

## NOTA:

# ANÁLISIS DE LA DINÁMICA CARDIACA DE LA BALLENA JOROBADA (*MEGAPTERA NOVAEANGLIAE*) CON LA TEORÍA DE LA PROBABILIDAD

Javier Rodríguez, Liliana Ortiz, Signed Prieto, Luisa Álvarez, Catalina Correa y Jorge Reynolds

Carrera 79b · 51-16 Sur, Interior 1 Apartamento 102. Bogotá, Colombia. [grupoinight2025@yahoo.es](mailto:grupoinight2025@yahoo.es)

## ABSTRACT

**Humpback whale (*Megaptera novaengliae*) cardiac dynamic analysis using probability theory.** The cardiac behaviour of the humpback whale (*Megaptera novaengliae*) is described, in order to mathematically characterize its electrocardiogram (ECG) using the Dynamic Components of the System (DCS) and the probability theory. Images of 199 cardiac complexes from the electrocardiography register of a humpback whale were digitalized, determining the frequency apparition of each DCS and calculating the probability of those which frequency was greater or equal than four. Application of the probability theory to the electrocardiography analysis of the whale allows its mathematical, objective and reproducible characterization.

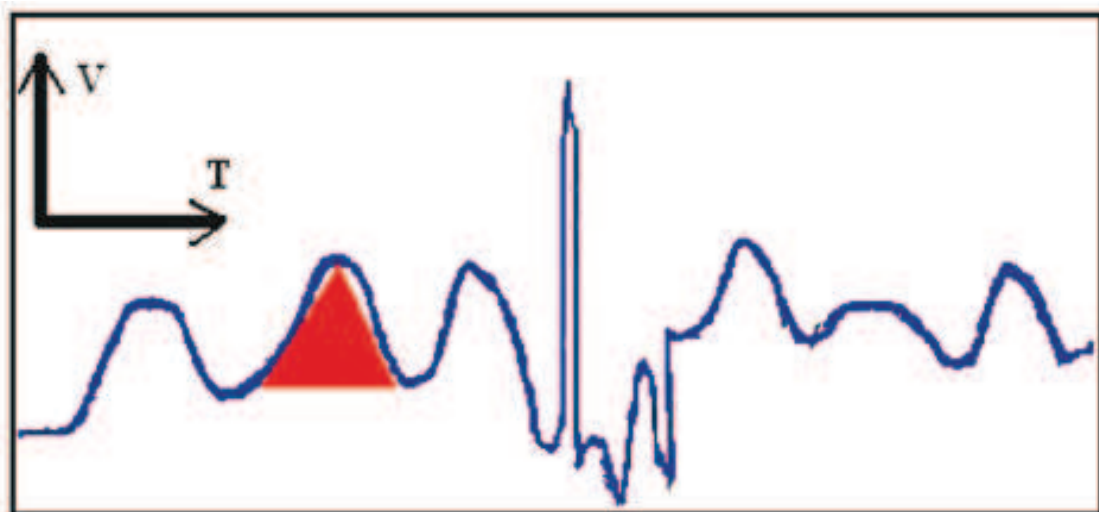
**KEY WORDS:** Electrocardiogram (ECG), Probability, Dynamic Component of the System (DCS)

Las teorías matemáticas y físicas son útiles en la caracterización objetiva de fenómenos fisiológicos con aplicaciones a nivel experimental y clínico (Goldberger, 1996, 2002; Lipsitz y Goldberger, 1992; Goldberger *et al.*, 1987, 1990). Rodríguez *et al.* (2004) desarrollaron una nueva metodología para la caracterización de la dinámica cardiaca en la monitoría fetal a partir de la definición de eventos denominados CDS, cuya metodología será implementada en este trabajo para caracterizar los eventos cardiacos de la ballena. Investigaciones en tecnología y actividad eléctrica cardiaca animal de la ballena jorobada (*Megaptera novaengliae*) han permitido implementar técnicas para la toma de registros como el electrocardiograma (ECG) y el fonograma (Reynolds *et al.*, 1986). La probabilidad es una función que tiene como dominio el conjunto de todos los posibles resultados de un experimento, llamado también espacio muestral, y a cada resultado le asigna un valor numérico dentro del intervalo [0,1] (Feynman, 1987; Blanco, 2004). El propósito del presente estudio es caracterizar matemáticamente la dinámica cardiaca de la ballena jorobada, mediante la evaluación de la probabilidad de aparición de CDS en el ECG.

