

Dinámica no lineal, complejidad e insuficiencia cardiaca

- Alejandro Muñoz Diosdado
 - UPIBI-IPN
 - Depto. de Ciencias Básicas

Motivación

Dinámica no lineal

Series de tiempo

Bases de datos

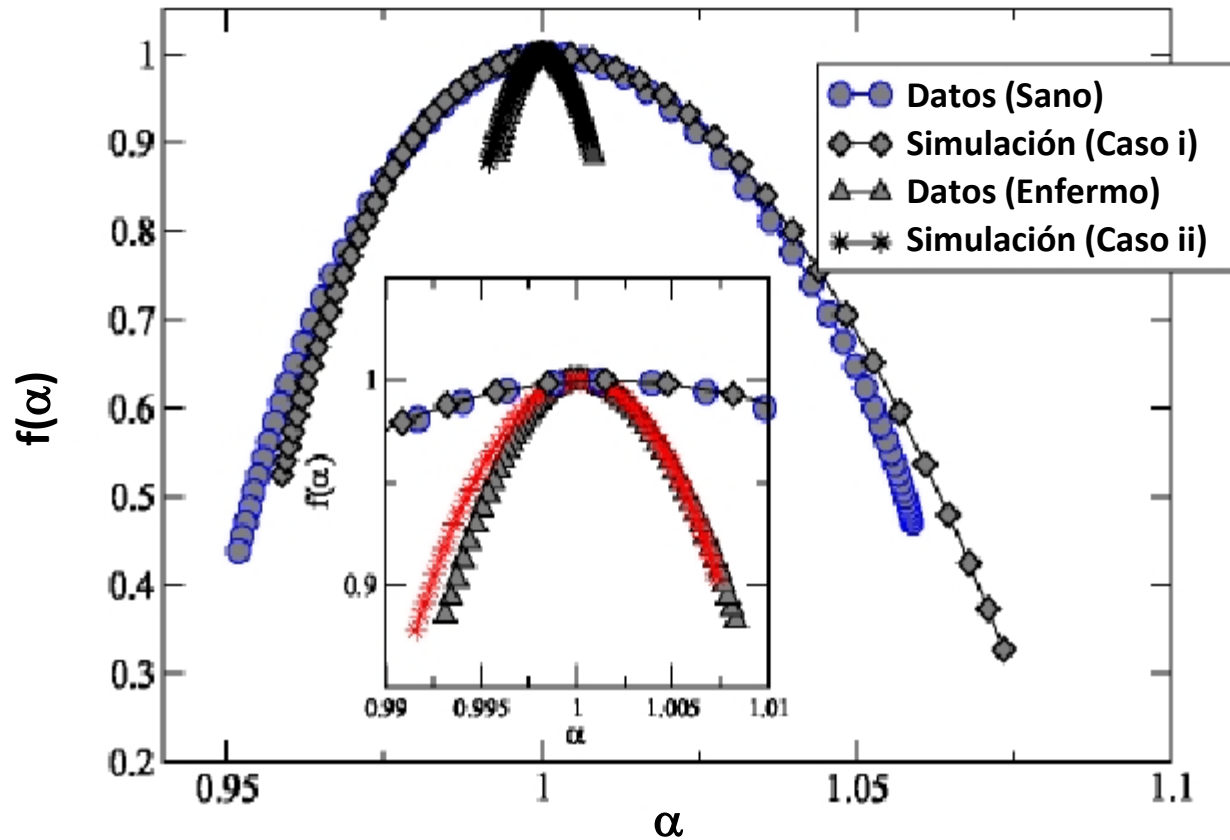
Análisis multifractal

Análisis de
fluctuaciones sin
tendencia (DFA)

Excursiones

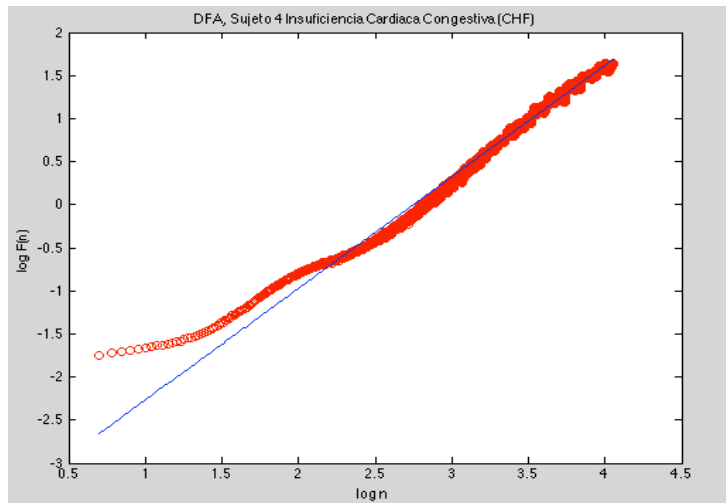
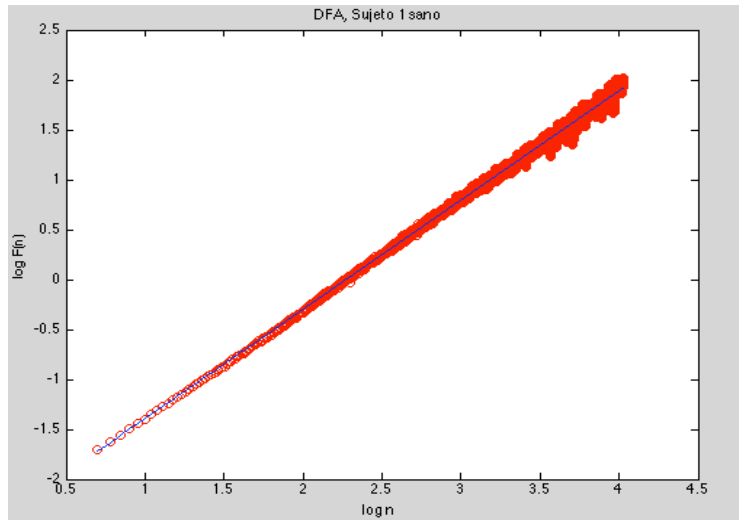
'La investigación de las enfermedades ha avanzado tanto que cada vez es más difícil encontrar a alguien que esté completamente sano'

Aldous Huxley



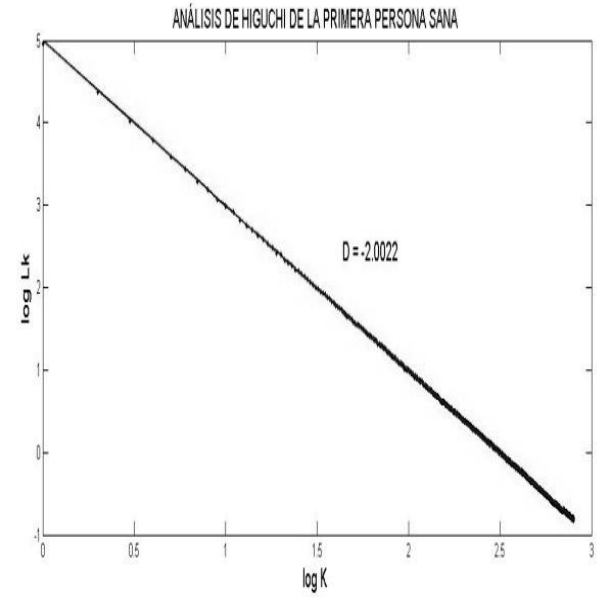
Espectros multifractales de datos reales (sujetos sanos y pacientes con CHF) y su comparación con las simulaciones.

DFA

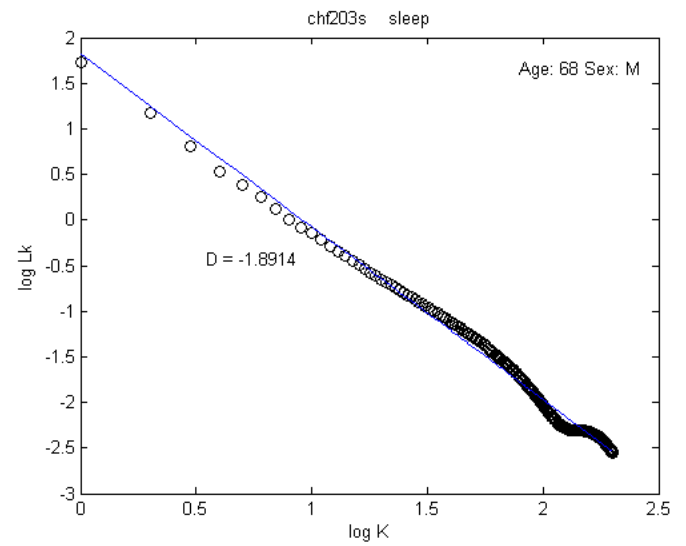


Higuchi

SANOS



CHF



Insuficiencia Cardíaca (NYHA)

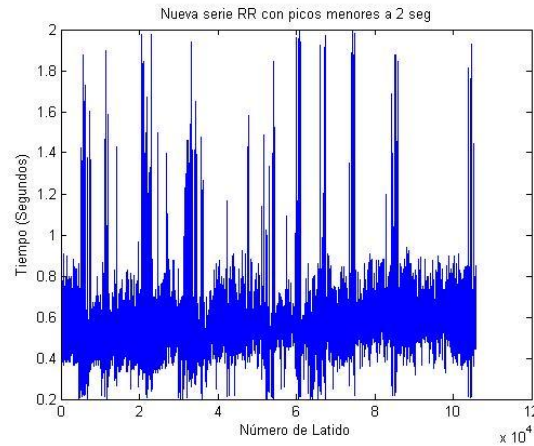
Clase I	Sin limitación para realizar actividad física. No hay síntomas.
Clase II	Ligera limitación de la actividad física. La actividad ordinaria ocasiona fatiga, palpitaciones, disnea o dolor anginoso.
Clase III	Marcada limitación de la actividad física. Actividad física menor que la ordinaria ocasiona fatiga, palpitaciones, disnea o dolor anginoso.
Clase IV	Incapacidad para llevar a cabo cualquier actividad física. Los síntomas de insuficiencia cardíaca o de síndrome anginoso pueden estar presentes incluso en reposo.



