

# ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE SEÑALES CARDIORRESPIRATORIAS PARA DETERMINAR EL MOMENTO ÓPTIMO DE DESCONEXIÓN DE UN PACIENTE ASISTIDO MEDIANTE VENTILACIÓN MECÁNICA

JORGE ARMANDO PINTO FRANCO

DR. CARLOS JULIO ARIZMENDI PEREIRA

DRA. BEATRIZ GIRALDO



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH



Institute for bioengineering  
of Catalonia

# OBJETIVO GENERAL

Analizar, mediante técnicas avanzadas de procesamiento de señales e inteligencia artificial, la variabilidad del patrón respiratorio en pacientes durante el proceso de extubación, para encontrar posibles diferencias entre pacientes que pueden mantener la respiración de forma espontánea, pacientes que fracasan en este intento, y pacientes que aun habiendo superado el proceso de destete o extubación deben ser reintubados antes de 48 horas.

# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Buscar bibliografía y estudiar de manera preliminar las técnicas utilizadas en trabajos previos para el procesamiento de señales cardíacas y respiratorias, y para clasificación de problemas con bases de datos biomédicas.

Estudiar las señales respiratorias y cardíacas de la base de datos WEANDB.

Estudiar las técnicas en el dominio tiempo-frecuencia y frecuencia.

Estudiar las diferentes técnicas de clasificación, mediante clasificadores basados en técnicas estadísticas y de inteligencia artificial.

Desarrollar un modelo para la clasificación de pacientes en proceso de extubación, a partir de las series respiratorias y cardiorrespiratorias.

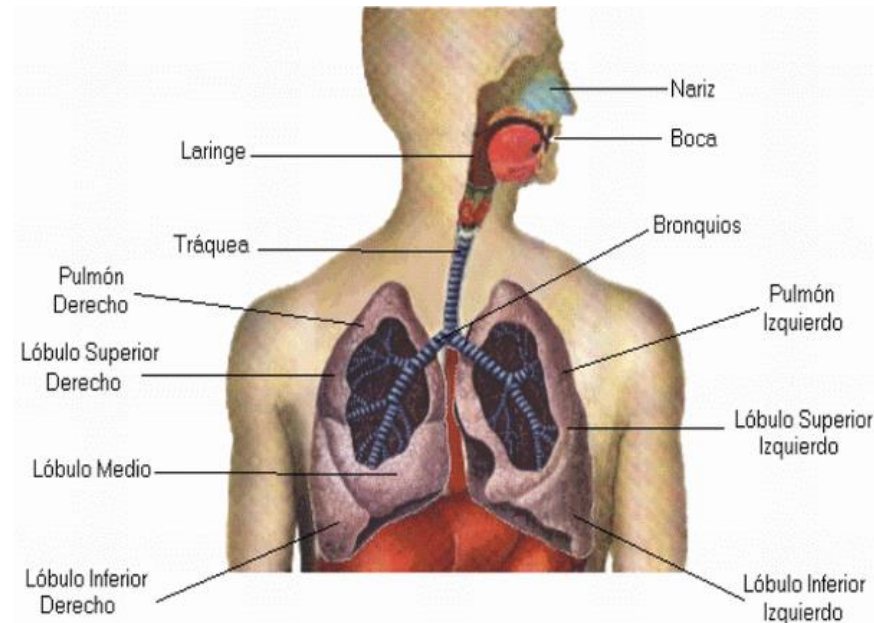
Obtener nuevos índices basados en el estudio de la variabilidad de los patrones respiratorios y cardiorrespiratorios para la ayuda en la decisión del momento óptimo de extubación.

Analizar e interpretar los resultados obtenidos.

# SISTEMA RESPIRATORIO

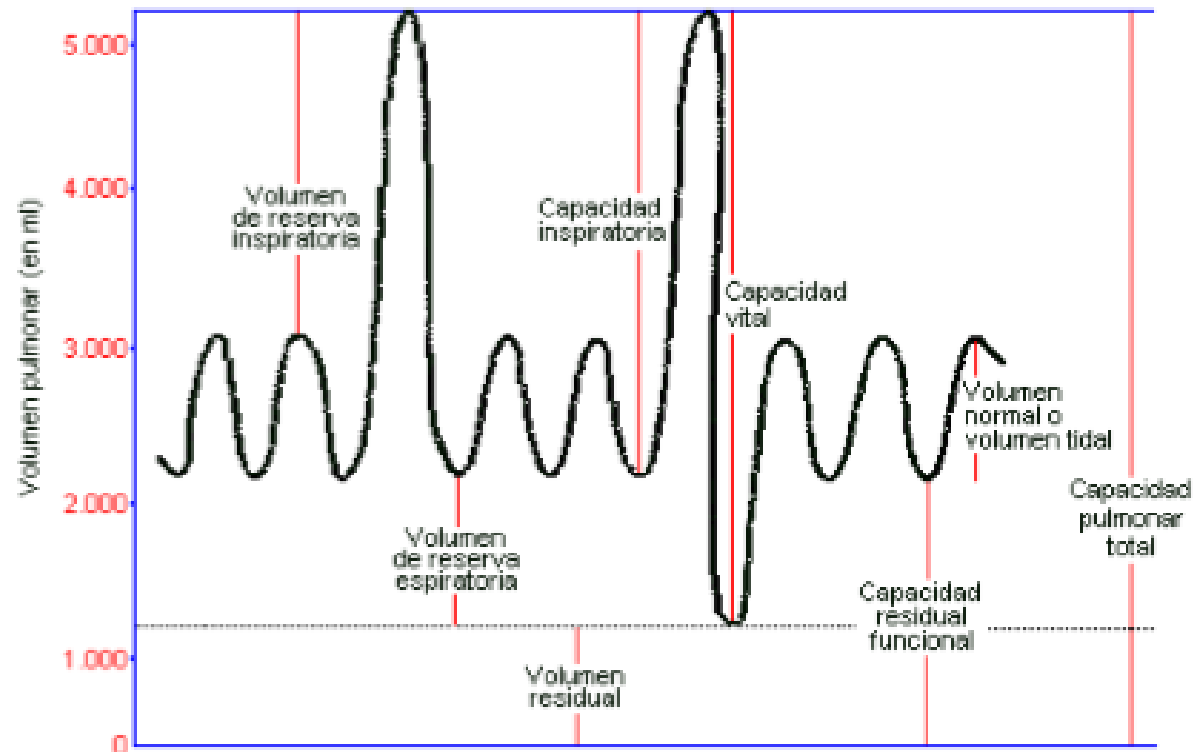
---

El sistema respiratorio es uno de los cuatro sistemas mayores del cuerpo humano junto con el cardiovascular, el renal y el gastrointestinal. El sistema respiratorio interacciona con el entorno y su principal función es suministrar oxígeno y eliminar dióxido de carbono, lo que permite el mantenimiento de las células.



