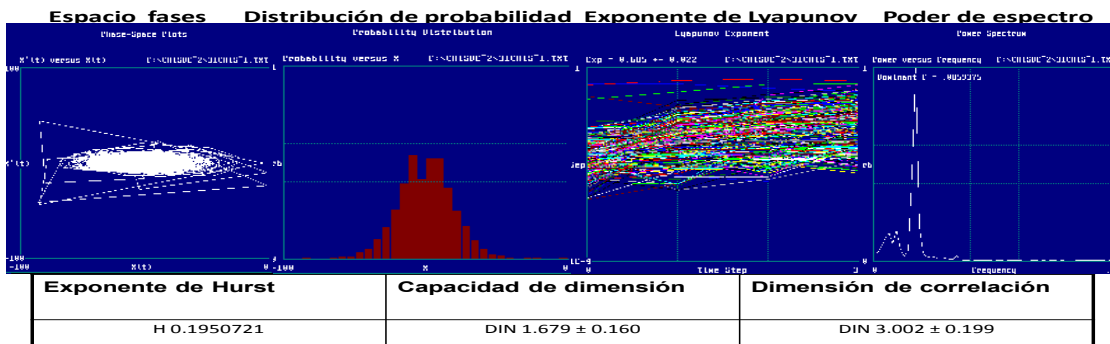
Etaa: Sueño (DER 7)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



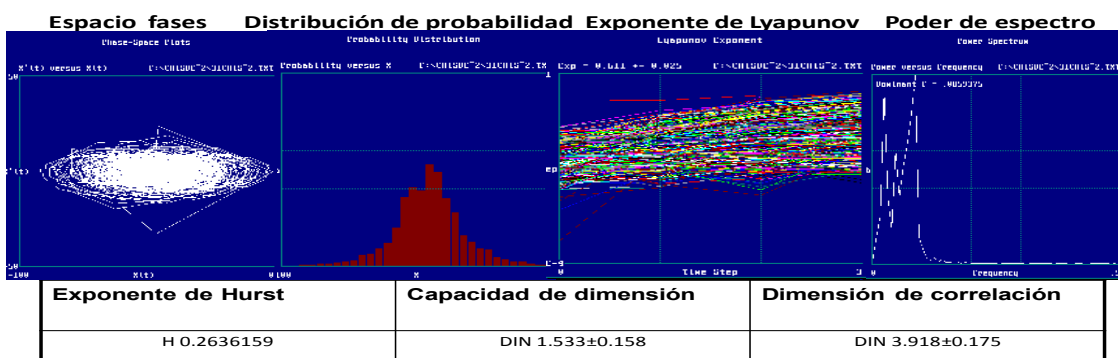
Etapas: Sueño (DER 8)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



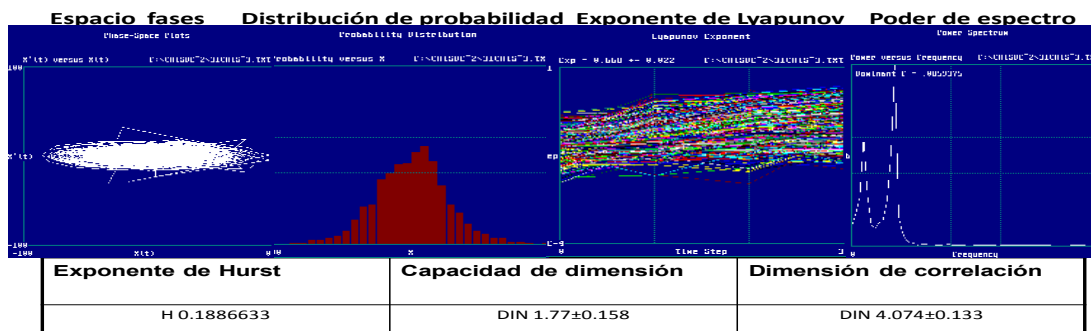
Etapas: OJOS ABIERTOS (DER1)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