Metodología

PhysioNet

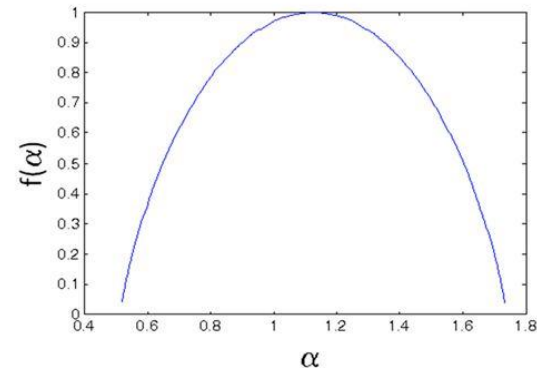
3 Bases de datos
54 Sujetos Sanos
44 Pacientes con
insuficiencia Cardiaca con
diferente índice NYHA



Corrección de artefactos



Separación de horas
Despiertos y dormidos

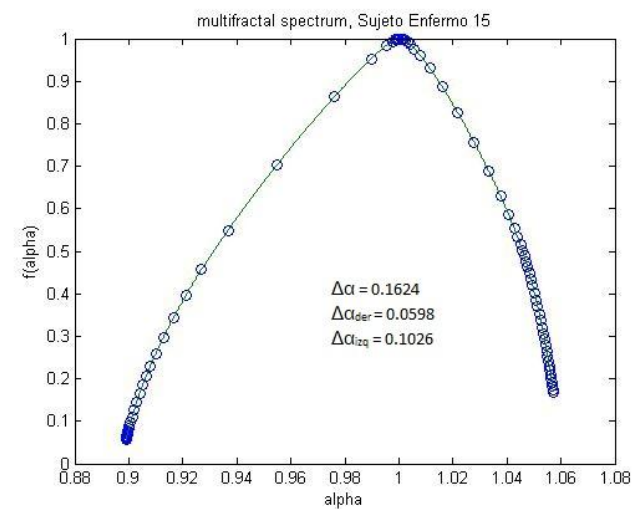
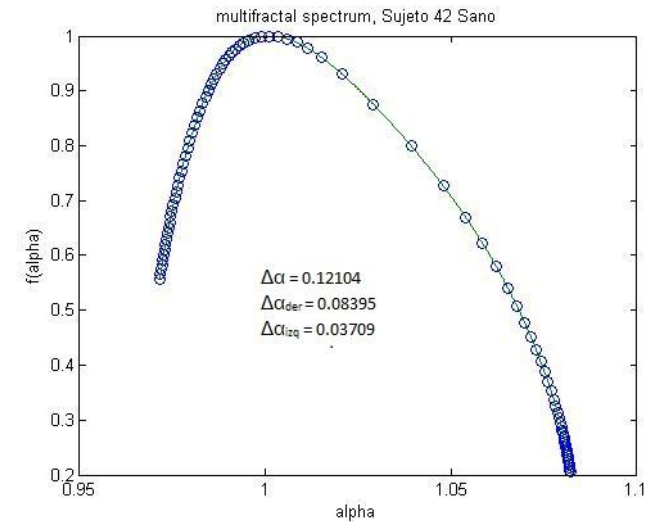
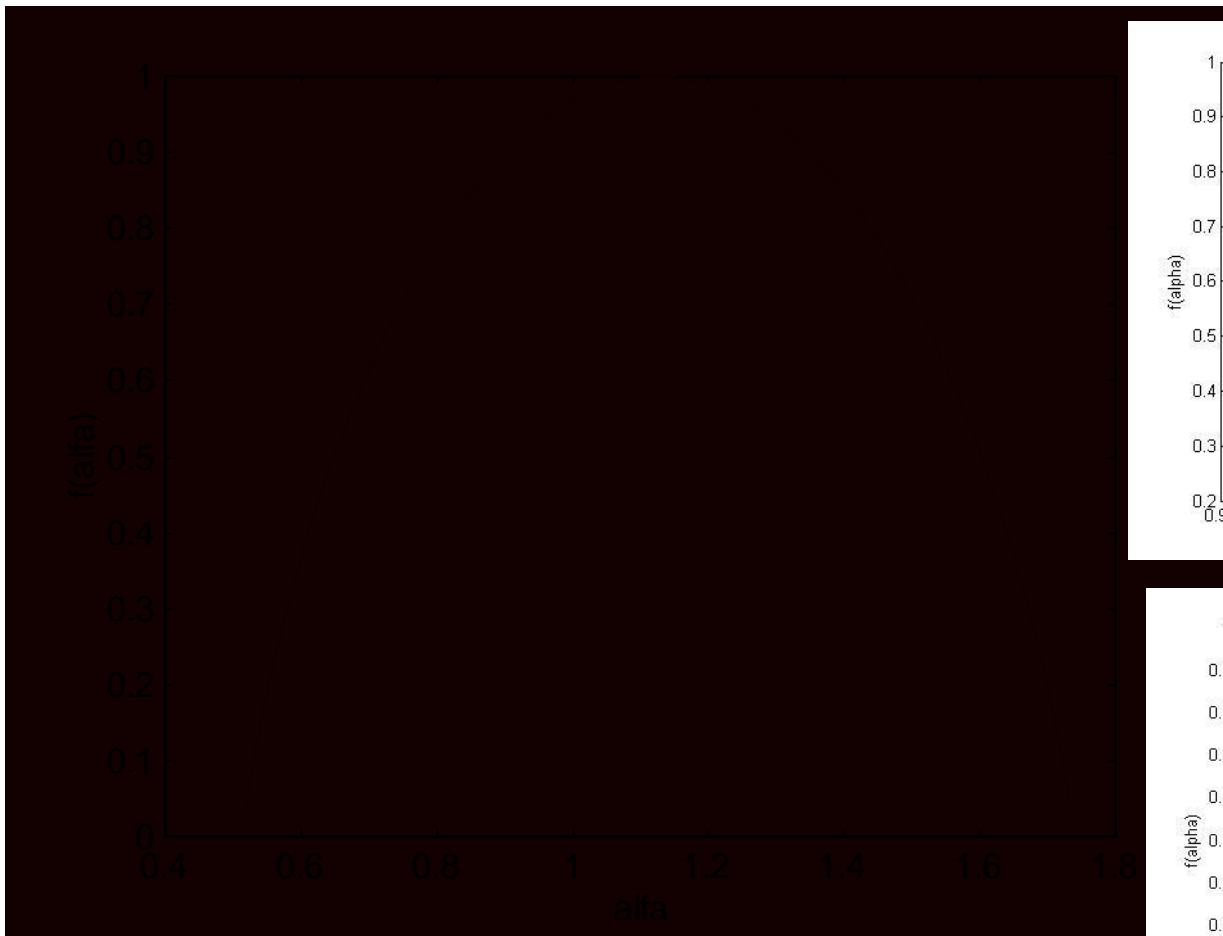


Obtención espectros multifractales,
Análisis DFA y excursiones

Análisis
Estadístico

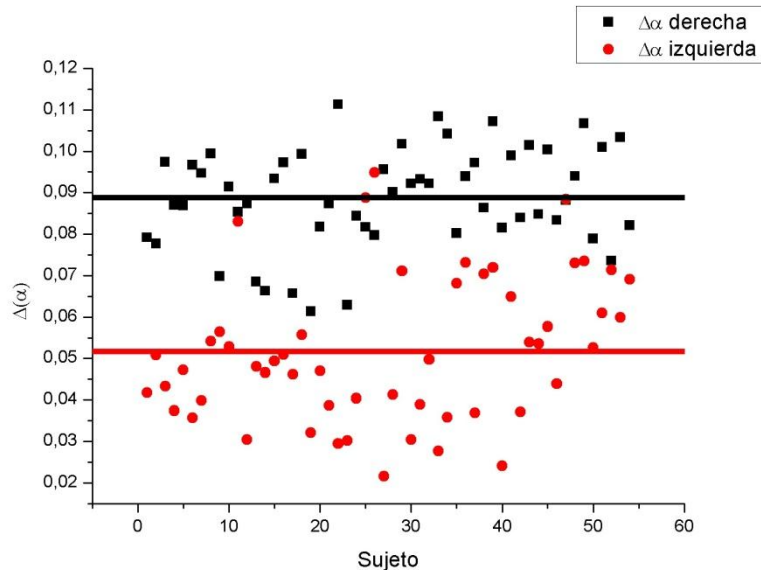


Espectro multifractal $f(\alpha)$ vs α



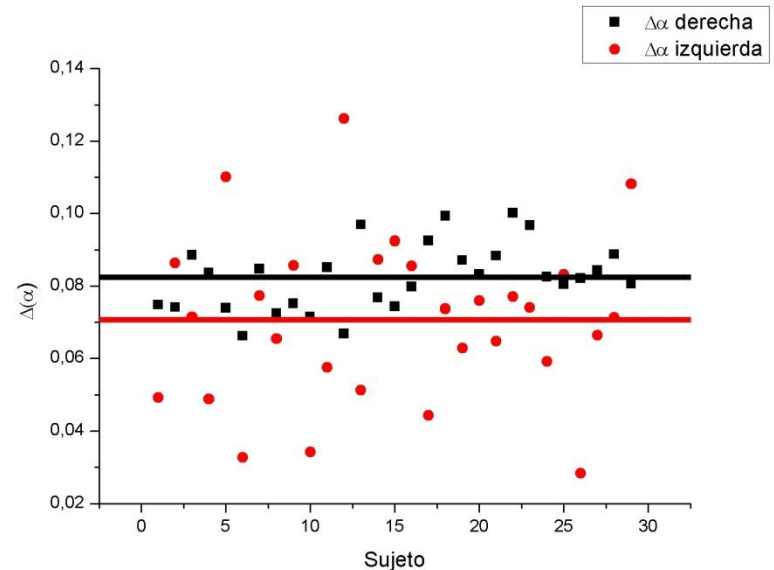
Simetría series de tiempo totales

Sujetos Sanos



La diferencia es estadísticamente significativa con prueba t-student a 0.05.

