

Instituto de Física Rosario

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
Universidad Nacional de Rosario

Estudio del comportamiento viscoelástico no lineal de la membrana del Glóbulos Rojos

Horacio Castellini

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura

Universidad Nacional de Rosario

horacio9573@gmail.com

Análisis mecánico diferencial

El análisis mecánico dinámico conocido por sus siglas en inglés como DMA. Es un análisis utilizado en estudios de procesos de relajación y en **reología**, para estudiar y caracterizar el comportamiento de materiales **viscoelásticos** como polímeros y sus respuestas ante impulsos, estrés, deformación en tiempo y frecuencia.

Una definición más moderna expresa que la **reología** es la parte de la física que estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir. La reología es una parte de la mecánica de medios continuos. Una de las metas más importantes en reología es encontrar ecuaciones constitutivas para modelar el comportamiento de los materiales.

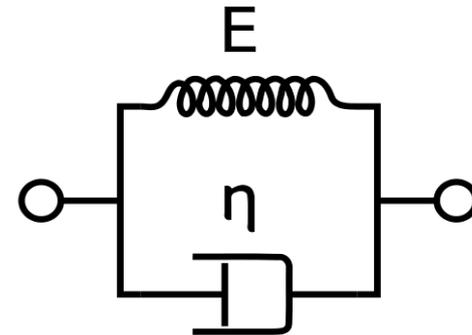
Análisis mecánico diferencial aplicado a la membrana del GR

$\sigma = \sigma_0 \text{sen}(\omega t)$ Se aplica una tensión de corte oscilatoria

El modelo de Kelvin-Voigt o modelo de Voigt es un caso particular también llamado material viscoelástico de "corta memoria". La ecuación constitutiva es:

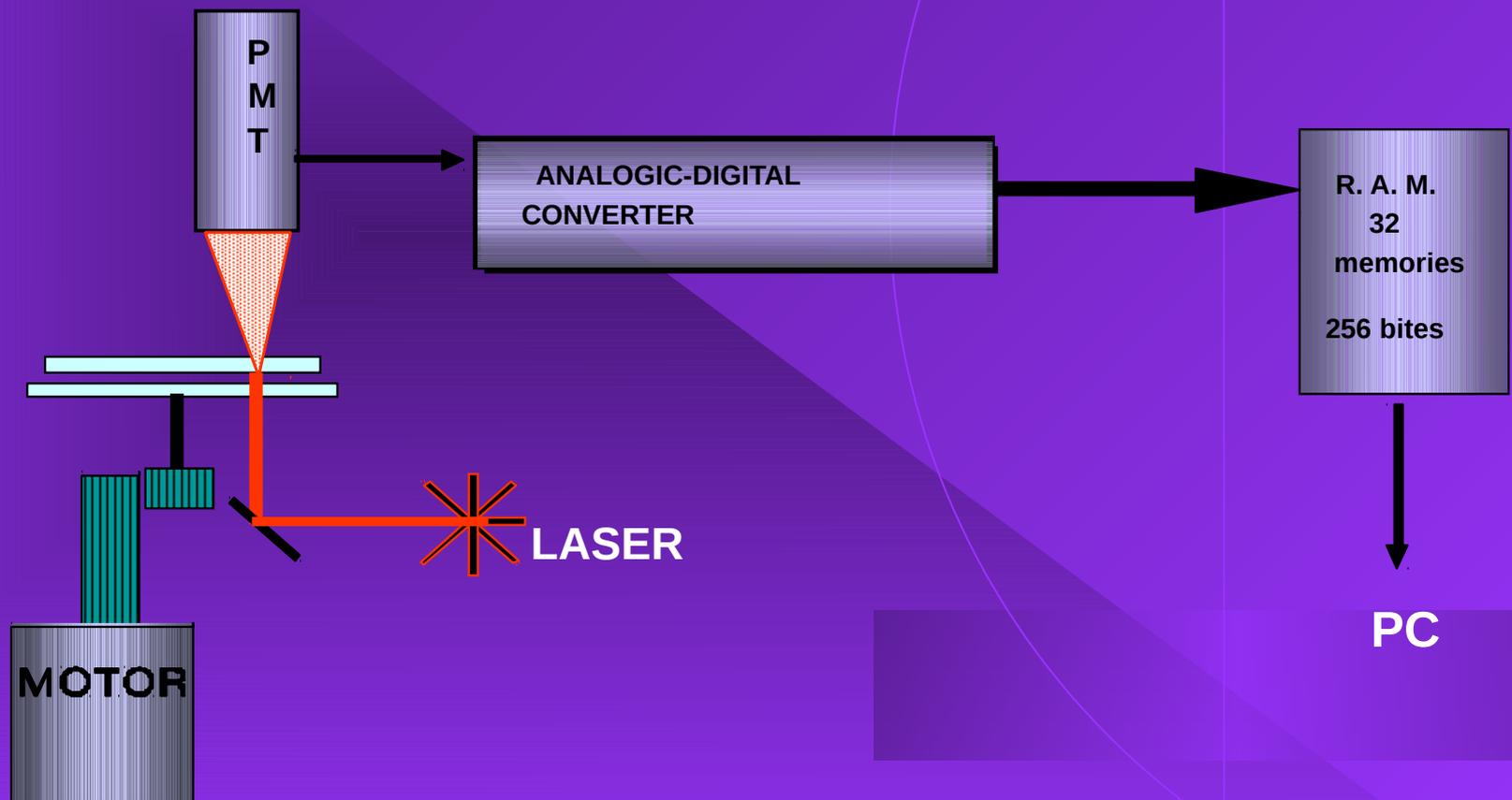
$$\sigma(t) = E \epsilon(t) + \eta \frac{d\epsilon(t)}{dt}$$