# SISTEMA RESPIRATORIO

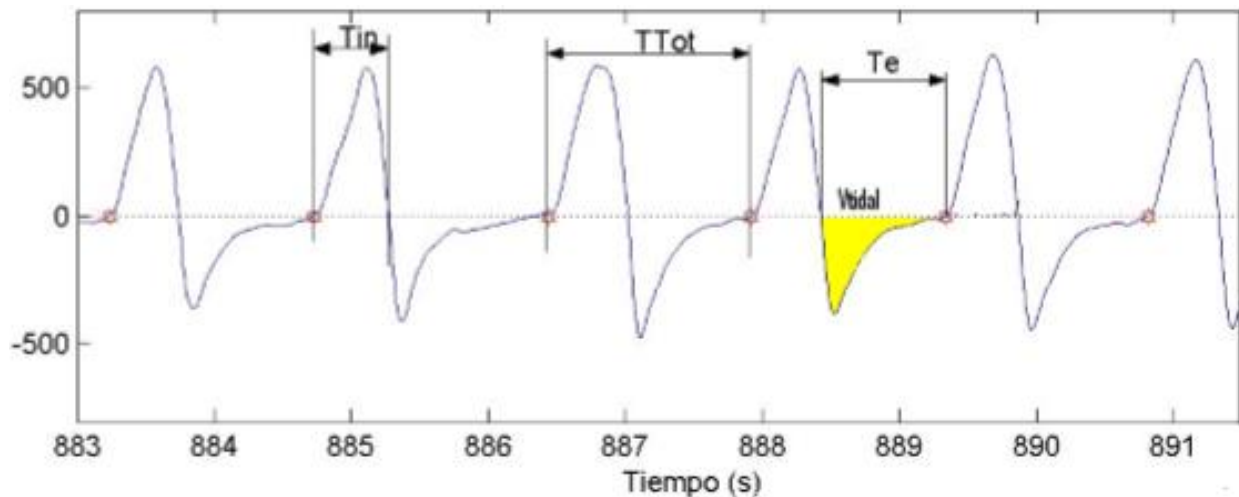
Una de las formas características para realizar el estudio del sistema respiratorio es mediante el análisis de la señal de volumen, la señal de flujo y la presión respiratoria en función del tiempo



# SISTEMA RESPIRATORIO

Se pueden calcular diversos parámetros, que describen la función pulmonar.

A partir de los volúmenes y capacidades descritos anteriormente, se puede caracterizar y definir el patrón respiratorio. Una forma de caracterizar la función mecánica del sistema pulmonar puede ser mediante las siguientes series respiratorias.



## Variables de las series respiratorias

$TTot$  :  $TI + TE$  : Duración del ciclo respiratorio.

$TI$ : Tiempo de inspiración.

$TE$ : Tiempo de espiración.

$VT$ : Volumen circulante o volumen tidal.

$TI/TTot$  : Fracción inspiratoria.

$VT/TI$  : Flujo inspirado medio.

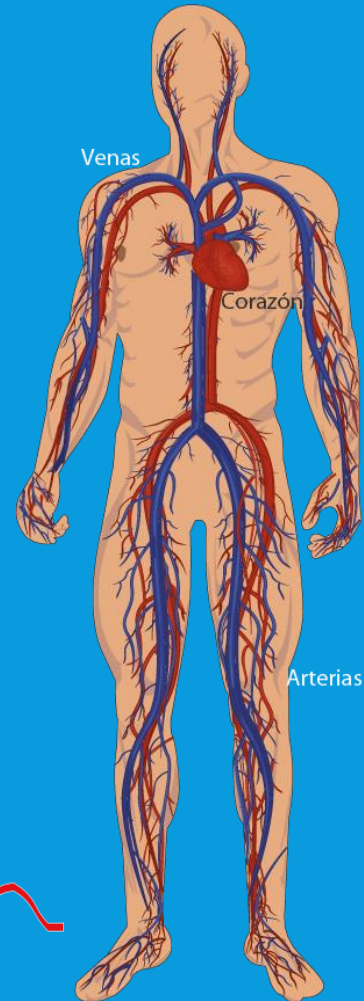
$f/VT$  : Relación frecuencia-volumen tidal.

# SEÑAL ELECTROCARDIOGRÁFICA

Las señales electrocardiográficas (ECG) son señales biomédicas generadas a partir de la actividad del músculo cardíaco.

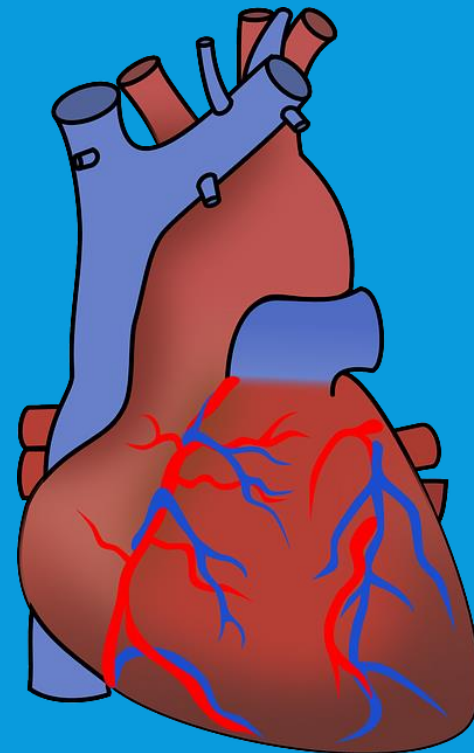
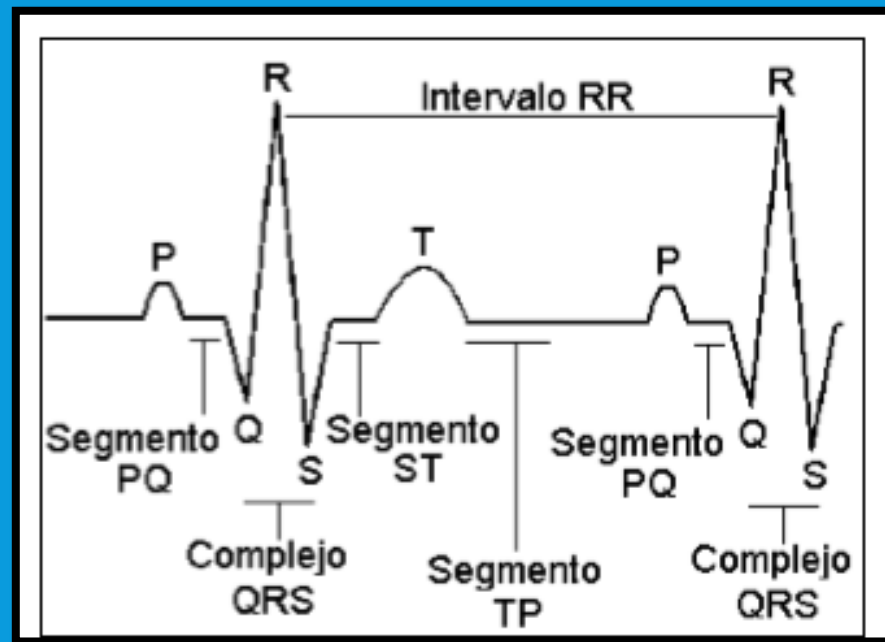
El ECG presenta un comportamiento repetitivo unido a cada recurrencia de los latidos cardíacos, que consta de distintas ondas en una secuencia determinada.