Pacientes con insuficiencia Cardíaca

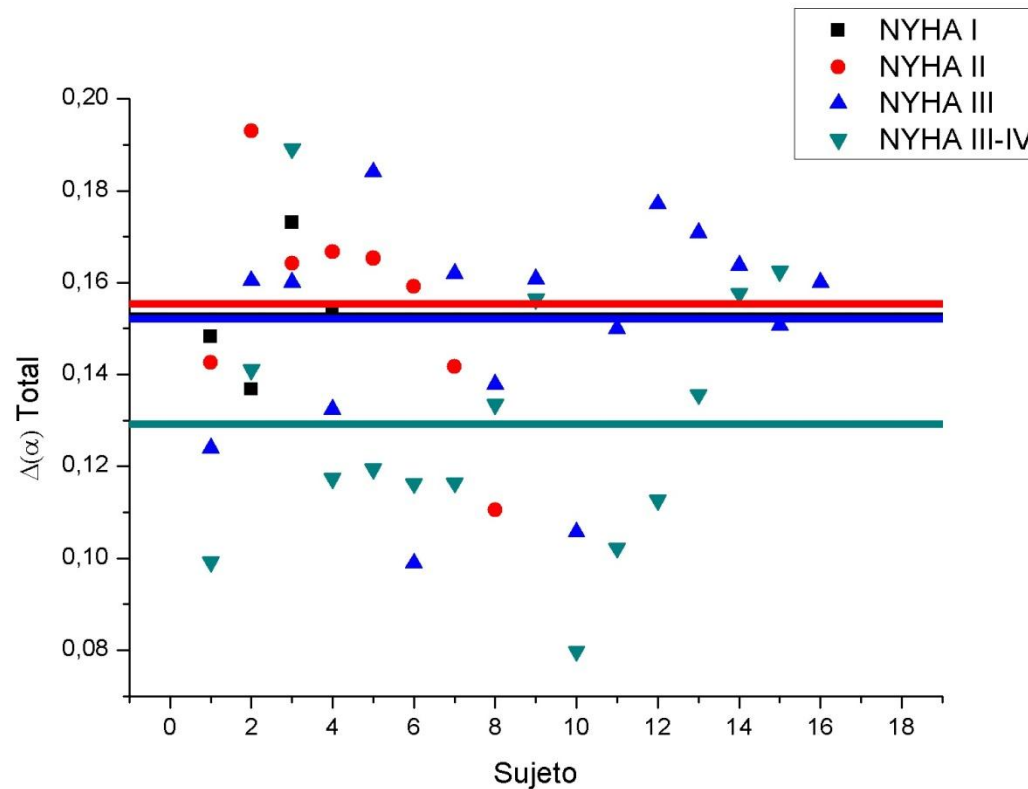


La diferencia es estadísticamente significativa con prueba t-student a 0.05.

Los sujetos sanos se encuentran mas sesgados a la derecha mientras que en los pacientes con Insuficiencia cardiaca se reduce y aumenta la parte izquierda

Análisis por clasificación NYHA

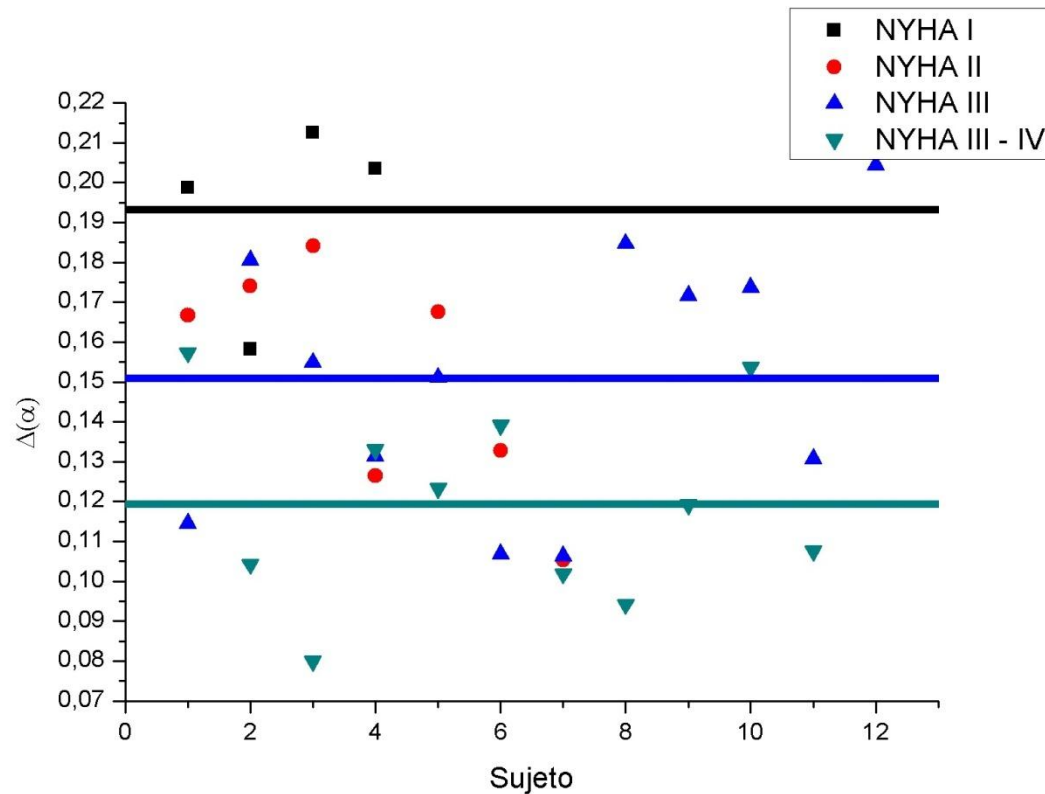
Series Totales



El ancho del espectro disminuye entre mayor es la clasificación

Análisis por clasificación NYHA

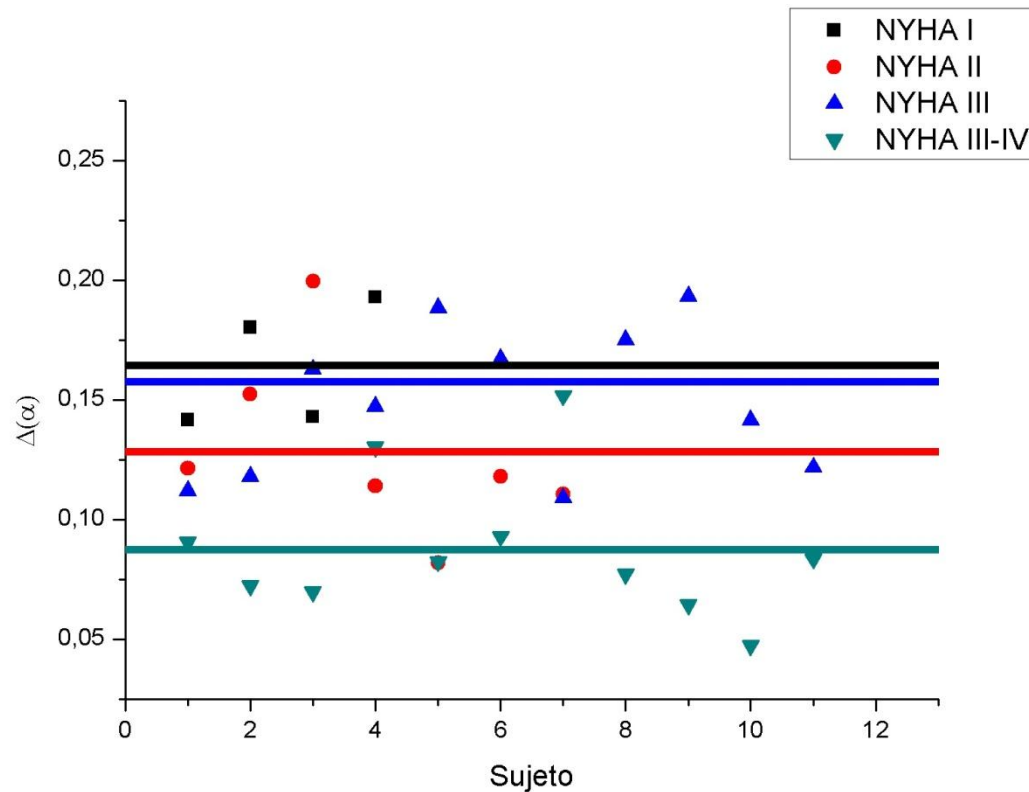
Series Despiertos



El ancho del espectro disminuye entre mayor es la clasificación. Se Evidencia la diferencia entre NYHA I y III-IV

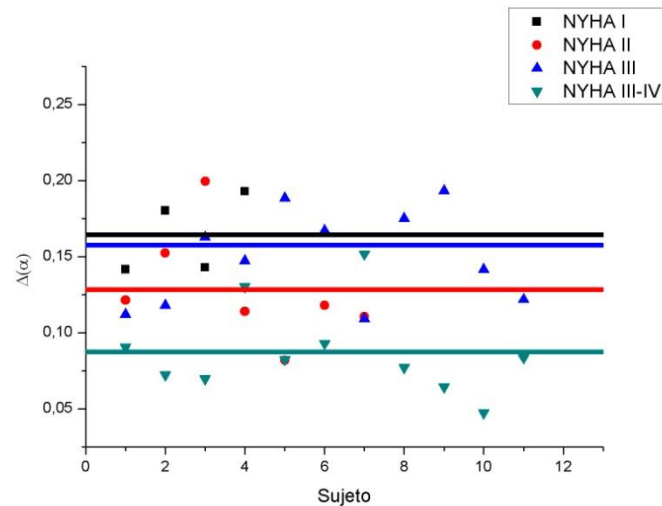
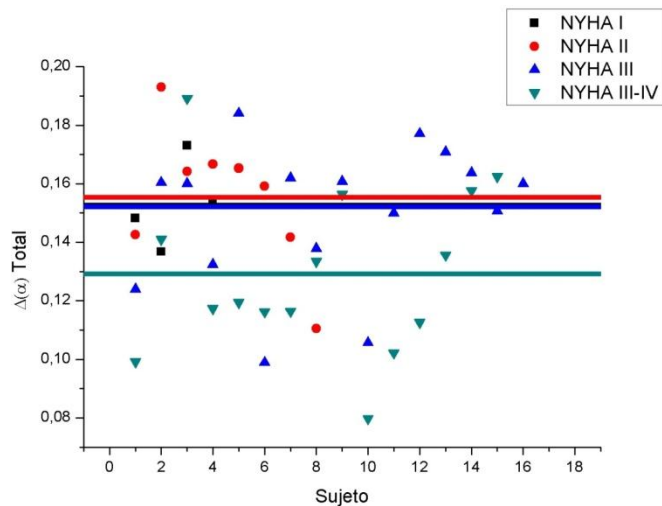
Análisis por clasificación NYHA