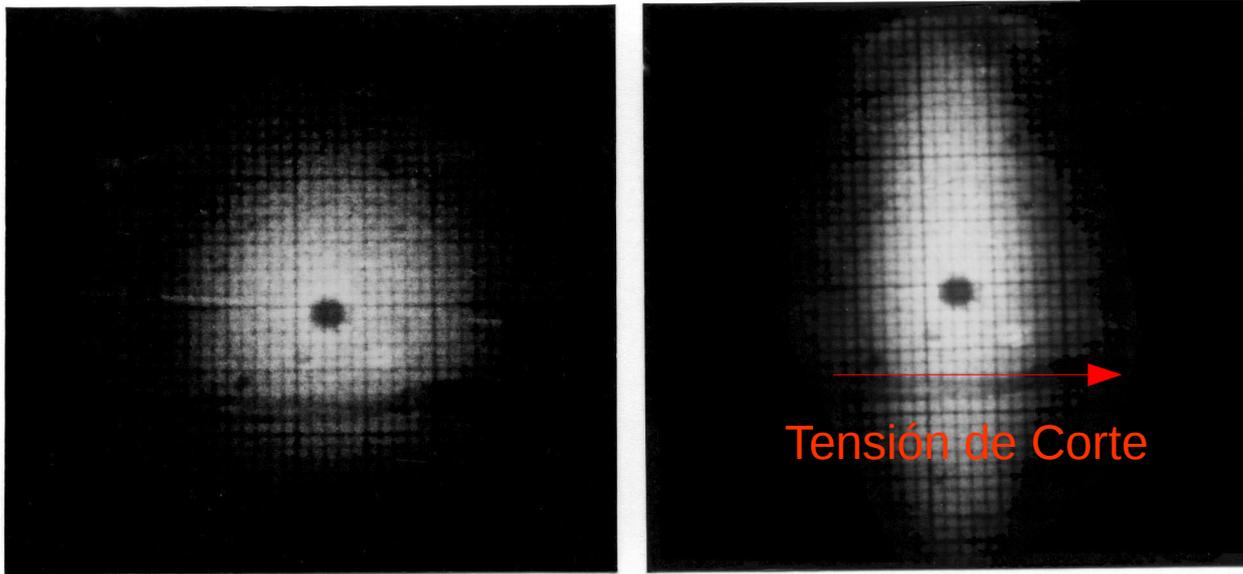
Donde, $E = G(\omega)$ y $\eta(\omega)$



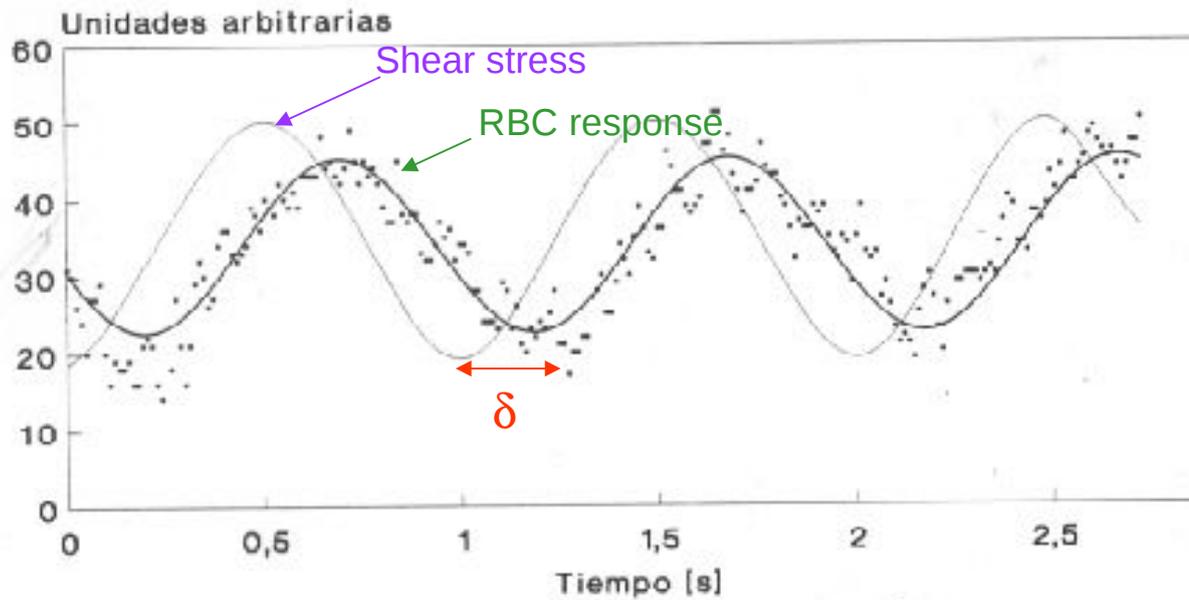
El modelo de Voigt es una buena aproximación para el comportamiento lineal de la membrana del glóbulo rojo. Los parámetros de interés biológico a obtener son: $G(\omega)$, $\eta(\omega)$ y δ ; que corresponde al desfase entre la deformación y la tensión de corte.