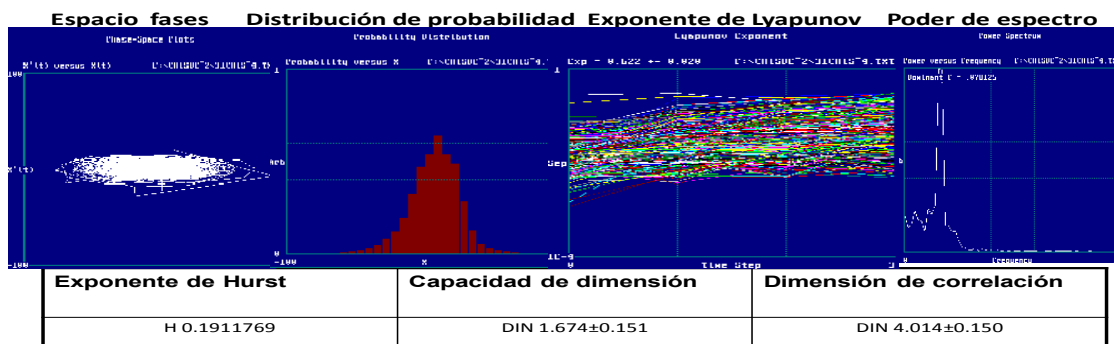
Etapas: OJOS ABIERTOS (DER2)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



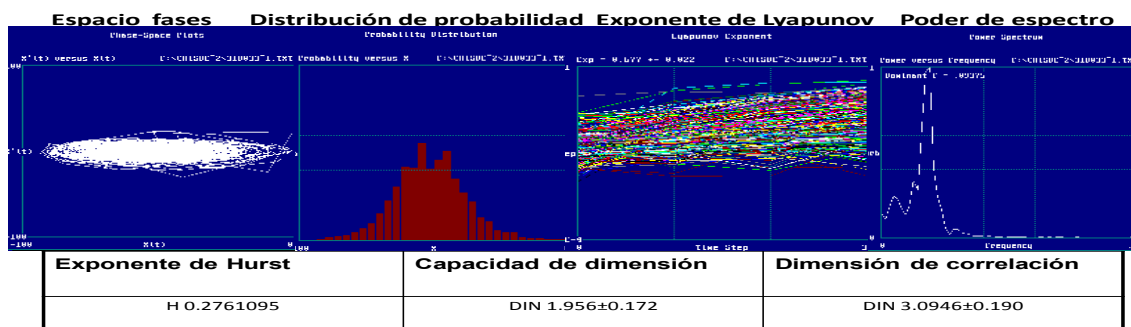
Etapas: OJOS ABIERTOS (DER3)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



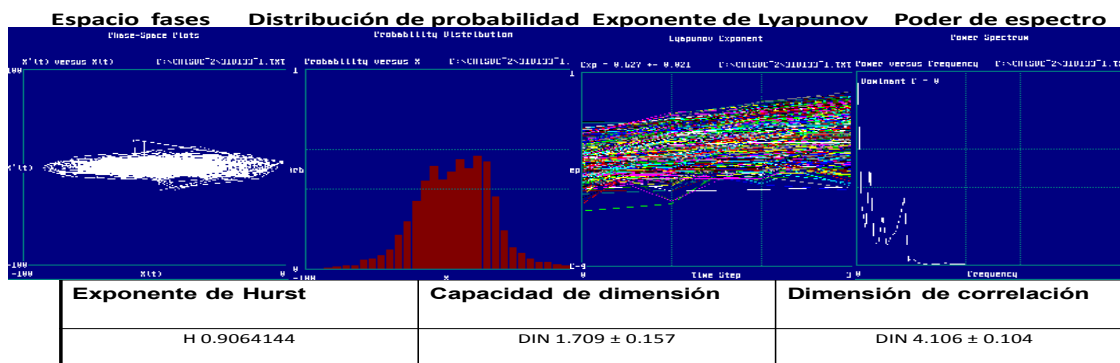
Etapas: OJOS ABIERTOS (DER4)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



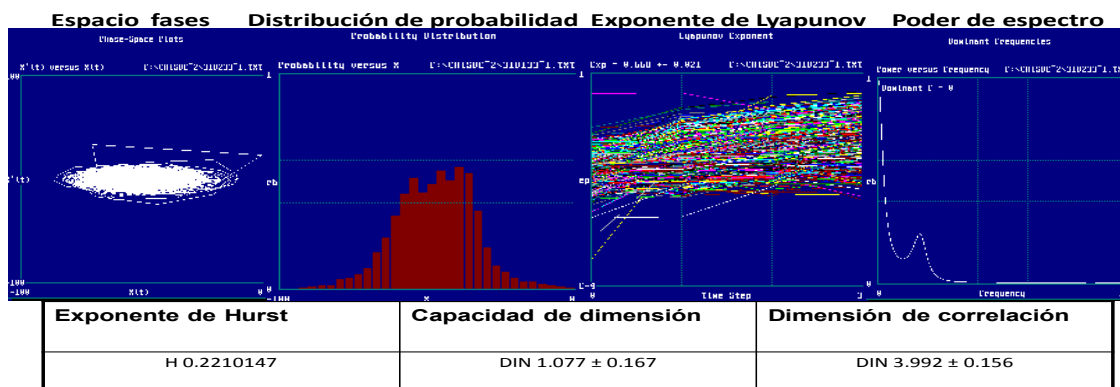
Etapas: OJOS ABIERTOS (DER5)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