Serie Dormidos

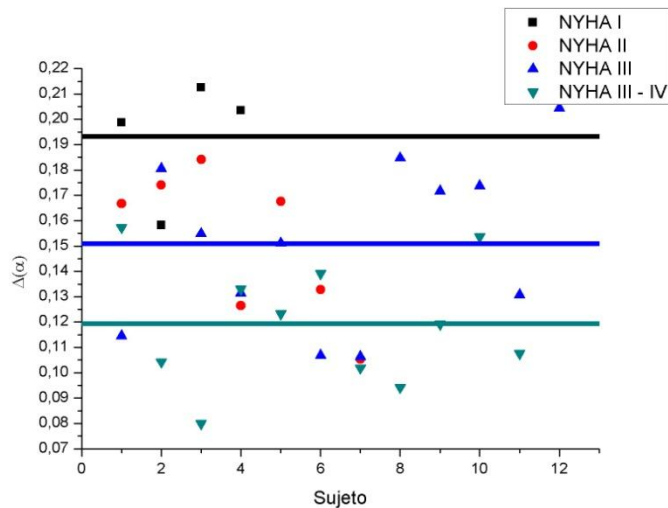


El ancho del espectro disminuye entre mayor es la clasificación. Existe Un cambio entre NYHA II y III

Variabilidad del diagnóstico

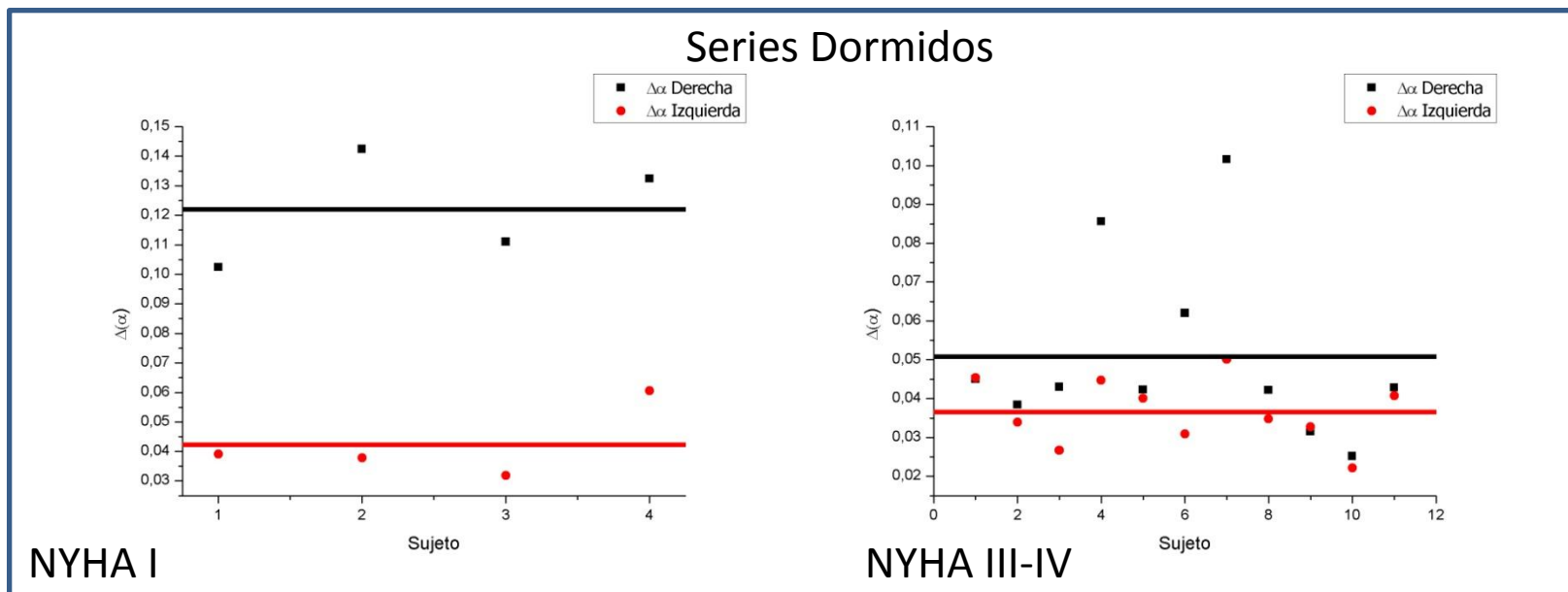
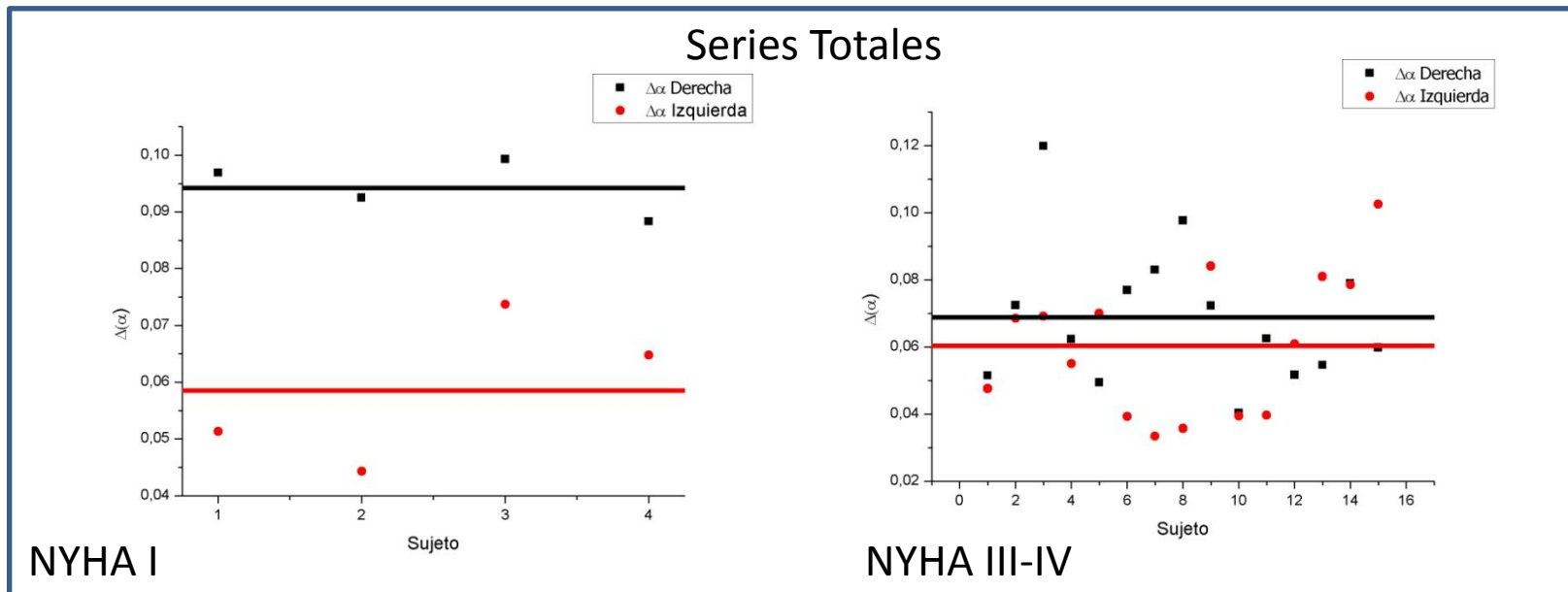