Eritrodeformetro





Se puede apreciar el patrón de difracción, con y sin tensión de corte.



Se puede apreciar el ajuste de la respuesta (deformación) del glóbulo rojo con una senoide.

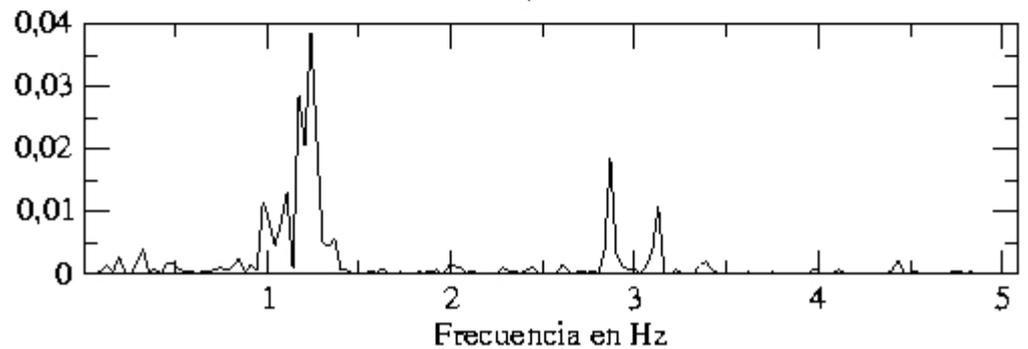
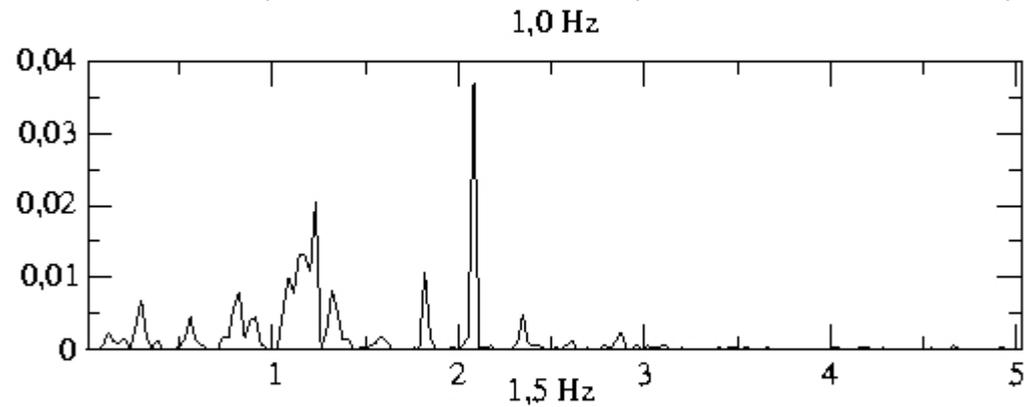
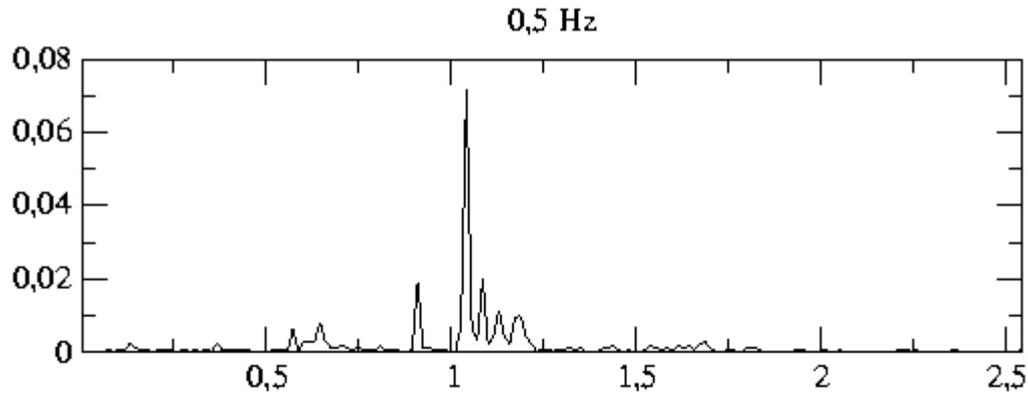
Análisis no lineal de la respuesta setup