El estudio de la variabilidad del ritmo cardiaco es uno de los índices más utilizados para analizar los mecanismos que controlan el sistema cardiovascular, y se ha mostrado como un índice complementario en el diagnóstico y tratamiento de diversos casos clínicos.



# SEÑAL ELECTROCARDIOGRÁFICA

Cada una de estas ondas representa las distintas fases del latido cardíaco, y se denotan por las letras P, Q, R, S, T.



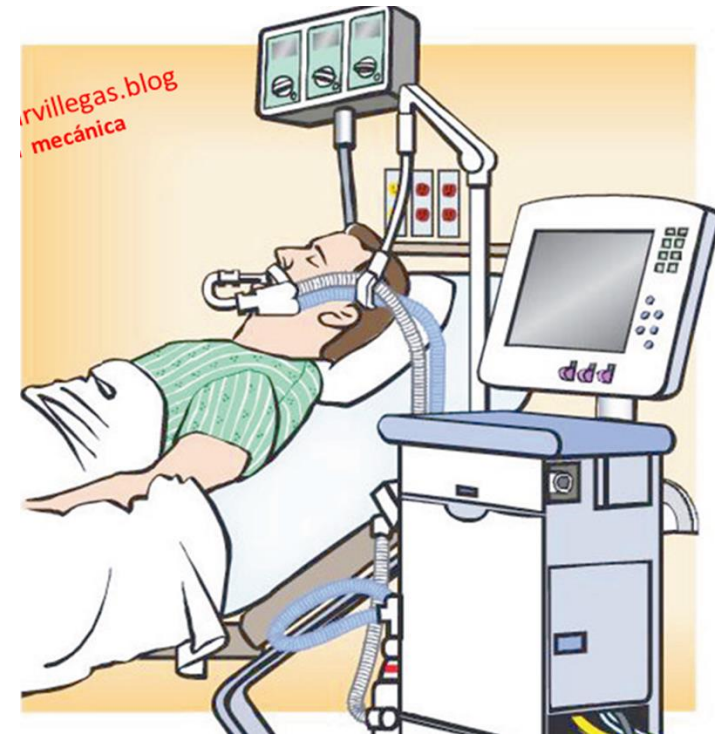


# VENTILACIÓN MECÁNICA

La VM es un procedimiento de respiración artificial que permite ayudar a sustituir la función ventilatoria de un paciente.

La VM es el tratamiento principal en los pacientes con IRA y una de las técnicas más utilizadas en las UCI's

Tanto la perpetuación como el retiro temprano de la VM provocan riesgos en el paciente.



# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

la facilidad de separar a un paciente de un ventilador mecánico se relaciona de forma inversa con la duración de la VM

hasta 25% de pacientes sufren un distrés respiratorio lo bastante grave como para requerir su reintubación

atrofia de la musculatura respiratoria

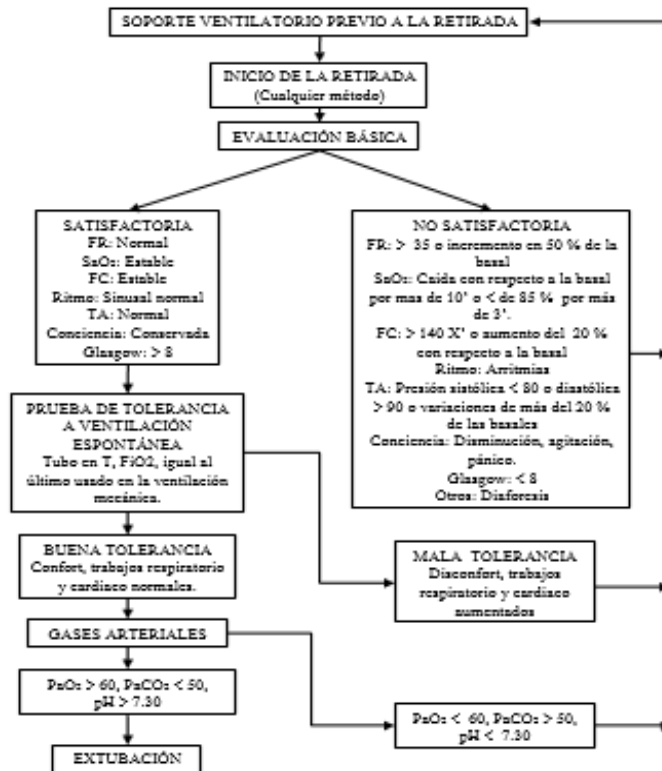
pérdida de los mecanismos de defensa

retención de secreciones

Infecciones nosocomiales

No existe un método que garantice completamente el éxito en la desconexión del paciente del ventilador mecánico

# CRITERIOS GENERALES



Existen índices y criterios clínicos que permiten estimar el momento adecuado para iniciar el proceso de extubación, aunque no siempre con buena precisión.

- Capacidad vital mayor que 10-15 ml/kg del peso corporal.
- Presión respiratoria negativa menor que -30 cm de columna de agua.
- Ventilación por minuto menor que 10 litros/min.
- Ventilación voluntaria máxima superior al doble de la ventilación en reposo.
- Presión alveolar de oxígeno superior a 60 torr.
- Concentración inspirada de oxígeno inferior a 0,35.
- Gradiente alveolar-arterial de la presión de oxígeno menor a 350 torr.
- Cociente de presión alveolar y concentración de oxígeno mayor que 200 torr.

# CRITERIOS GENERALES

La identificación del momento adecuado para iniciar el proceso de extubación se hace evaluando diversos índices o predictores de éxito o fallo

Índice	Valor umbral	Sensitividad	Especificidad
Ventilación minuto espontánea $V_E$	$\leq 15$ L/min	0.78	0.18
Frecuencia de respiración espontánea $f$	$\leq 38$ /min	0.92	0.36
Volumen Tidal Espontáneo $V_T$	$\geq 325$ mL	0.97	0.54
Relación $V_T$ /peso corporal	$\geq 4$ mL/kg	0.94	0.39
Presión inespíroria máxima	$\leq 15$ cmH <sub>2</sub> O	1	0.11
Compliancia dinámica	$\geq 22$ mL/cmH <sub>2</sub> O	0.72	0.50
Compliancia estática	$\geq 33$ mL/cmH <sub>2</sub> O	0.75	0.36
Relación $P_{iO_2}/P_{A}O_2$	$\geq 0.35$	0.81	0.29
$fV_T$	$\leq 105$	0.97	0.64
CROP	$\geq 13$ mL/(resp/min)	0.81	0.057

# ¿QUÉ SE PROPONE?

Los sistemas respiratorios y cardiovascular humano están siendo ampliamente estudiados, dado que no actúan de forma independiente.