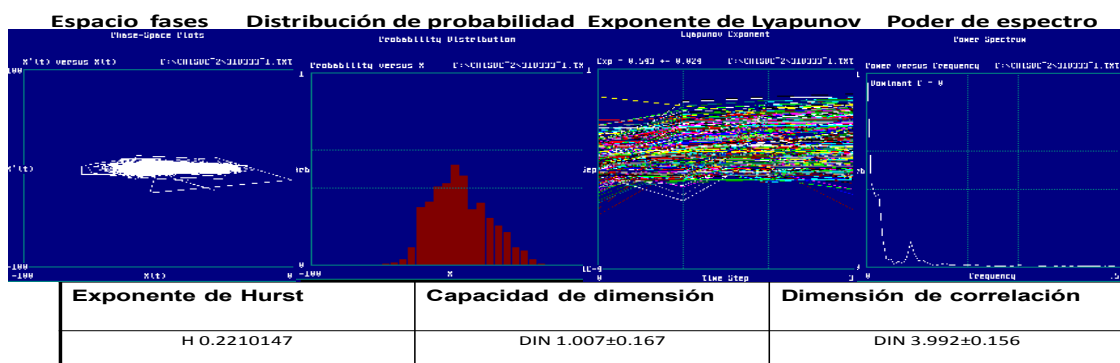
Etap: OJOS ABIERTOS (DER6)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



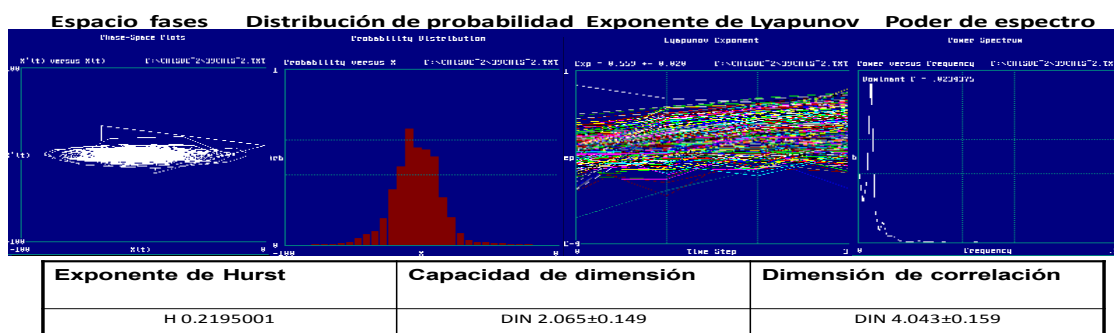
Etap: OJOS ABIERTOS (DER7)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



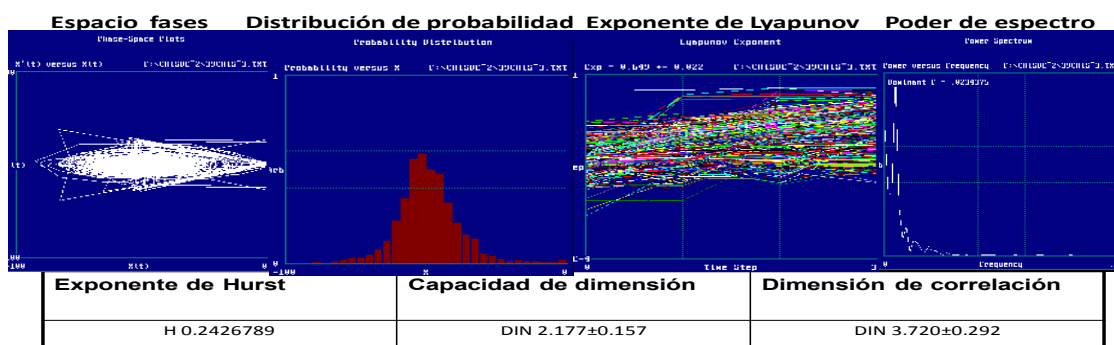
Etap: OJOS ABIERTOS (DER8)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