Clara diferencia entre NYHA I y NYHA III-IV

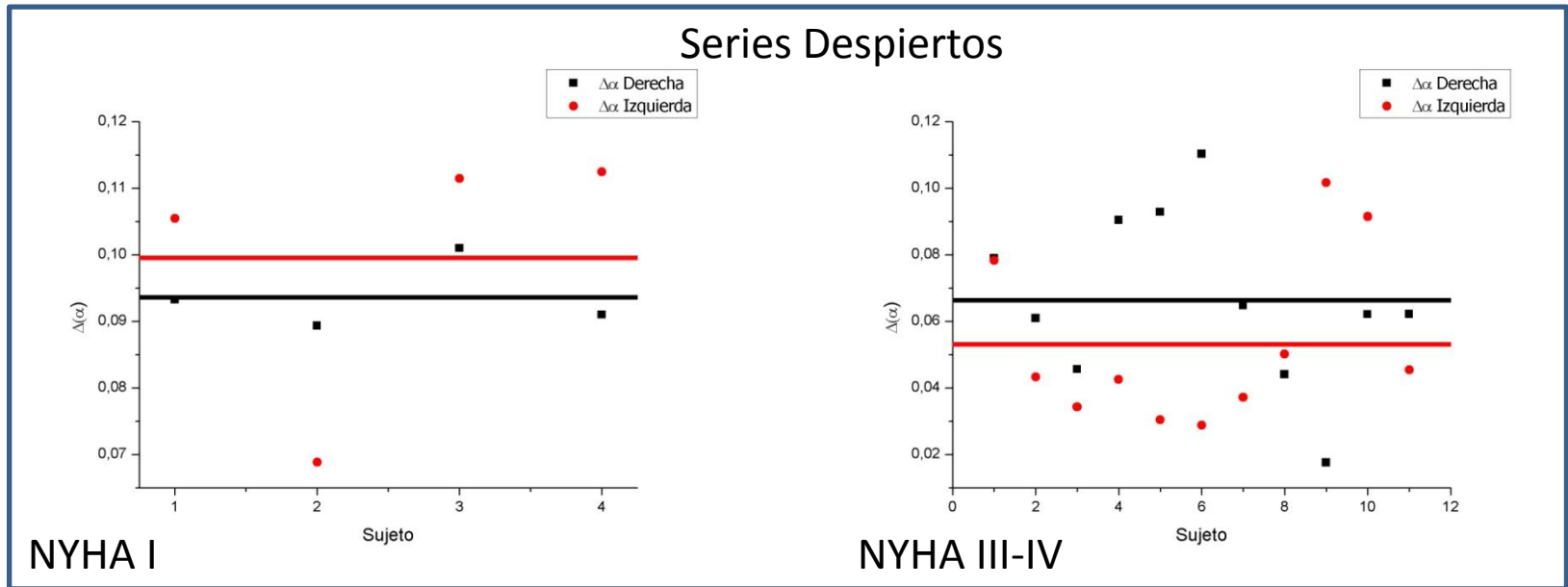


Promedios similares Entre NYHA II y NYHA III

Diferencias entre NYHA I y NYHA III-IV

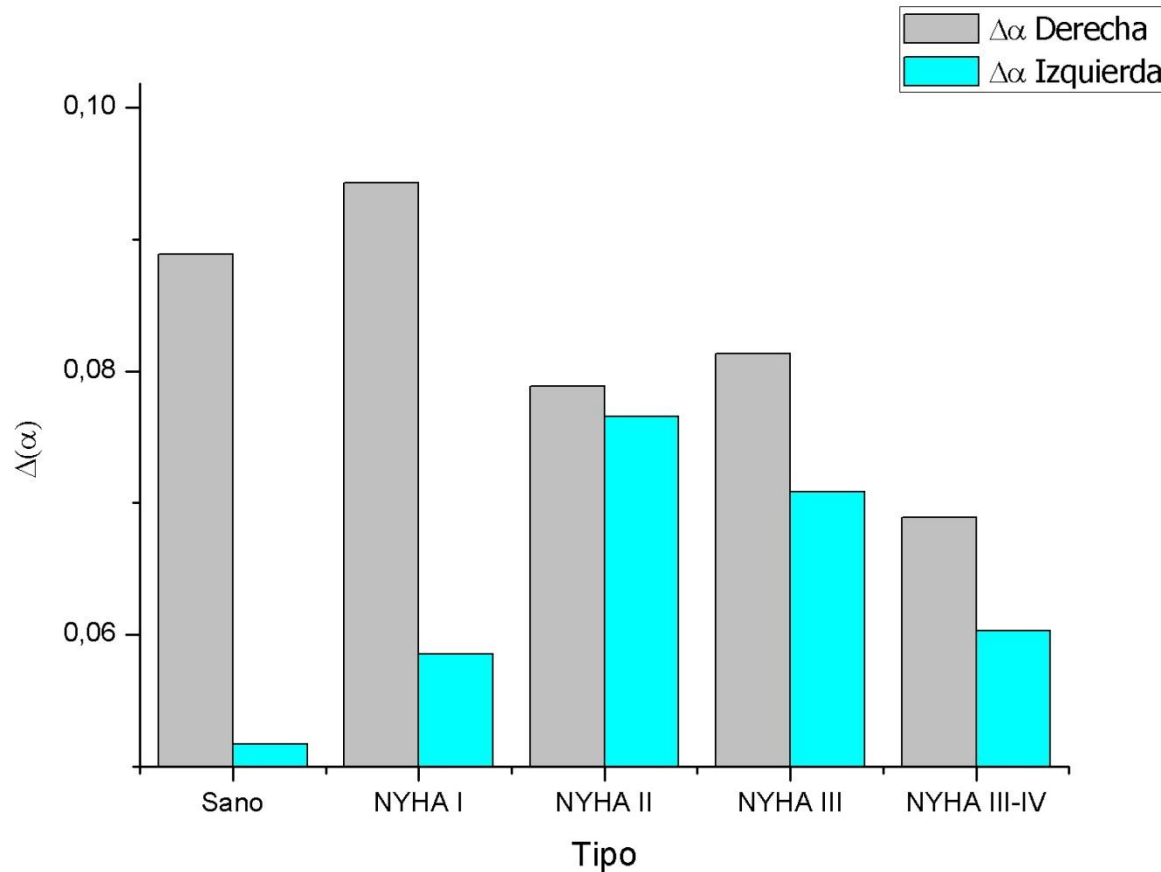


Diferencias entre NYHA I y NYHA III-IV



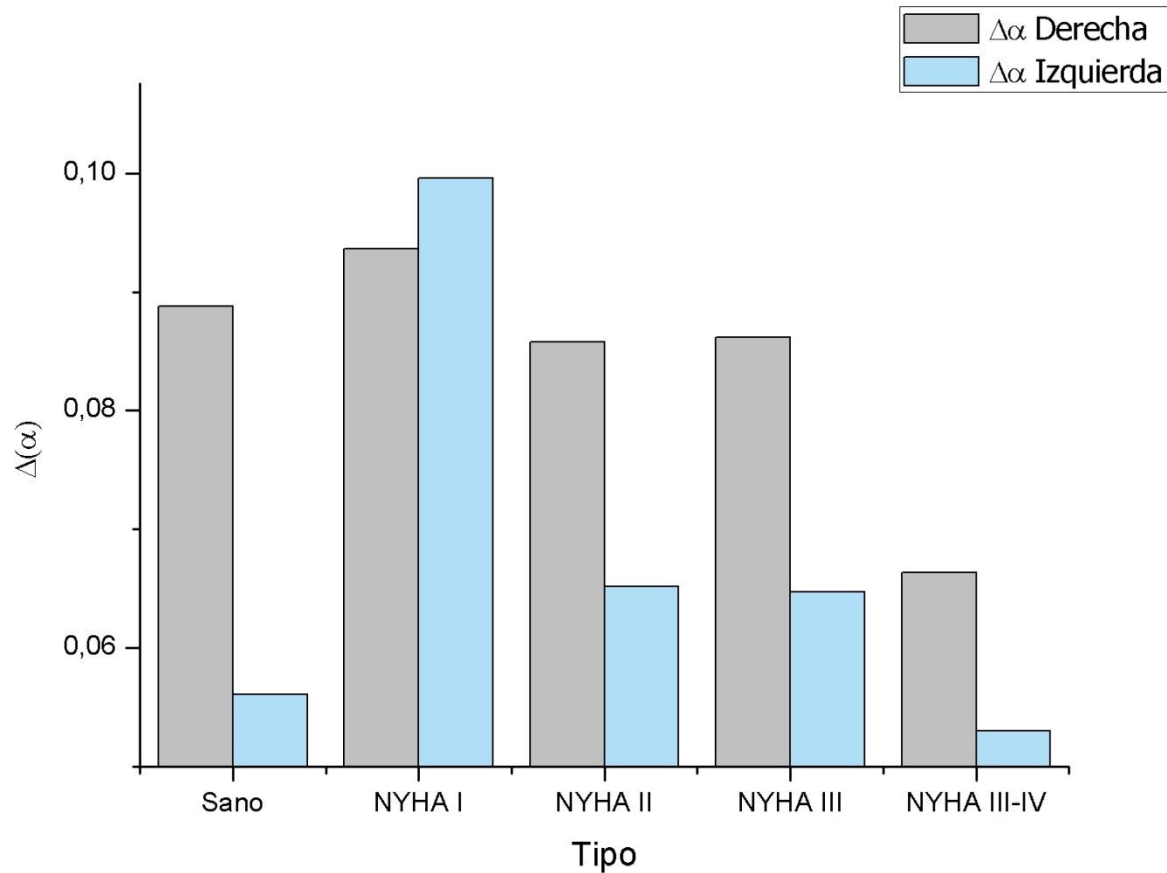
Simetría del Espectro

Series totales



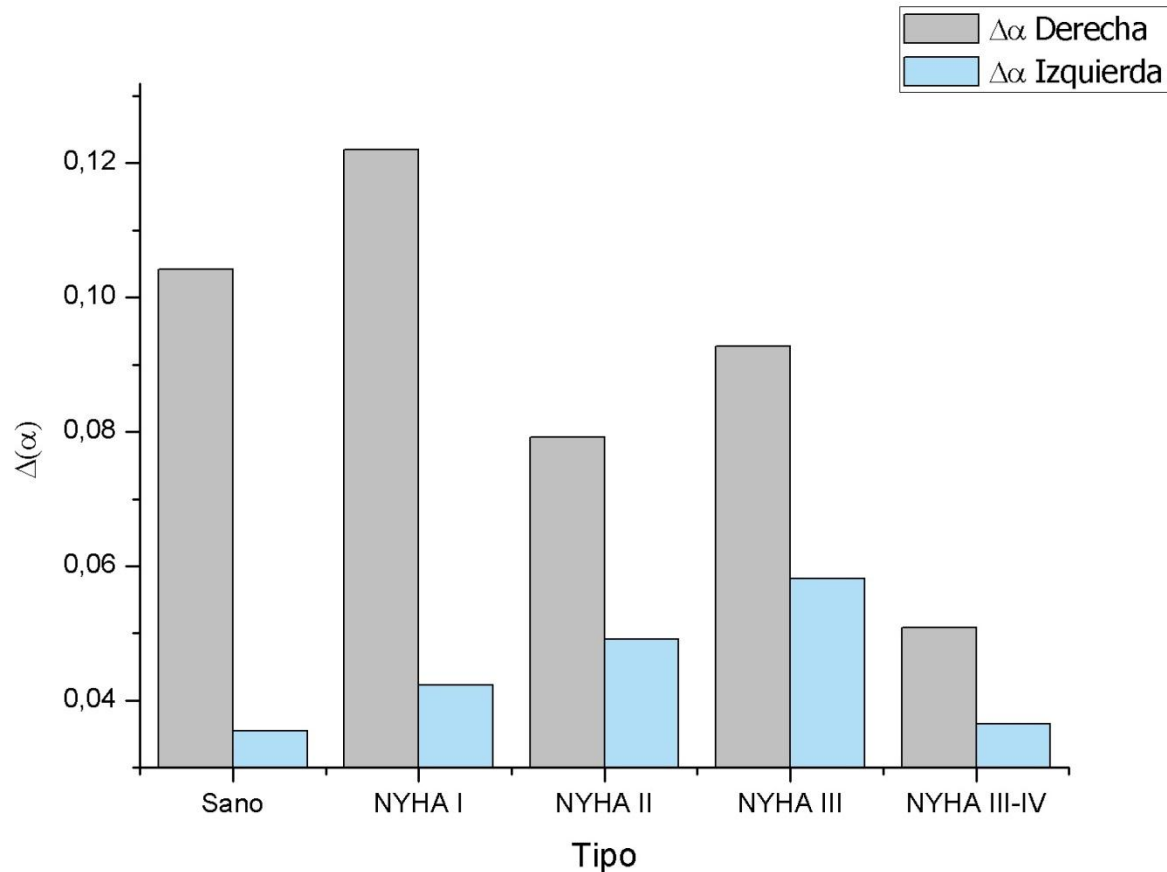
El lado derecho disminuye y la diferencia entre ambos lados se va minimizando