Es conocido que la serie temporal de frecuencia cardíaca presenta oscilaciones a la frecuencia respiratoria.

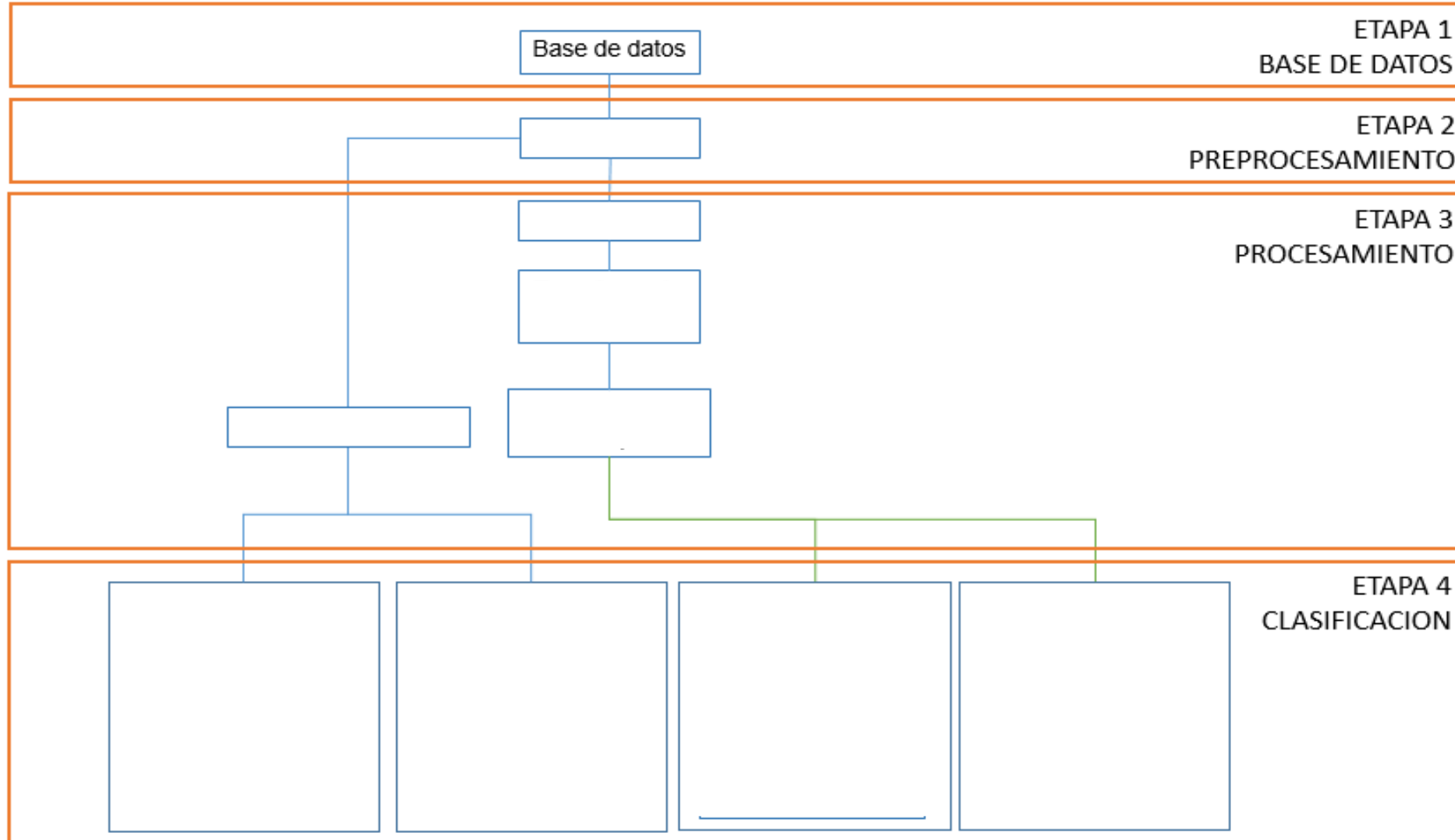
Existe un patrón típico de dos latidos por inspiración y tres latidos para la espiración.

Diversos grupos han estudiado el patrón cardiorrespiratorio buscando características que permitan diferir los pacientes que tienen mayor probabilidad de recuperar la respiración espontánea de los que no.

Es necesario hacer un estudio en profundidad de estas señales, con el fin de determinar los parámetros que puedan aportar mayor información.

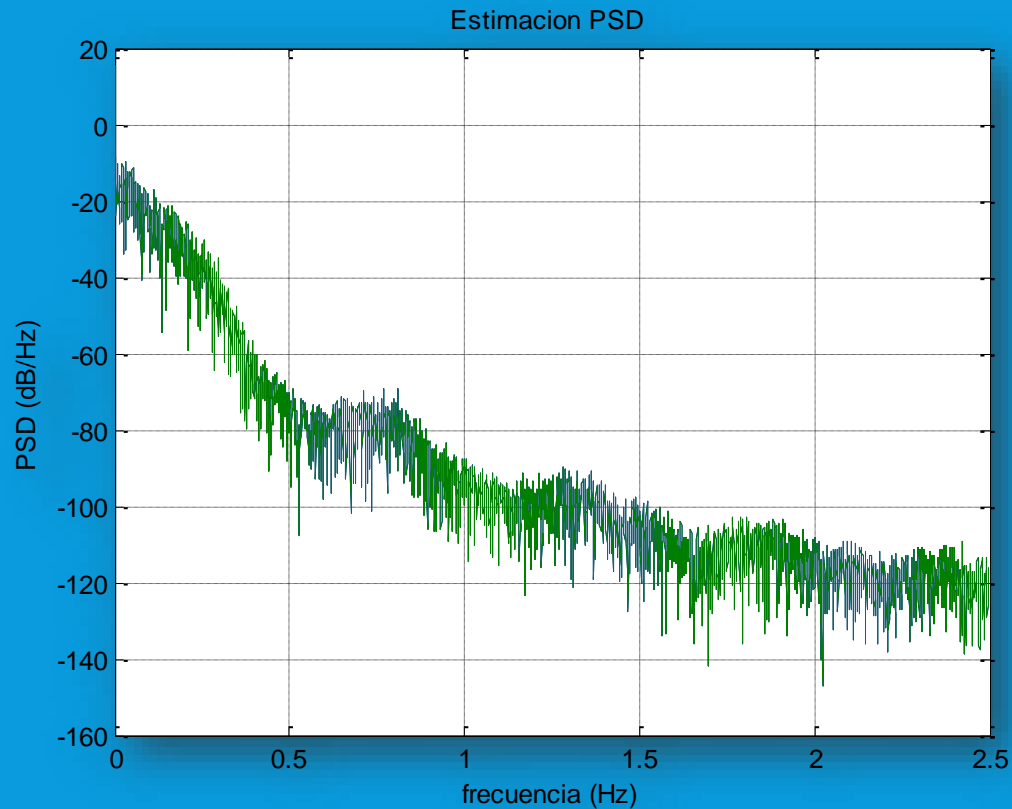
En base a las señales cardíacas y respiratorias buscar nuevos índices que disminuyan la dependencia de la habilidad o conocimientos del médico.