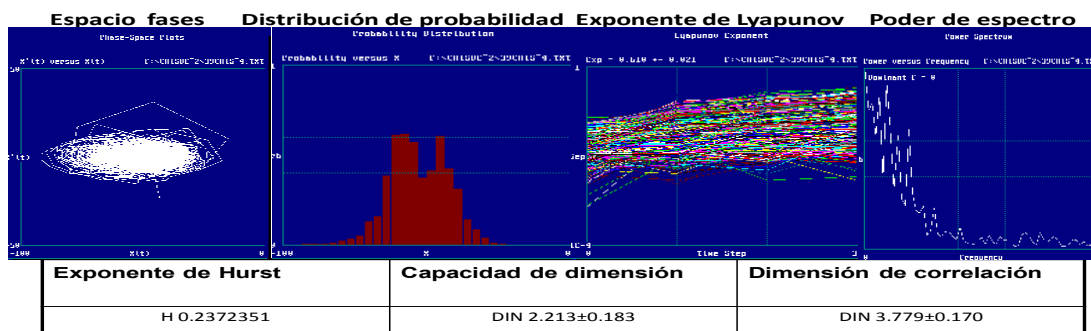
Etapa: HIPERVENTILACION (DER1)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



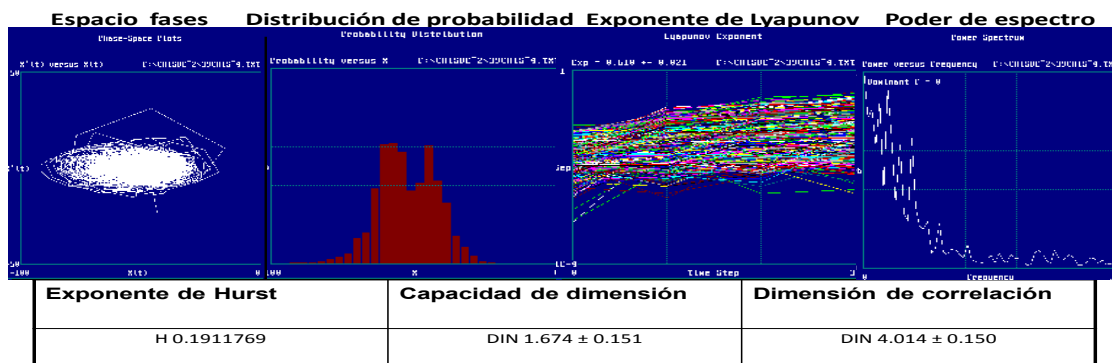
Etapa: HIPERVENTILACION (DER2)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



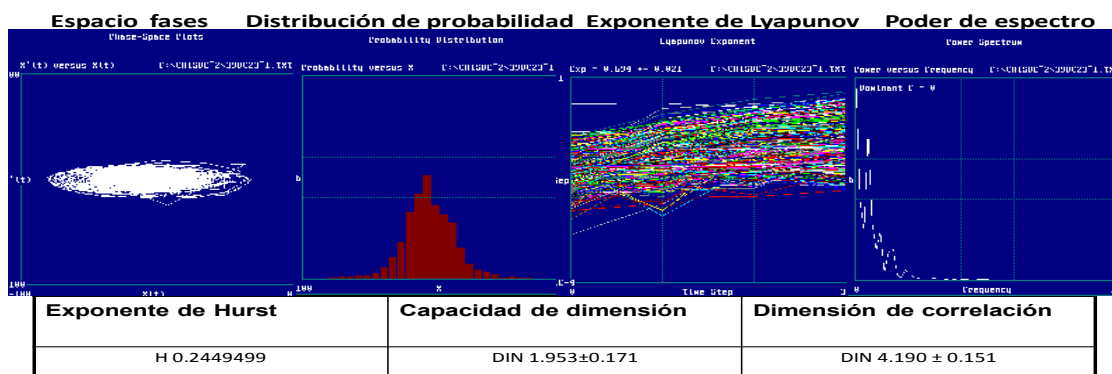
Etapa: HIPERVENTILACION (DER3)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