La serie temporal obtenida del adquisidor de datos se filtró para eliminar toda respuesta en frecuencia sinusoidal conocida. Para ello se utilizó una ranura de frecuencia con los parámetros dados por el comportamiento lineal.

Al residuo resultante $r(t)$ se lo filtró nuevamente con un filtro Savitzky-Golay de sexto orden, lo cual permite eliminar fenómenos de ruido blanco en los datos. Cabe destacar que este es un filtro F.I.R. (Finite Impulse Response) y no un I.I.R. (Infinite Impulse Response) por lo que el comportamiento del atractor no es afectado por este tipo de filtrado.

Luego se normalizaron los datos a media nula ($\mu = 0$) y varianza unidad ($\sigma^2 = 1$). La serie temporal filtrada contiene el comportamiento no lineal buscado con una óptima relación señal ruido.

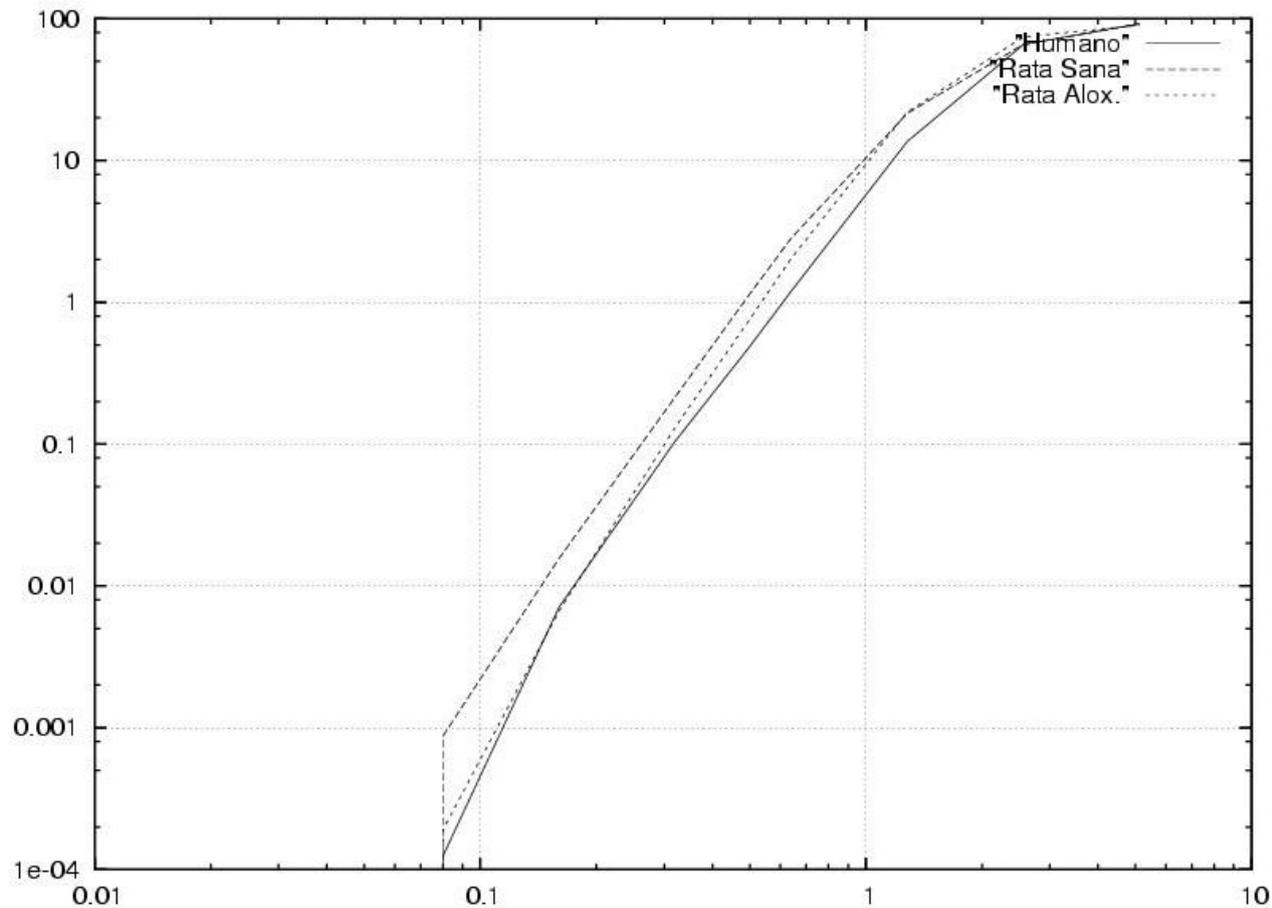
Respuesta en Frecuencia



Frecuencias Excitación (Hz)	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)	f_3 (Hz)	f_4 (Hz)
0,5	0,92	1,04	1,09	1,14
1	1,23	1,32	1,82	2,09
1,5	1,11	1,17	1,23	2,86

En la respuesta en frecuencia (tabla), se puede apreciar la aparición de picos que no son múltiplos de la frecuencia de excitación.