# METODOLOGÍA



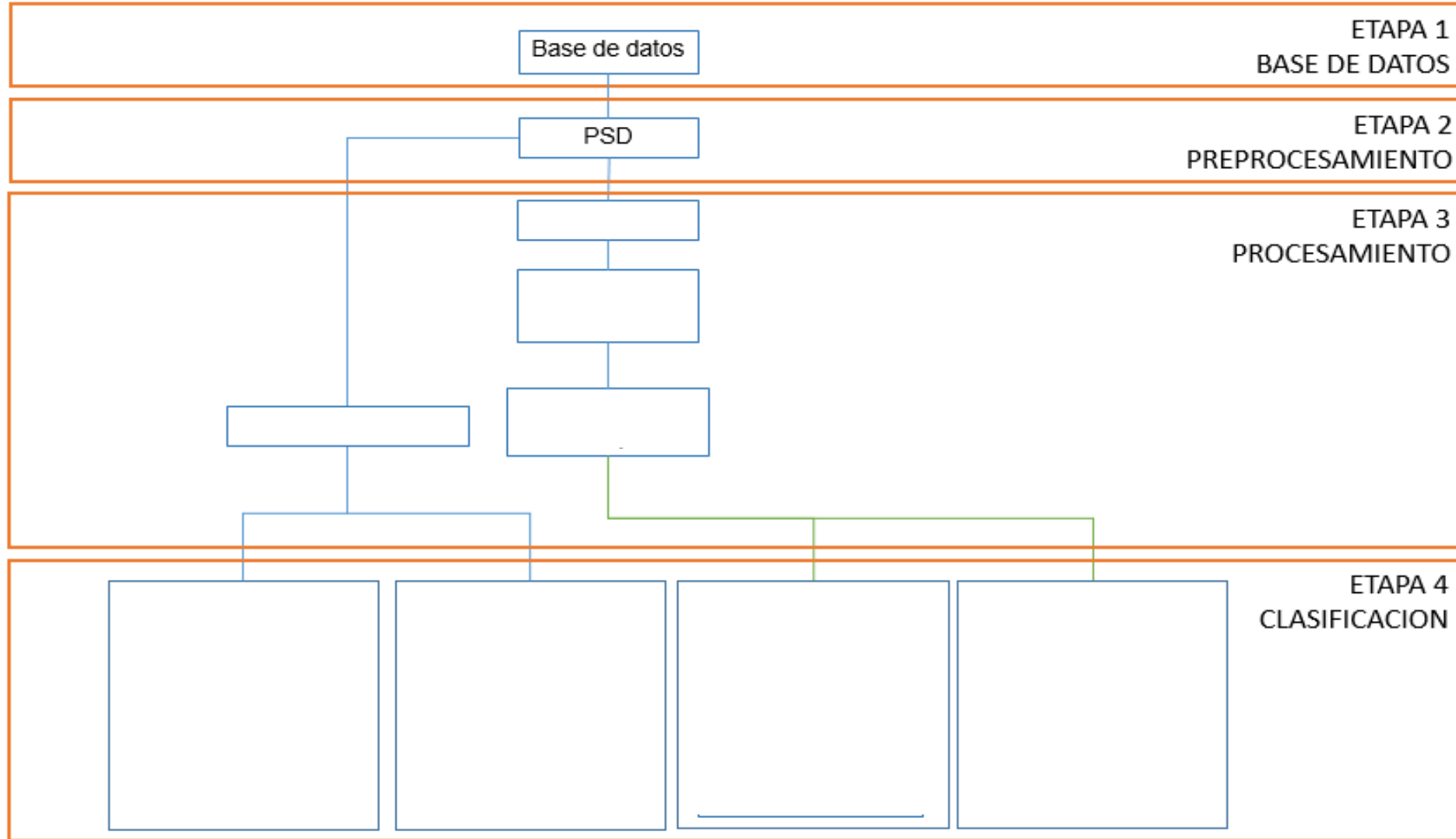
# PREPROCESAMIENTO

- ANÁLISIS DE LA DENSIDAD DE POTENCIA



se caracteriza por la distribución de amplitudes para cada frecuencia de un fenómeno ondulatorio que sea una superposición de ondas de varias frecuencias.