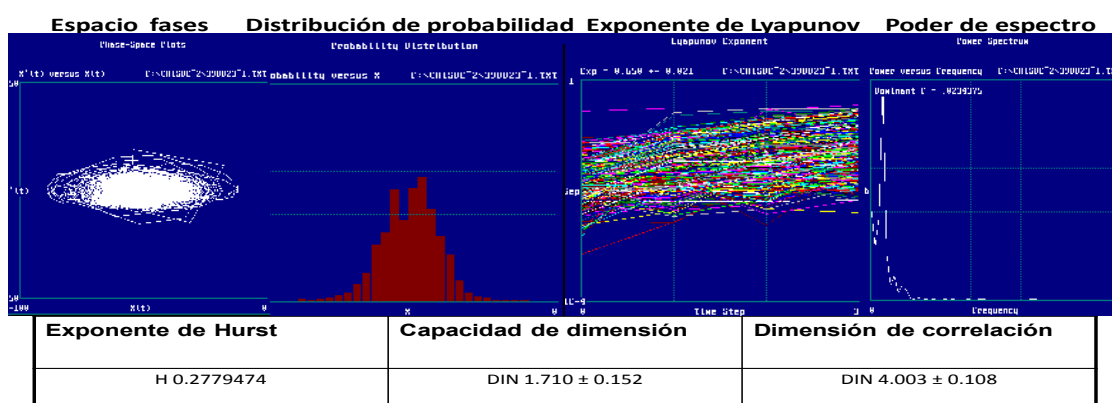
Etap: HIPERVENTILACION (DER4)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



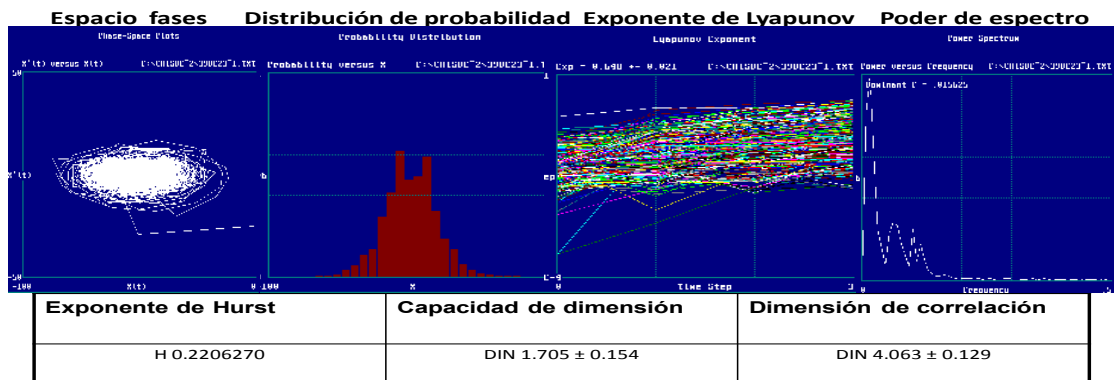
Etap: HIPERVENTILACION (DER5)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



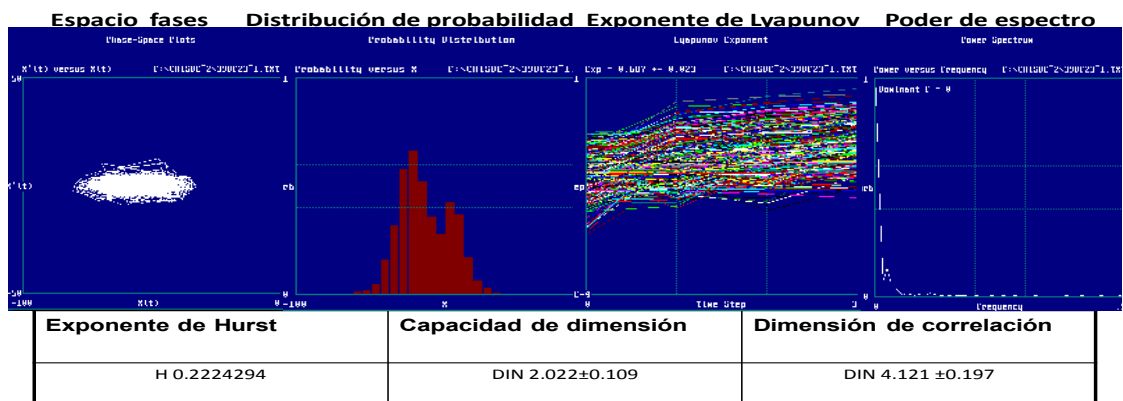
Etap: HIPERVENTILACION (DER6)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Etapas: HIPERVENTILACION (DER7)