Simetría del Espectro Series Despiertos



El lado derecho del espectro disminuye

Simetría del Espectro Series Dormidos



El ancho del espectro disminuye y se ve un aumento del lado izquierdo. En NYHA III-IV reducen ambas

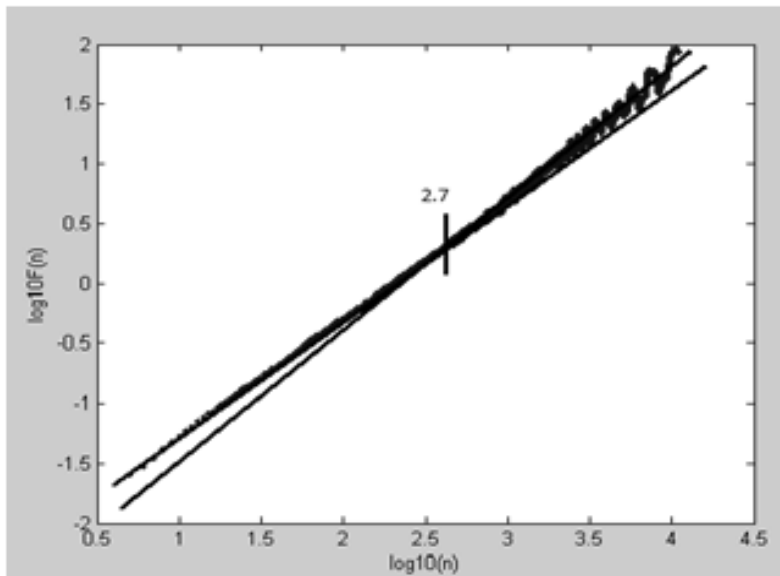
Conclusiones

Sanos	Pacientes con insuficiencia cardiaca
Simetría del espectro sesgado a la derecha	Casi simétrica o sesgada a la izquierda
Sin variaciones en las fases de sueño y vigilia	Existen diferencias en las fases de sueño y vigilia
En la fase de sueño existe diferencia con respecto a los pacientes	

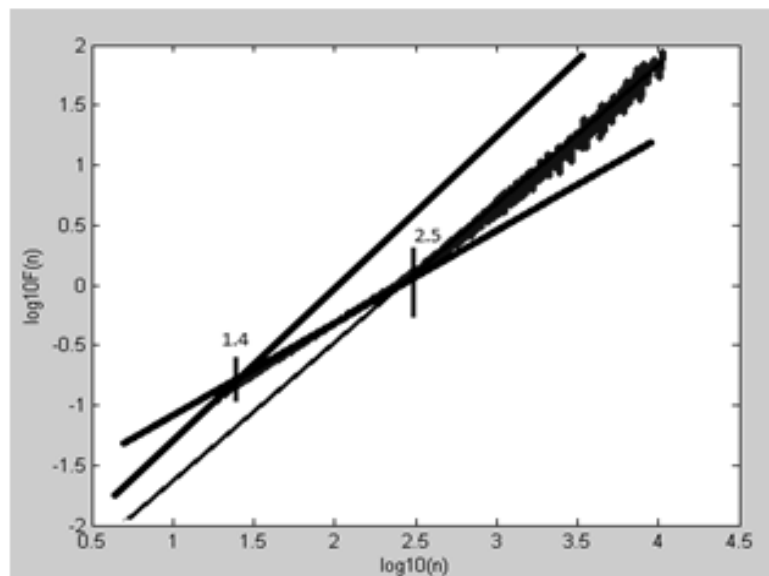
El ancho del espectro multifractal se reduce cuando aumenta el índice NYHA

Existe una gran diferencia entre NYHA I y NYHA III-IV

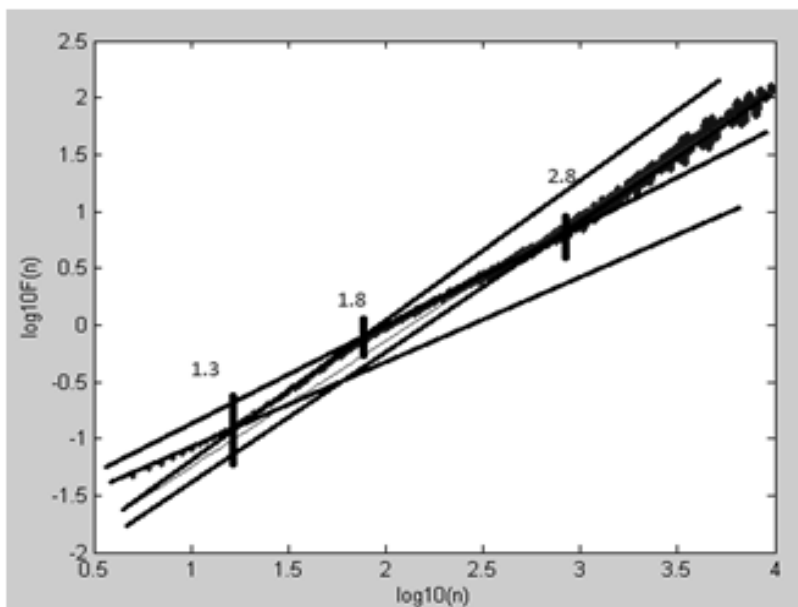
En fase de sueño la parte izquierda aumenta, la parte derecha se reduce y el ancho se reduce