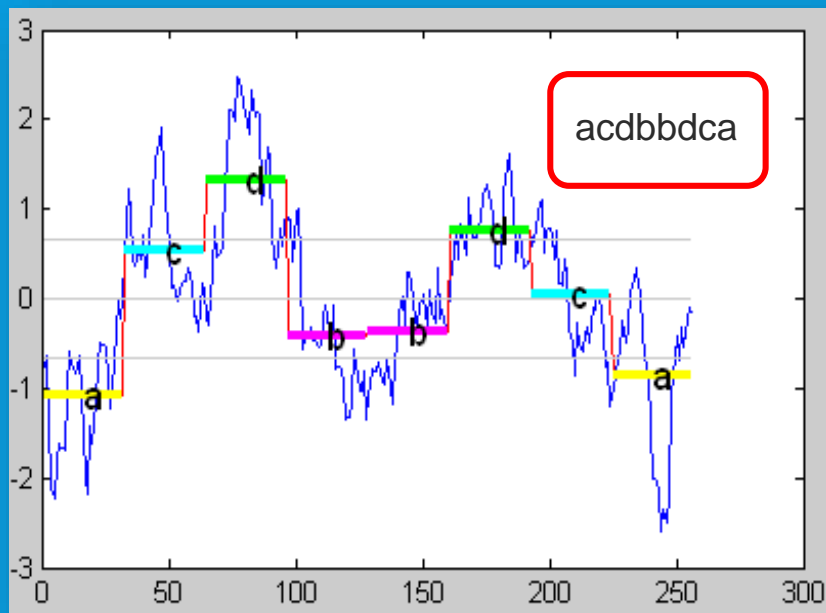
# METODOLOGÍA



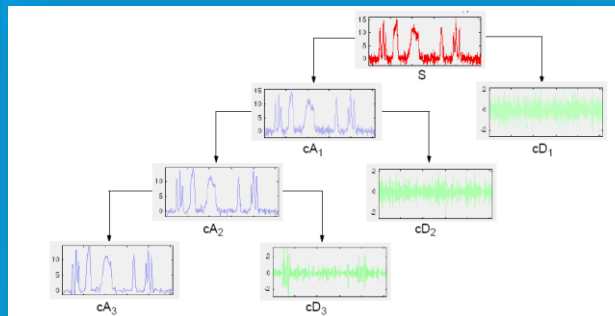
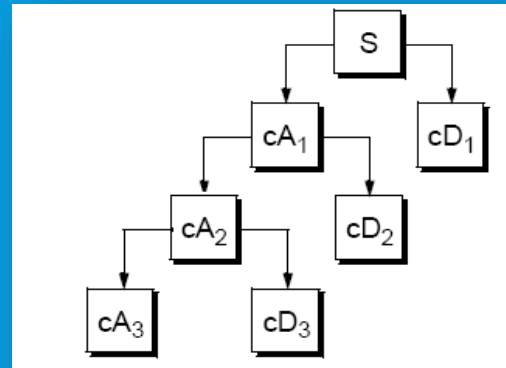