Nombre	Edad	Sexo	Presión
Cristian	15	Masculino	



Etapas: HIPERVENTILACION (DER8)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Perez Muñuzuri. V. "Ondas en medios Activos No Lineales", Grupo de física no lineal. Facultad de Física, Universidad de Santiago de Compostela 15706 Santiago de Compostela.
2. Hans Crauel, Mattias Gundlach.. "Stochastic Dynamics". Numerical Approximation of Randon Attractors. Cravel Gundlach Editors.
3. Cesar Monroy Olivares Artículos de Bryce S. De Witt, Laurent Nottale y Luis Ibañez "Curvas Fractales" y "Teoría del caos", Editorial Alfaomega. Investigación y ciencia. Diversos números.
4. Arrowsmith, D.K., c.m. place (1992) Dynamical Sistem. Diferencial equations, maps and caotic Behavior (capitulo 3), Chapman & Hall, London.
5. Eduard N. Lorenz "Deterministic nonperiodic flow, en el Journal of Atmospheric Sciences 20.69(1976).5. Journal of the atmoferic sciences volume 20. Deterministic Nonperiodic Flow. Massachusetts Institute of Tecnology (Manuscript received 18 Noviembre 1962, in revised form 7 January 1963).
6. Predag Cvitanovic', Universality in chaos, 1984, Printed in Great Britian by J.W. Arrowsmith Ltd, Bristol.edd. Adam Hilger Ltd, Bristol.
7. Pedrag Cvitanovic', Nordita Blengdamsvej, Universality in Chaos. Published in Acta Physica Polonica, vol. (April 1984).
8. Mitchell J. Feigenbaum , Universal Behavior in nonlinear. Los Alamos Science 1 4-27(1980).S. Grossmann and S. Thomas, Invariant Distribution and Stationary Correlation Fuctions of one-Dimensional Discrete Proceses. Z. Natuforsch, 32a, 1353-1363 (1997); received Septrember 8, 1977.
9. B.A. Huberman and Albert B. Zisook, Power spectra of Strange Attractors. Xerox Palo Alto Reseach Centert, palo alto, California 94304. Physical Review letters 46 626-8 (1981).
10. Procaccia, Hammar Universal properties of dynamically complex system: the organization of chaos. Nature 1988;333;618-623.
11. J. Doyne Farmer. Spectral Broadening of Period-Doubling Bifurcation Sequences. Dynamical systems Group. Board, Unersity of California at Santa Cruz, California 95064. Physical Review Letters 47 179-82(1981).
12. Humberto Carrillo (1996) "Averaging and Synchronization of Weakly Couple System Calvet, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autonoma de México, D.F. 04510. Mexico. Bol. Soc. Mat. Mexicana (3) Vol.2.

13. Guillermo Sierra Loera (2002) "On the Dynamics on the one Parameter Functions, International Journal of Bifurcation and Chaos", Vol. 12, World Scientific Publishing Company.
14. Humberto Carrillo and Jose Ramón Guzmán (1998). "A dynamical systems proof of the little theorem of Fermat" . Laboratorio de Dinámica No Lineal. Facultad de Ciencias, UNAM. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM.
15. Robert Brooks and Peter Matelski, (1997). "The dynamics of 2-generator subgroups of $PSL(2, \mathbb{C})$, in "Riemann Surfaces and Related Topics", ed. Kra and Maskit, Ann. Math. ISBN 0-691-08264-2 .
16. Adrien Douady and John H. Hubbard (1984 / 1985). "Etude dynamique des polynômes complexes". Prépublications mathématiques d'Orsay 2/4.
17. Wang Xingyuan , Luo Chao, Meng Juan. Nonlinear "Dynamic research on EEG, signals in HAI experiment". School of Electronic and Information Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China
18. Carrillo, H. y F. Ongay (2011). "On the firing maps of a general class of forced integrate and fire neurons", en mathematical Bioscience, 172, pp 33-35.
19. Ott, E (1993) "Chaos in Dynamical Systems". Cambridge University Press.
20. Bryce S. De Witt, Laurent Nottale y Luis Ibañez. "Investigación y Ciencia. Diversos números" . Artículos.
21. J. Doyne Farmer (Received 19 January 1981). Dynamical System Group, Physical Board, University California at Santa Cruz 95064.
22. Shub, M; (1980), "Stabilité globale systems dynamics". Asterisque. Vol. 56 society math, Française, Paris.
23. Collet, P. and J.P. Eckman (1980) "Iterated maps on the interval as dynamical systems". Progress in physics (birkhauser, Basel), Vol.1.
24. Jakobson, M; (1980). "Proceeding if the international Conference on Dynamical Systems", Northeastern, University.
25. Libchaber, A; (1981). "In nato study, Nonlinear Phenomena and phase transitions", edited by t. Riste in Prees.
26. New House, S, (1980) "Lectures on Dynamical System. Progress in Mathematics" . Birkhauser, Boston, Vol. 8.
27. Nicolis G., and Y. Prigogine, (1977) , "A chaos and Complexity Theory of social Structure" . self – Organization in None equilibrium System (wiley, New York). Marion, R.a. THE EDGE OF organization.