Para el estudio se contó con el ECG de una ballena jorobada; la toma del registro, que se hizo en la región de la isla Gorgona, requiere del uso de una ballesta y un dardo RF (Reynolds *et al.*, 1986). El registro comprende en total 199 imágenes, cada una de las cuales constituye un complejo, y cuya duración total fue de 10 minutos y 16 segundos; en cada complejo se evaluó la aparición de eventos denominados CDS, definidos como una variación específica en la actividad eléctrica en el tiempo, evidenciable geoméricamente como una subida (CDS creciente) o una bajada (CDS invertido) en el trazado respecto al punto anterior (Rodríguez *et al.*, 2004). En la figura (1) se muestra un CDS creciente dentro del electrocardiograma, lo que gráficamente es el triángulo encerrado en uno de los pulsos registrados en el ECG, el eje horizontal es el tiempo y el eje vertical representa el voltaje. En el presente estudio los CDS se evaluaron tomando milímetros (mm) como escala de medida, siendo así el menor de 1 mm de ancho por 1 mm de altura. Posteriormente se calcularon las probabilidades de aparición de cada uno de los CDS que presentaron una frecuencia de mínimo cuatro veces de aparición en la totalidad del registro, para ello se tomaron todos los CDS y a la aparición de un CDS particular se le asignó la probabilidad dada por

$$P(\text{CDS}) = \frac{N_A}{N_T}$$

donde,  $N_A$  es el número de veces que se presenta dicho CDS y  $N_T$  es el número total de CDS medidos. Se tomaron por separado CDS crecientes los cuales fueron en total 1126 y los invertidos los cuales fueron 1242 (Feynman, 1987; Blanco, 2004).



**Figura 1.** Ejemplo de un CDS, la componente horizontal representa el tiempo (T), en el eje vertical el voltaje (V), el triángulo rojo inscrito en la cresta del ECG es un CDS creciente.

Se encontraron 348 tipos de CDS diferentes en el electrocardiograma de la ballena. Cada complejo presenta varios CDS relevantes, o sobresalientes, que lo caracterizan y que representan los picos positivos e invertidos, los cuales se encuentran entre el ámbito de 1x8 mm y 1x11 mm en el caso de los crecientes y entre 1x9 mm y 1x13 mm en los invertidos. La tabla 1 muestra la frecuencia de aparición de cada tipo de CDS creciente en la totalidad del registro electrocardiográfico. La tabla 2 muestra los resultados totales de frecuencia de aparición de CDS, ordenados por ámbitos establecidos de acuerdo con la altura de los componentes crecientes e invertidos. Los resultados encontrados al hacer el cálculo de probabilidades con los CDS se presentan en la tabla 3.

Este es el primer trabajo en el que se hace una caracterización matemática de la dinámica cardíaca de las ballenas jorobadas, encontrando que la metodología desarrollada es apropiada para la caracterización de la dinámica cardíaca de la ballena y mostrando que existe un número finito de eventos medidos, lo que probablemente implicaría la existencia de un conjunto finito de dinámicas cardíacas posibles. Los resultados encontrados evidencian la aparición de 348 CDS diferentes en la evaluación del comportamiento eléctrico del corazón del mamífero marino. Los avances en la automatización de la interpretación de electrocardiografía son una herramienta fundamental para la simulación teórica y experimental del funcionamiento mecánico y eléctrico del corazón. Según Reynolds (Reynolds, 2003): “El análisis electrocardiográfico cambiará en pocos años, no se hablará de los «ejes eléctricos del corazón», sino de los algoritmos pertinentes a la interpretación que se quiera obtener del electrocardiograma”. Así, esta investigación da continuidad a los trabajos previamente elaborados, encontrando una organización matemática de los datos tomados experimentalmente. El presente trabajo establece una nueva metodología matemática de caracterización objetiva del ECG que implica una evaluación independiente de la interpretación médica convencional en el humano. La visión matemática y física de fenómenos de la naturaleza permite la obtención de órdenes generales, aplicables tanto a la totalidad de eventos estudiados como a cada caso particular, estableciendo características independientemente de metodologías estadísticas, que no pueden dar cuenta de la individualidad. Desde esta concepción, es posible pensar en la construcción futura de una generalización que de cuenta de la dinámica cardíaca de cualquier ser vivo.

**Tabla 1.** Frecuencia de CDS crecientes en la totalidad del ECG de una ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*). El número de cada columna indica la base del componente (B), que corresponde al tiempo de duración del evento cardíaco dada en milímetros en donde 25 mm equivalen a un segundo y la cifra de las filas muestra la altura (A), dada también en milímetros, en donde 20 mm equivalen a 1 (mV).

B \ A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	29	30	32	
1	8	24	23	15	8	2	4	4	3	3	3	3	2	4	1	2		2	1	2	1		1				1	1	1		
2	2	1	27	16	16	17	3	9	5	6	6	5	5	5		2	3	2	2	2	1			1	1						
3	2	17	13	25	15	21	13	5	7	8	11	7	6	4	1	2	1	3	2	2	1		2		1	3					
4	5	7	3	10	23	15	17	7	4	8	3	7	5	2	1	3	2	3	2	2	1				1	1	1				
5	7	10	9	5	8	13	7	10	5	3	3	2	3	1		4	2											1			
6	11	5	4	5	9	13	9	5	7	3		4	2	2	1	3	1				1	1			1	1					
7	14	9	13	4	6	4	8	5	6	3	3	1	1	4	1		1			1	1	1	1	2		1	1		1		
8	23	16	5	2	5	7	6	5	2	2	2	2	1	1		2				1		1									
9	23	18	11		2	4	4	4	2	2	1	1	1		1			2		1											
10	35	22	11		2	1	1	3	1	1	1		1	1			1														
11	18	24	24			1	4	5	2	1	1			1						1								1	1		
12	13	19	23						1			3	2	1		1			1		1										
13	10	9	6			1	1	1	2	2	1				1																
14	5	3	4	1							1																				
15	7	1	4			1		1	1															1							
16	18	1	1				1		1			1																			
17	11		2				1	1	1																						

Continuación Tabla 1.