# PROCESAMIENTO

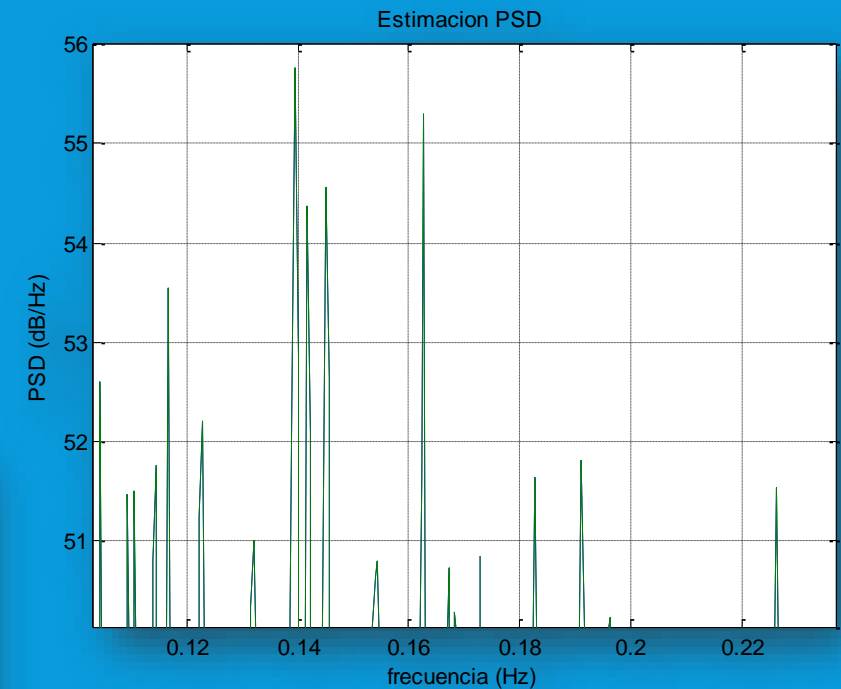
- DINÁMICA SIMBÓLICA



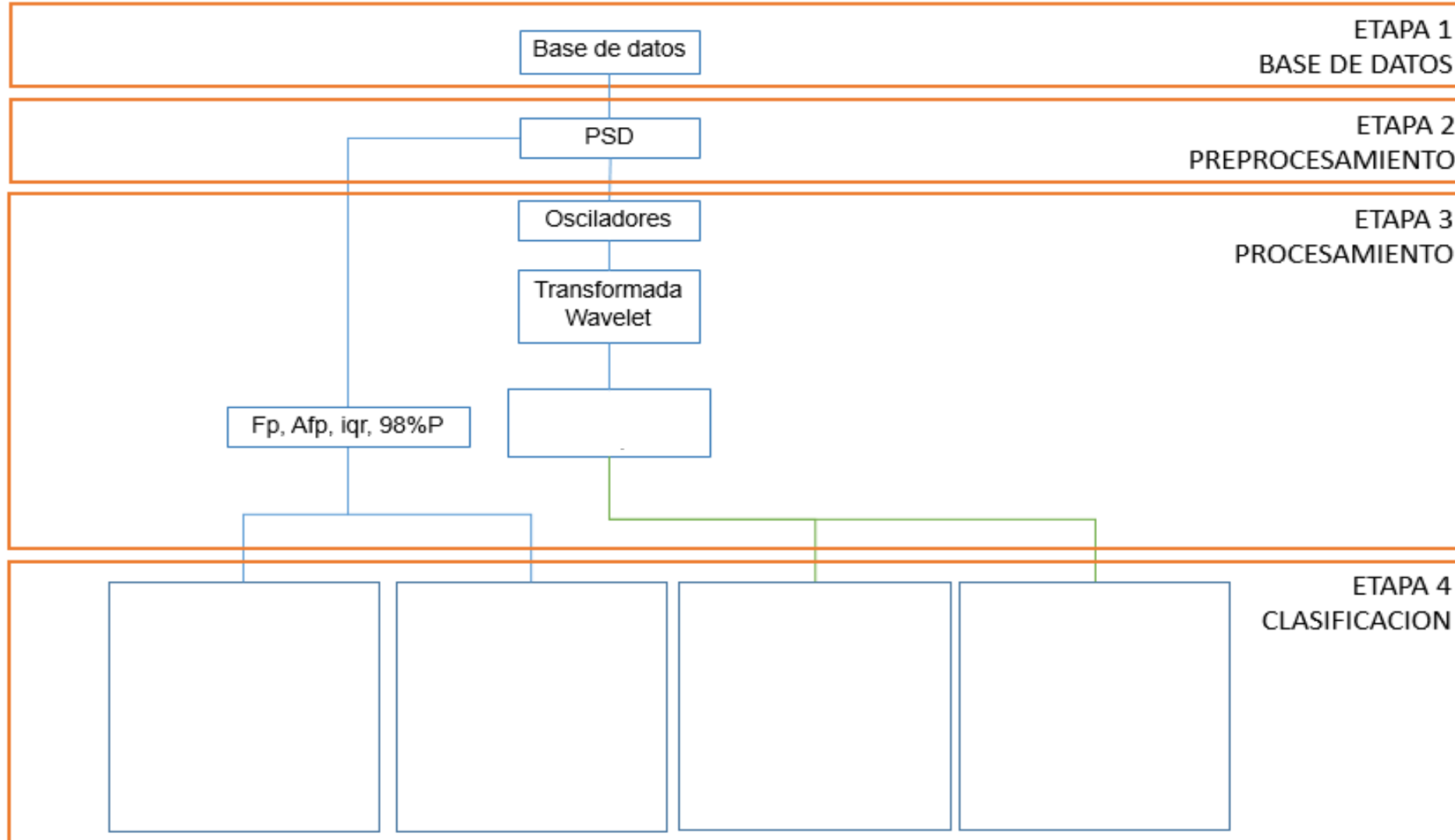
- TRANSFORMADA WAVELET



- TRANSFORMADA FOURIER

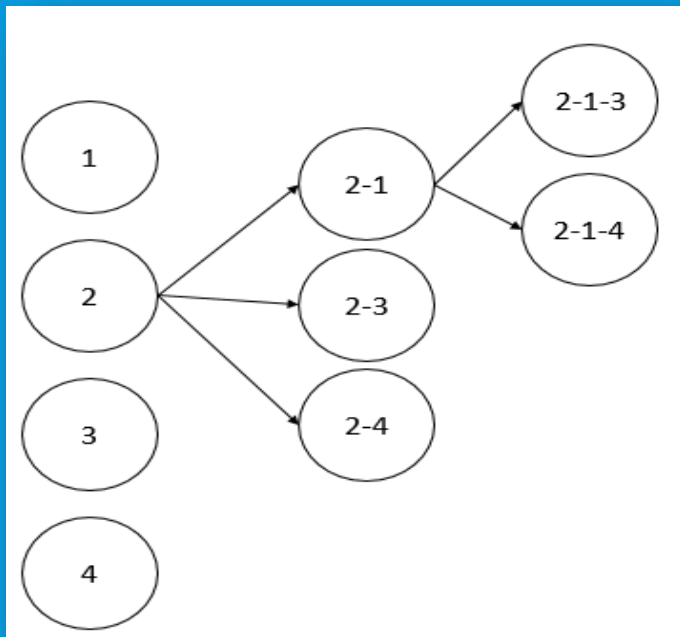


# METODOLOGÍA

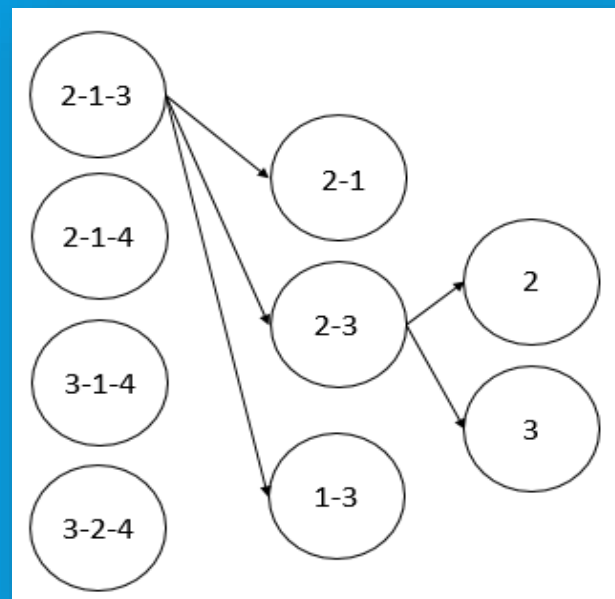


# REDUCCIÓN DE DIMENSIONALIDAD

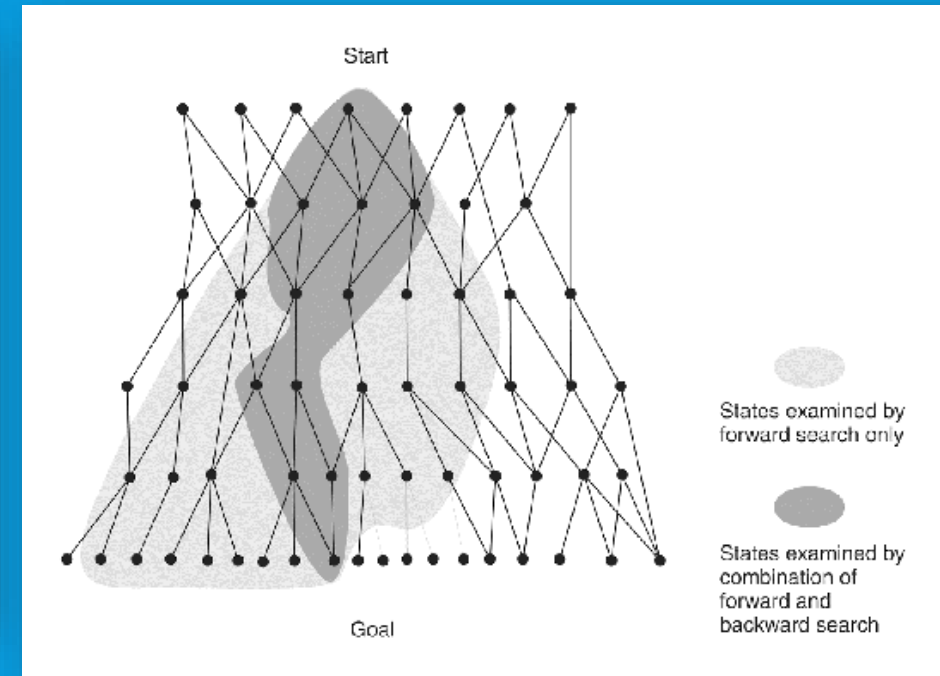
## • FORWARD SELECTION



## • BACKWARD SELECTION

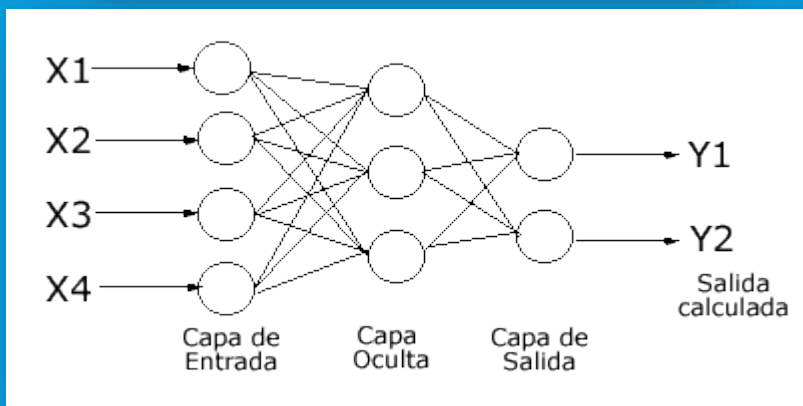
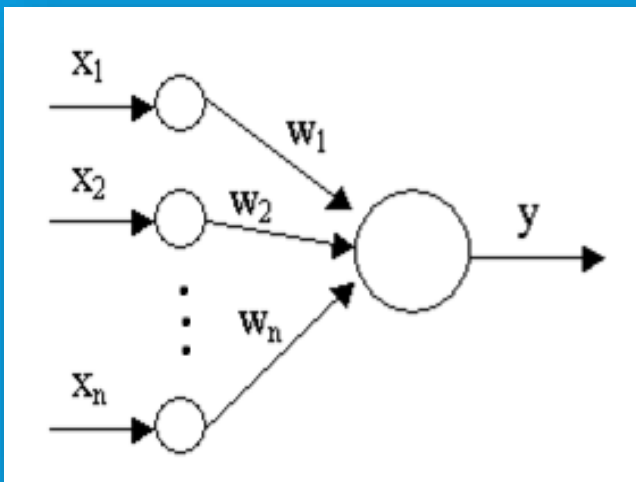