28. Shannon, C.E & Weaver, W. "The mathematical Theory of information, University of Illinois" Press, 1949.
29. Hilley b. Peat, F. d. (1987) "Quantum Implications". Routledge and Kegan Paúl.
30. Briggs, J. & Peat, F. D. (1984) " Looking Glass Universe Simon & Schuster".
31. Courant, r. y F. John (1996) "Introducción al cálculo y al análisis matemático" Vol. II, Editorial Limusa, México.
32. Gustavo Martínez Mekler (Julio-Septiembre 2000). "Una aproximación a los sistemas complejos". Ciencias.
33. Bertalanffy, L. (1968) . "General System Theory" . George Brasiller.
34. Tesis "Aplicación de la dinámica no Lineal para caracterizar la función de la presión arterial y presión ventricular en rata wistar". Q.F.B. Norma Cedillo Urban. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. **UNAM**.
35. Curso de Formación Continua en Matemáticas. Módulo I. UAM, 2004-05 Araceli Gutiérrez Llorente.
36. Stochastic Dynamics. Hans Crauel Matthias Gundlach. Springer.
37. Espinosa Contreras, Adriana Elisa. "El caos y la caracterización de series de tiempo a través de técnicas de la dinámica no lineal" UNAM, FESC Aragón. Ingeniero en Computación.
38. R.Sole y s. Manrubia (1993) "Orden Y caos en sistemas complejos", Edición UPC, España,.
39. J.R. Newman (1994). "El Mundo de las Matemáticas" Ed. Grijalbo, S.A.
40. Arellano, M. (2001). "Introducción al Análisis Clásico de series de Tiempo" (En línea) 5 campus. com, estadística.
41. Beristain Fernando (2005). "Comportamiento Dinámico del ozono mediante el análisis no lineal de sistemas dinámicos" UNAM, Facultad de Ciencias. Maestro en Ingeniería (eléctrico). México.
42. Schifter, I (1996) "La Ciencia del Caos". Fondo de Cultura Económica.
43. Prof. José Manuel Gutiérrez. "Sistemas no lineales, conceptos Algoritmos y Aplicaciones" Depto. de matemáticas Aplicadas y Ciencias de la Computación. Universidad de Cantabria (España).
44. Robert Brooks and Peter Matelski, (1997). "The dynamics of 2-generator subgroups of $PSL(2, \mathbb{C})$, in Riemann Surfaces and Related Topics", ed. Kra and Maskit, Ann. Math. ISBN 0-691-08264-2.