Análisis Cuantificado Recurrente

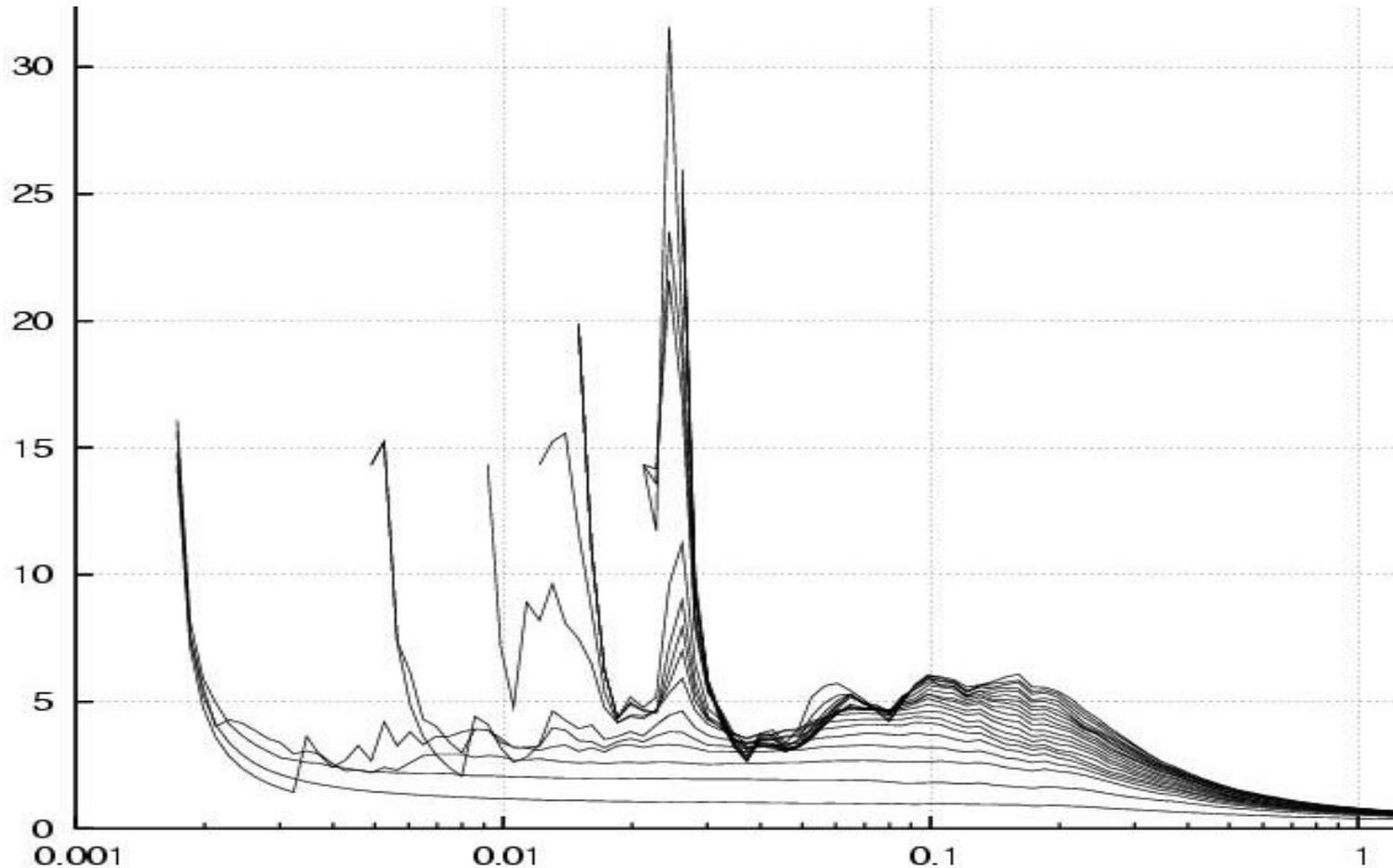


Se usó el ACR para evaluar la dimensión de correlación y el ancho del pasadizo resultó ser independiente no sólo de la frecuencia de excitación sino también de la especie en particular en el caso de glóbulos rojos de individuos sanos. Esto sugiere que la topología del atractor es única con una dimensión de correlación calculada de $C_2 = 3,50 \pm 0,29$. (**Más detalles ver poster**) En individuos enfermos este valor cambia.

Análisis Cuantificado Recurrente

Muestra	H (Puntos) Longitud Máxima	S (bits/ut) Entropía
Humana a 0,5 Hz	285	1,82
Humana a 1,0 Hz	241	1,66
Humana a 1,5 Hz	165	1,66
Rata sana a 0,5 Hz	343	2,21
Rata sana a 1,0 Hz	845	2,51
Rata sana a 1,5 Hz	843	2,13
Rata alox. a 0,5 Hz	304	1,77
Rata alox. a 1,0 Hz	234	1,3
Rata alox. 1,5 Hz	319	1,62

Algoritmo de Grassberger Procaccia



Los ensayos realizados con glóbulos rojos de sangre humana dieron un valor de $C_2 = 3,48 \pm 0,68$. Como se puede apreciar en la figura 2 la región en la cual la estimación de C_2 se hace independiente de d y ϵ es reducida, dando un resultado poco convincente.

Conclusiones

En este estudio se concluye que los parámetros determinados mediante el uso del ACR son de gran sensibilidad para detectar alteraciones en la membrana del glóbulo rojo, no detectables por otras técnicas. En consecuencia, estos resultados serían de gran aplicabilidad en la investigación biomédica.

Grupo de Óptica Aplicada a la Biología, Instituto de Física Rosario (CONICET-UNR)

- Dra Bibiana Riquelme (Directora)

Investigadores

- Dra. Juana R. Valverde
- Dra. Mabel D'Arrigo
- Dra. Patricia Risso
- Dra. Ana Korol
- Dr. Horacio Castellini

Estudiantes de Posgrado

- Lic. Manuel Mancilla Canales – Doctorado en Ciencias Biológicas (UNR)
- Lic. Gonzalo Del Balzo – Doctorado en Ciencias Biológicas (UNR)
- Lic. Marcela Delannoy – Doctorado en Física (UNR)
- Lic. María Eugenia Hidalgo – Doctorado en Ciencias Biológicas (UNR)
- Lic. Romina Ingrassia – Doctorado en Ciencias Biológicas (UNR)
- Farm. Patricia Buszniez – Carrera de Especialización en Plantas Medicinales