A

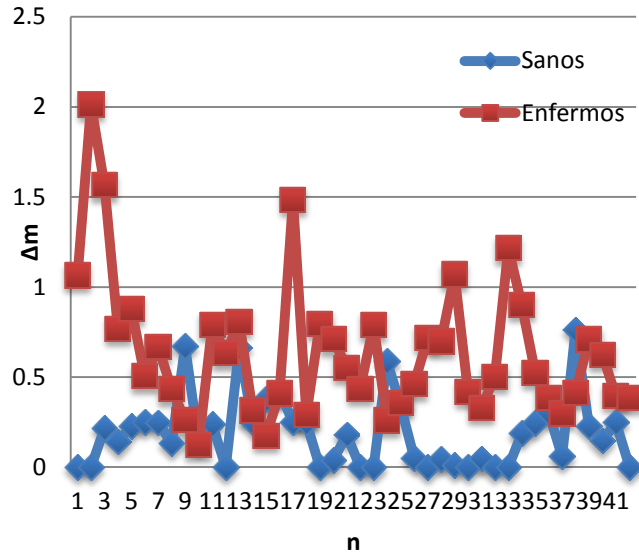


B



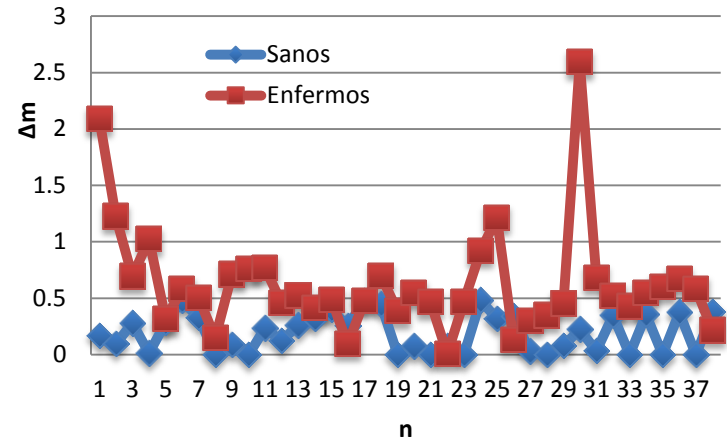
C

Δm vs n



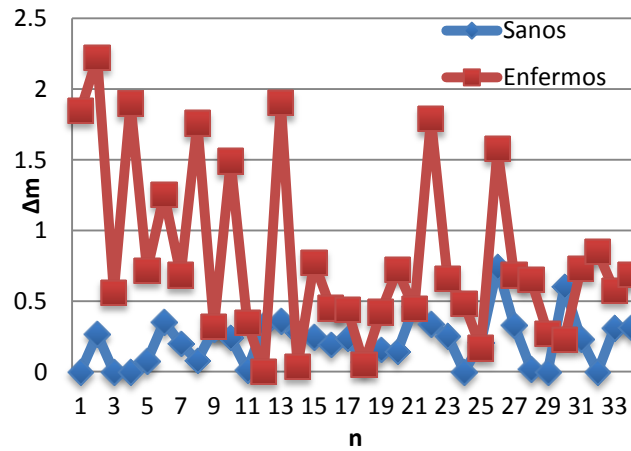
totales

Δm vs n



despiertos

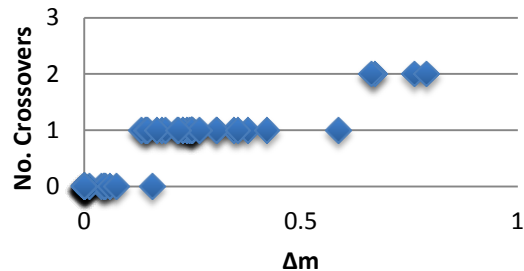
Δm vs n



dormidos

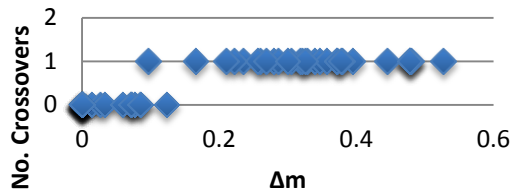
SANOS

No. Crossovers vs Δm



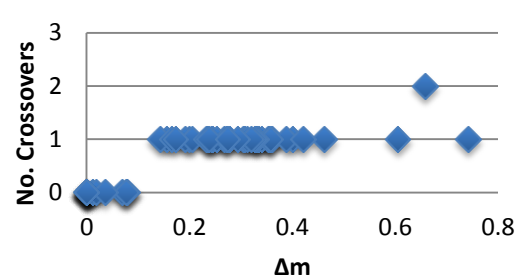
TOTALES

No. Crossovers vs Δm



DESPIERTOS

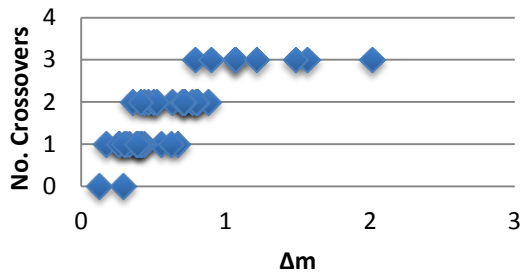
No. Crossovers vs Δm



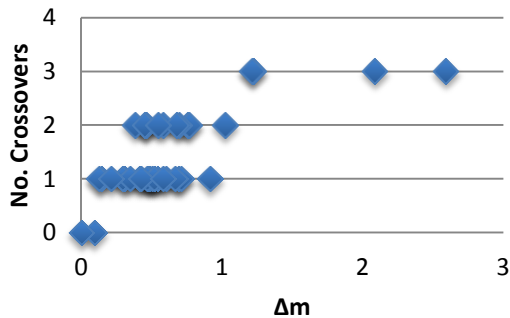
DORMIDOS

ENFERMOS

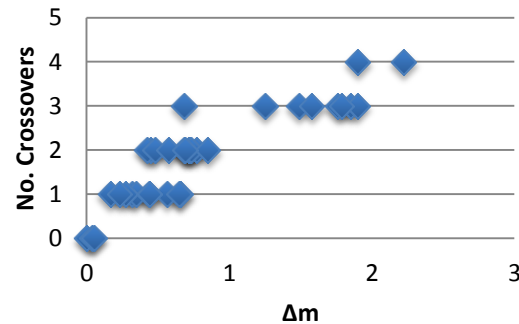
No. Crossovers vs Δm



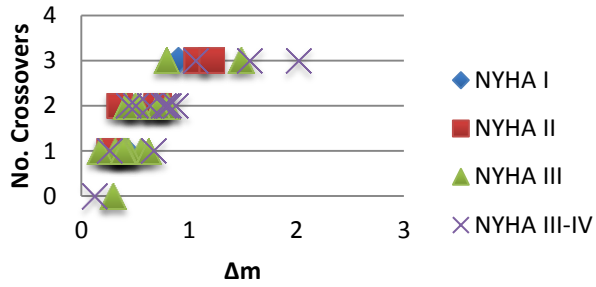
No. Crossovers vs Δm



No. Crossovers vs Δm

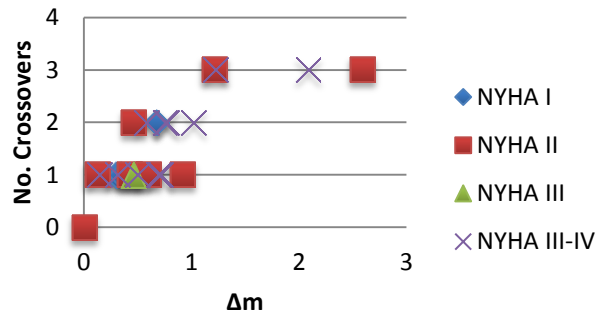


No. Crossovers vs Δm



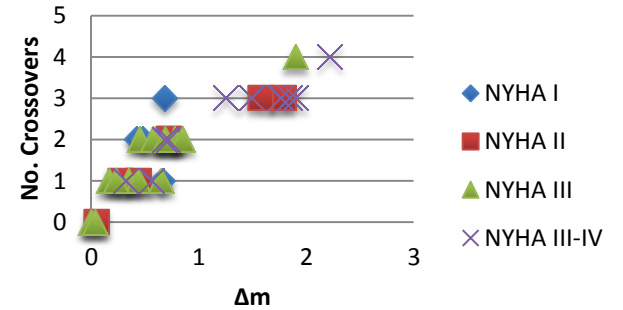
TOTALES

No. Crossovers vs Δm



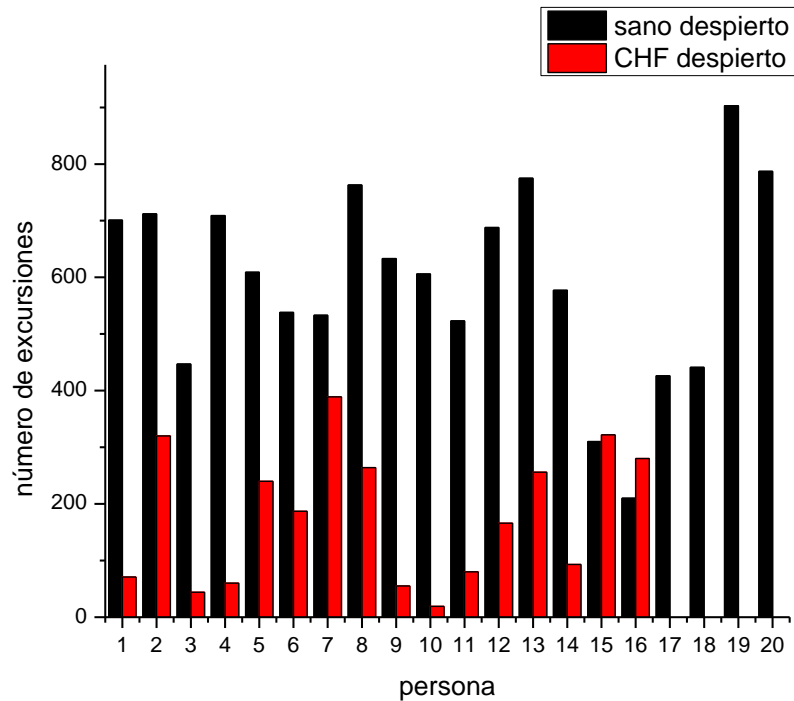
DESPIERTOS

No. Crossovers vs Δm

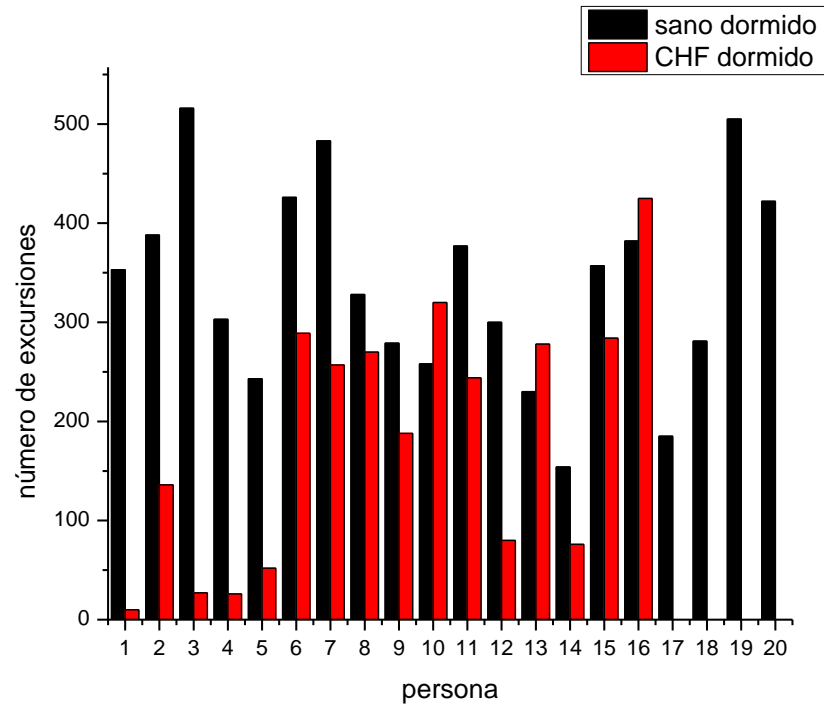


DORMIDOS

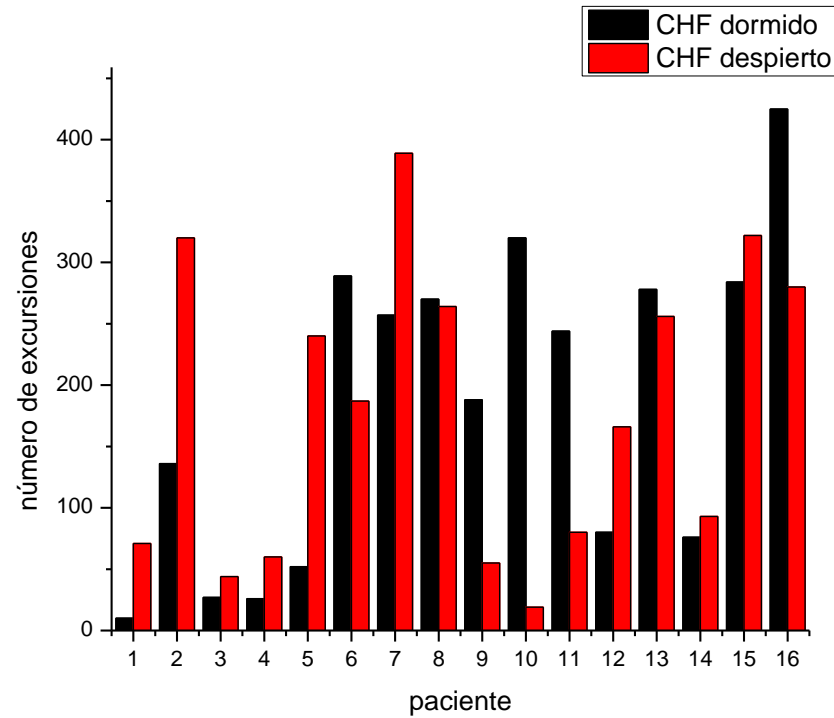
Las series de interlatido cardiaco son no estacionarias, no homogéneas y con fluctuaciones muy irregulares, no obstante, en tales series pueden existir segmentos que localmente son estacionarios, esto es un efecto de la homeostasis para poder mantener un valor constante durante un periodo limitado de tiempo. Se analizan propiedades de las excursiones en las series de interlatido cardiaco, **una excursión es el tiempo empleado por una variable para regresar a su valor promedio**, en este caso la variable es el tiempo entre cada latido.