45. Hisaharu Hayashi "Introduction to Dynamic Spin Chemistry", Magnetic Field Effects on Chemical and Biochemical Reactions. RIKEN, The Institute of Physical and Chemical Research, Japan.
46. Adrien Douady and John H. Hubbard (1984/1985) etude "Dynamique des polynomes complexes", Prepublications mathematiques d' Orsay 2/4.
47. Audelo Vucovich María Estela (México 2005). Comportamiento dinámico de las series del corazón. UNAM., Facultad de Ciencias. Maestro en Ingeniería.
48. Mandelbrot, B.b. (1983). "The fractal Geometry of Nature".
49. Freeman "Fractals for the Classroom" . Part two Complex system and Mandelbrot Set. The sings of chaos. Springer-Verlag.
50. Fractal Geometry. The Story of Benoit B. Mandelbrot and the Geometry of Chaos. School of Wisdom 1995-1999 Copyright "Think Universal, Act Global".
51. Benoit Mandelbrot, Fractal aspects of the iteration of for complex, Annals NY Acad. Sci. 357, 249/259.
52. Benoît Mandelbrot, Fractal aspects of the iteration of $z \mapsto \lambda z(1 - z)$ for complex λ, z , Annals NY Acad. Sci. **357**, 249/259.
53. S.M. Baer,J.Rinzel,H.Carrillo. (1995) "J.Analysis of an autonomous phase model for neuronal parabolic bursting". Math. Biol. Departamento of mathematics, Arizona State university.tempe az 85287-1804.usa.2mathematical reseach branch, niddk, national institutes of health, bethesda md 20892, usa. 3laboratorio de dfinamica no lineal, facultad de ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México 04510, D.F. Received 3 September 1993.
54. Steven M. Baer. "A three Variable autonomous phase for neuronal parabolic busring. Departament of Mathematyics" Arizona State Universality Temoe, Arizona 85287-1804, USA.
55. Some anatomo-functional factors which may predispose to epileptic seizures occurring during sleep. neurops.vchiatric clinic, laboratory, debrecen university medical school, debrecen (huhgary). (Received for publication: june 23, 1960). Neurobiology of disease **8**, 847–865 (2001).
56. Gene Expression Profiling in Postmortem Rett Syndrome Brain: Differential Gene Expression and Patient Classification.
57. Carlo Colantuoni, Ok-Hee Jeon, Karim Hyder, Alex Chenchik, Anis H. Khimani,1 Vinodh Narayanan, Eric P. Hoffman,\ Walter E. Kaufmann ,SakkuBai Naidu,and Jonathan Pevsner. Neurobiology of Disease **8**, 847–865 (2001).

58. Marta Bianciardi,^a Paolo Sirabella,^b Gisela E. Hagberg,^a Alessandro Giuliani,^c Joseph P. Zbilut,^d and Alfredo (2005). "Model-free analysis of brain fMRI data by recurrence quantification"., Neuroimaging Laboratory, Foundation Santa Lucia I.R.C.C.S., Rome, Italy.
59. Matthias Winterhalder,^{a,b,_,} Bjo" rn Schelter^{a,b}, Wolfram Hesse^c, Karin Schwab^c, Lutz Leistritz^c, Daniel Klanc, Reinhard Bauer^d, Jens Timmer^{a,b}, Herbert Witte^c. (28 July 2005). "Comparison of linear signal processing techniques to infer directed interactions in multivariate neural systems" University Hospital of Jena, Nonnenplan 2, 07740 Jena Germany Available online.
60. Eberhart (September 1969). "Chaos Theory for the biomedical Engineer" . IEEE Engineering in medicine and biologic Magazine. 41-45.
61. http://es.wikipedia.org/wiki/Conjunto_de_Mandelbrot".
62. Arnaldo González Arias. "Magnetismo y pseudociencia en la medicina. *Dpto. Física Aplicada, Facultad de Física, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba. .
63. Elaine De Beaport. "The three faces of the mind". Meand Institut for Human Development, . Broadway, N.Y. 10023(212)866. Diana Waller (212) 366-0065. "
64. [www. Monogradfias.com/trabajos56/comprender-cerebro](http://www.Monogradfias.com/trabajos56/comprender-cerebro).
65. Morris, Charles G. "Introducción a la psicología", pp 47 ISBN 968880 287-5.
66. Miraim Heller, "El arte de enseñar con todo el cerebro" Ed. Estudios Caracas.
67. Edgar Tovar Canejo "Republica Boliviana de Venezuela" Ministerio de Educación Superior. Instituto Universitario de Tecnología. "Juan Pablo Pérez Alonso". Extensión Maracaray.
68. Ganong William F. " Fisiologia Medica". 18^a Edicion.
69. Joseph G. Chisid. " Neuroanatomia Correlativa y Neurología Funcional" (1977), 16^a Edición. Ed. El manual modern, S.A de C.V. México D.F.
70. <http://www.marxisme.dk/arkiv/mcgarrp/1990/chaos/chaos.htm#ch1>.
71. http://www.academia.edu/3524278/Metodo_de_Newton_Raphson._Raices_de_ecuaciones_lineales.
72. [http://www.uaz.edu.mx/neutron/fm/literatura/notes/Ec%20de Schrodinger.pdf](http://www.uaz.edu.mx/neutron/fm/literatura/notes/Ec%20de_Schrodinger.pdf)