B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	29	30	32
A	18	14	1					1	9																					
	19	7																												
	20	2	1	3	1																									
	21	4																												
	22	1	1																											
	23	1																												
	24																													
	25																													
	26																													
	27																													
	28																													
	29							1																						

**Tabla 2.** Frecuencias totales de CDS crecientes e invertidos ordenadas por ámbitos de altura. Se presentan ordenadas las frecuencias de los CDS por ámbitos de altura, la cual está dada en milímetros, cada 20 mm equivalen a 1 (mV).

Altura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	29
Crecientes	119	150	171	133	93	88	90	83	77	81	84	190	34	14	16	23	15	16	7	7	4	2	1	0	0	0	0	1
Invertidos	133	180	156	157	110	83	80	70	82	73	94	221	53	43	37	20	10	10	5	4	3	1	1	1	2	1	1	0

**Tabla No. 3.** Probabilidad de aparición de CDS crecientes

<b>R</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>26</b>
<b>A</b>																
1	0.0071	0.0213	0.0204	0.0133	0.0071		0.0035	0.0035						0.0035		
2		0.0098	0.0240	0.0142	0.0142	0.0151	0.0027	0.0080	0.0044	0.0053	0.0053	0.0044	0.0044	0.0044		0.0035
3		0.0151	0.0115	0.0222	0.0133	0.0186	0.0115	0.0044	0.0062	0.0071	0.0098	0.0062	0.0053	0.0035		
4	0.0044	0.0062		0.0089	0.0204	0.0133	0.0151	0.0062	0.0035	0.0071		0.0062	0.0044			
5	0.0062	0.0089	0.0080	0.0044	0.0071	0.0115	0.0062	0.0089	0.0044						0.0035	
6	0.0098	0.0044	0.0035	0.0044	0.0080	0.0115	0.0080	0.0044	0.0062			0.0035				
7	0.0124	0.0080	0.0115	0.0035	0.0053	0.0035	0.0071	0.0044	0.0053					0.0035		
8	0.0204	0.0142	0.0044		0.0044	0.0062	0.0053	0.0044								
9	0.0204	0.0160	0.0098													
10	0.0311	0.0195	0.0098													
11	0.0160	0.0213	0.0213				0.0035	0.0044								
12	0.0115	0.0169	0.0204													
13	0.0089	0.0080	0.0053													
14	0.0044	0.0027	0.0035													
15	0.0062		0.0035													
16	0.0160															
17	0.0098															
18	0.0124															
19	0.0062															
21	0.0035															

## AGRADECIMIENTOS

A Nicolás Avilán por ayudarnos en la recopilación de las imágenes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Blanco, L. 2004. Probabilidad. Univ. Nal. Col., Unibiblos, Bogotá. 374 p.
- Feynman, R. P., R. B. Leighton y M. Sands. 1987. Probabilidad. 6-16. En: Feynman, R. P., R. B. Leighton, y M. Sands. Física, Volumen 1. Addison-Wesley Iberoamericana, San Francisco, EE. UU. 730 p.
- Goldberger, A. 1996. Non-linear dynamics for clinicians: chaos theory, fractals, and complexity at the bedside. *Lancet*, 347: 1312-1314.
- Goldberger, A. 2002. Fractal dynamics in physiology: Alterations with disease and aging. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 99: 2466-2472.
- Goldberger, A. L. y B. J. West. 1987. Fractals in physiology and medicine. *Yale J. Biol.*, 60: 421-35.
- Goldberger, A., D. Rigney y B. West. 1990. Chaos and fractals in human physiology. *Sci. Am.*, 262: 42-49.
- Lipsitz, L. y A. Goldberger. 1992. Loss of “complexity” and aging. (Preliminary Communication). *J. Am. Med. Ass.*, 267: 1806-1809.
- Reynolds, J. 2003. ¿Será éste el futuro de la cardiología? Vista por un ingeniero electrónico. *Rev. Col. Card.*, 10: 219-227.
- Reynolds, J., F. Ospina, J. León y A. París. 1986. El electrocardiograma y fonograma de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*). *Rev. Col. Card.*, 2: 127-136.
- Rodríguez, J., V. Carmona, N. Avilán y P. Hincapié. 2004. Análisis de la monitoría fetal con la teoría de la probabilidad. *Rev. Col. Obs. Gin.*, 55: 267- 278.

FECHA DE RECEPCIÓN:19/01/06

FECHA DE ACEPTACIÓN:04/05/09