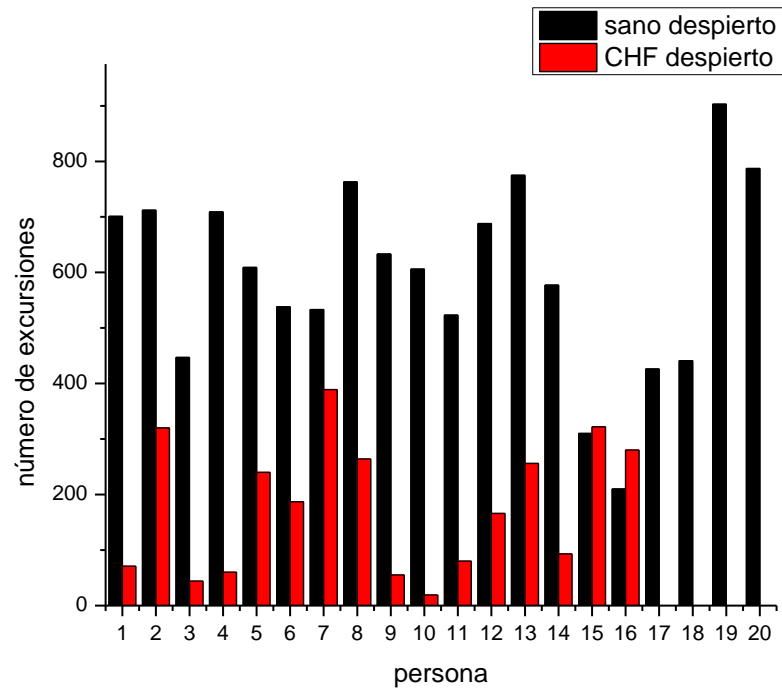
Número de excursiones por periodo de tiempos (6 horas) de sujetos sanos despiertos y pacientes con insuficiencia cardiaca. Se nota claramente la disminución del número de excursiones por periodo de tiempo en pacientes con CHF.



Número de excursiones en un periodo de 6 horas, en donde se compara a los sanos y a los enfermos cuando están ambos dormidos, en general, el número de excursiones disminuye significativamente en el caso de los CHF



Comparación del número de excursiones por unidad de tiempo (6 horas) de pacientes con insuficiencia cardiaca tanto dormidos como despiertos.



Número de excursiones en un periodo de 6 horas, en donde se compara a los sanos y a los enfermos cuando están ambos despiertos, en general, el número de excursiones disminuye significativamente en el caso de los CHF

Esto se corrobora cuando se considera el número de excursiones por hora para los sujetos sanos, los resultados que se obtuvieron fueron: 100.1 ± 4.3 en la fase de vigilia y 61.9 ± 3.3 en la fase de sueño, es decir, si hay disminución en el número de excursiones por unidad de tiempo cuando el sujeto sano está dormido.

Para los pacientes con insuficiencia cardiaca hay una disminución en el número de excursiones por unidad de tiempo, primero en los segmentos de seis horas se obtuvo:

177.9 ± 29.9 en la fase de vigilia y 185.1 ± 31.9 en la fase de sueño, de donde se aprecia una disminución significativa en el número de excursiones por unidad de tiempo debido a la presencia de la enfermedad. También la disminución en el número de excursiones por unidad de tiempo se observa si se considera un intervalo de una hora, los resultados son:

58.09 ± 7.1 en la fase de vigilia y 55.3 ± 6.4 en la fase de sueño. Lo curioso es que al contrario que los sujetos sanos, en este caso los promedios del número de excursiones muestran que el número de excursiones no tiene una disminución significativa en la etapa de sueño, esto sugiere que aparentemente la condición de los pacientes con CHF se agrava cuando están dormidos.

Primero se obtuvo, 192.4 ± 40.1 en la fase de vigilia y 242.2 ± 33.4 en la fase de sueño de los pacientes cuyo índice NYHA está entre 1 y 3, es decir, sucede lo contrario que en el caso de los sujetos sanos.

Después se obtuvo 153.7 ± 46.1 en la fase de vigilia y 90.0 ± 43.8 en la fase de sueño de los pacientes cuyo índice NYHA está entre 3 y 4, es decir, por un lado el número de excursiones disminuye con respecto a los pacientes con índice 1-3, pero por otro lado ahora sucede que el número de excursiones disminuye cuando el paciente está dormido.

Para verificar lo anterior, se obtuvo también el número de excursiones por hora, los resultados fueron:

54.4 ± 7.6 en la fase de vigilia y 64.6 ± 42.1 en la fase de sueño de los pacientes cuyo índice NYHA está entre 1 y 3, es decir, efectivamente en la fase de sueño el número de excursiones por hora aumentó.

Para los pacientes cuyo índice NYHA está entre 3 y 4 se obtuvo: 64.9 ± 14.9 en la fase de vigilia y 37.4 ± 9.6 en la fase de sueño, es decir, nuevamente se obtiene que el número de excursiones por hora en la fase de sueño se reduce.

El método de Chhabra y Jensen

La serie de tiempo es una medida singular $P(x)$ si se normaliza. Se calcula la curva $f(\alpha)$ cubriendo la medida con cajas de longitud $L=2^{-n}$ y calculando las probabilidades $P_i(L)$ en cada una de las cajas. Después se construye la familia uniparamétrica de medidas normalizadas con:

$$\mu_i(q, L) = \frac{[P_i(L)]^q}{\sum_j [P_j(L)]^q}$$

Finalmente, para cada valor de q se evalúan los numeradores de los lados derechos de las ecuaciones:

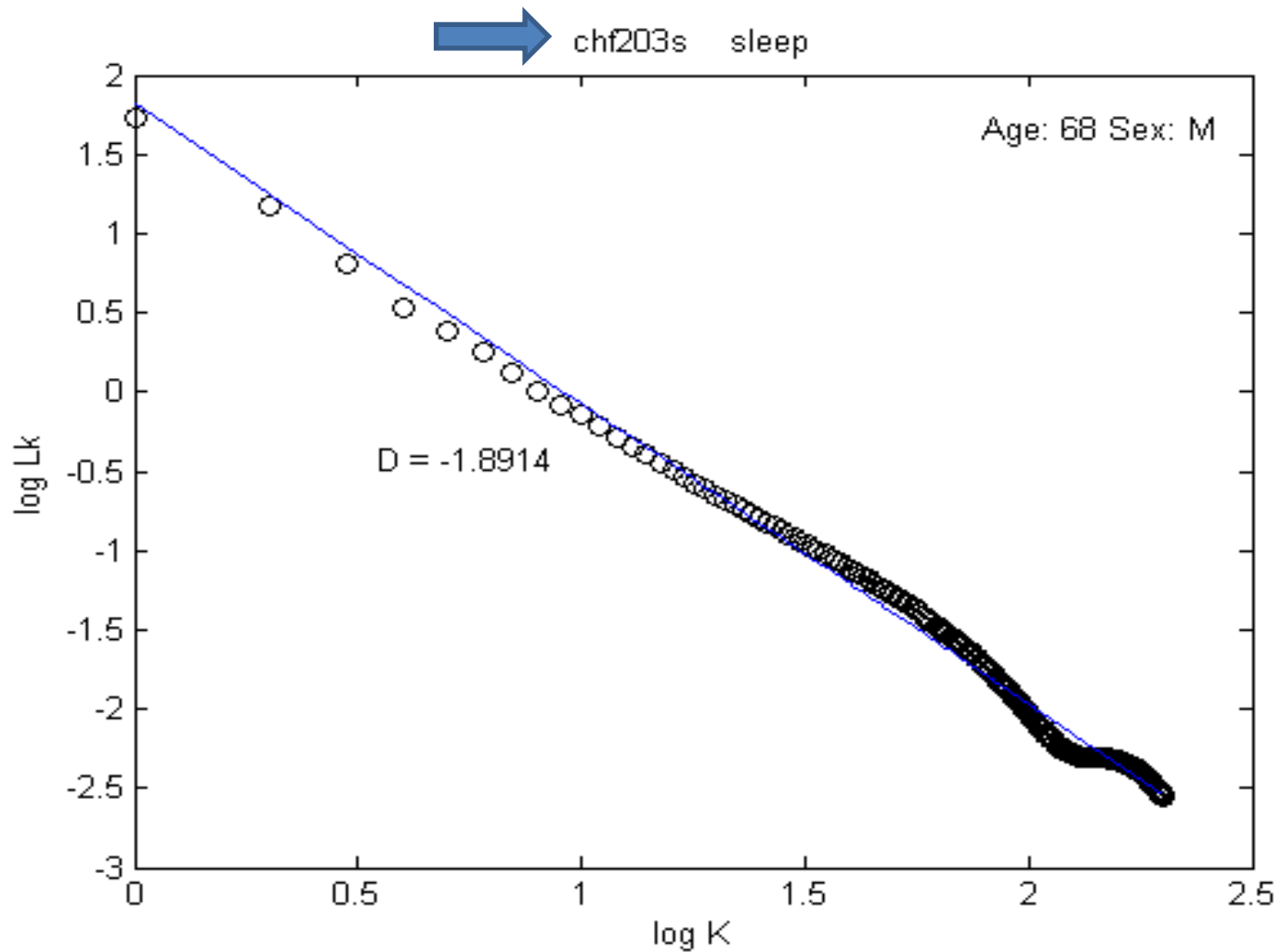
$$\alpha(q) = \lim_{L \rightarrow 0} \frac{\sum_i \mu_i(q, L) \log[P_i(L)]}{\log L}$$

$$f(q) = \lim_{L \rightarrow 0} \frac{\sum_i \mu_i(q, L) \log[\mu_i(q, L)]}{\log L}$$

para cajas de tamaño decreciente (n creciente). Se extraen $f(q)$ y $\alpha(q)$ de las pendientes de las rectas de las gráficas de los numeradores versus $\log L$. El parámetro q proporciona una especie de microscopio para explorar las diferentes regiones de la medida singular. Para $q > 1$, $\mu(q)$ amplifica las regiones más singulares de P , mientras que para $q < 1$ acentúa las regiones menos singulares, y para $q = 1$ la medida $\mu(1)$ es una réplica de la medida original.

Pérdida de complejidad

- El espectro multifractal se hace más estrecho
- El espectro se hace más simétrico
- Aparecen componentes periódicas en la señal



The plot of the method of Higuchi, for a 6h-segment of a time series of RR intervals of a 58 years old person in the sleeping phase. Note the oscillations that indicate the appearance of periodicities in the time series