## • BIDIRECTIONAL SEARCH

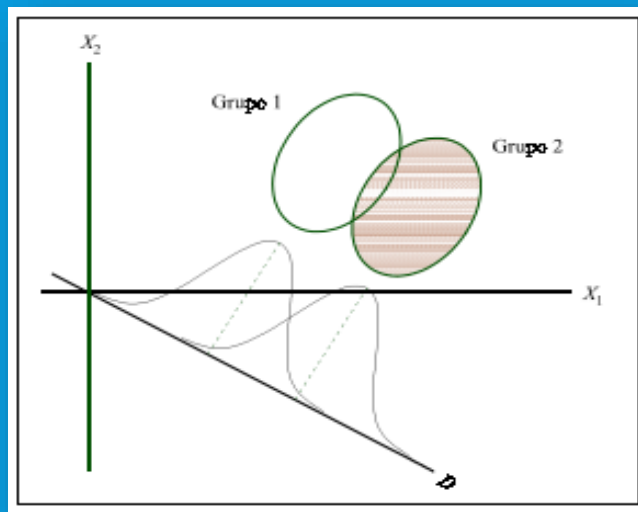


# CLASIFICACIÓN

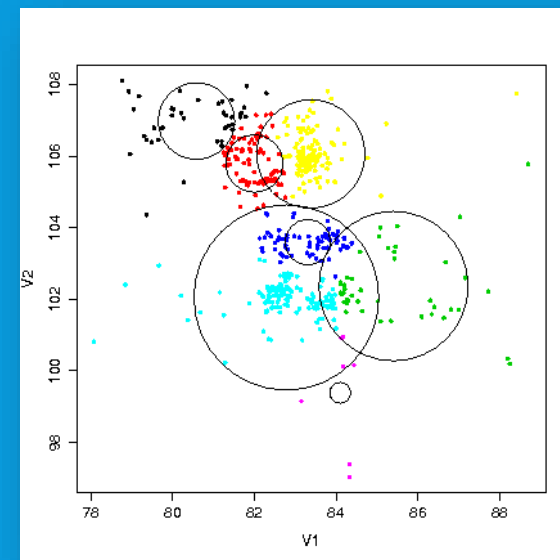
- REDES NEURONALES



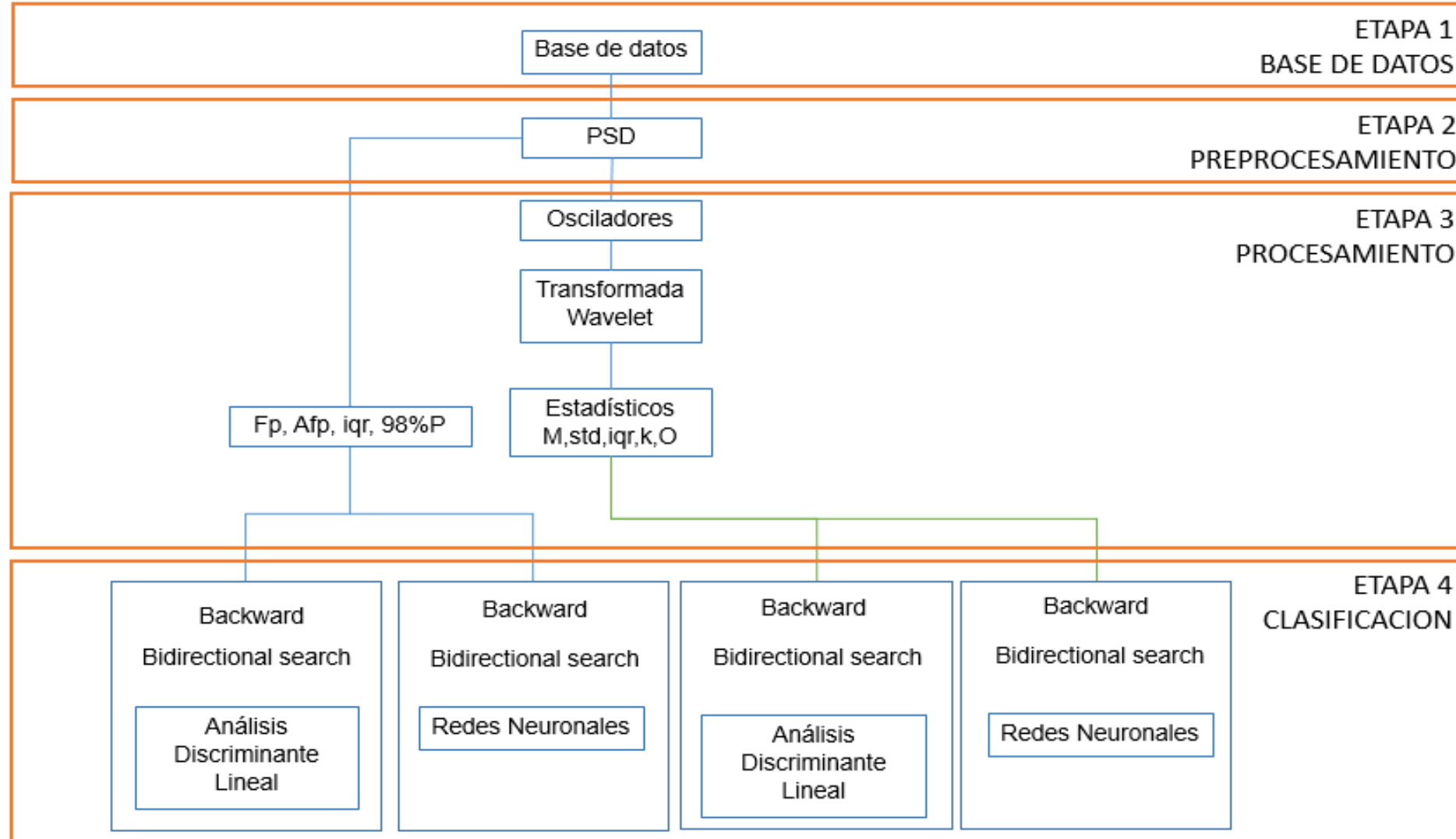
- ANÁLISIS DISCRIMINANTE LINEAL



- ANÁLISIS DE CLUSTERS

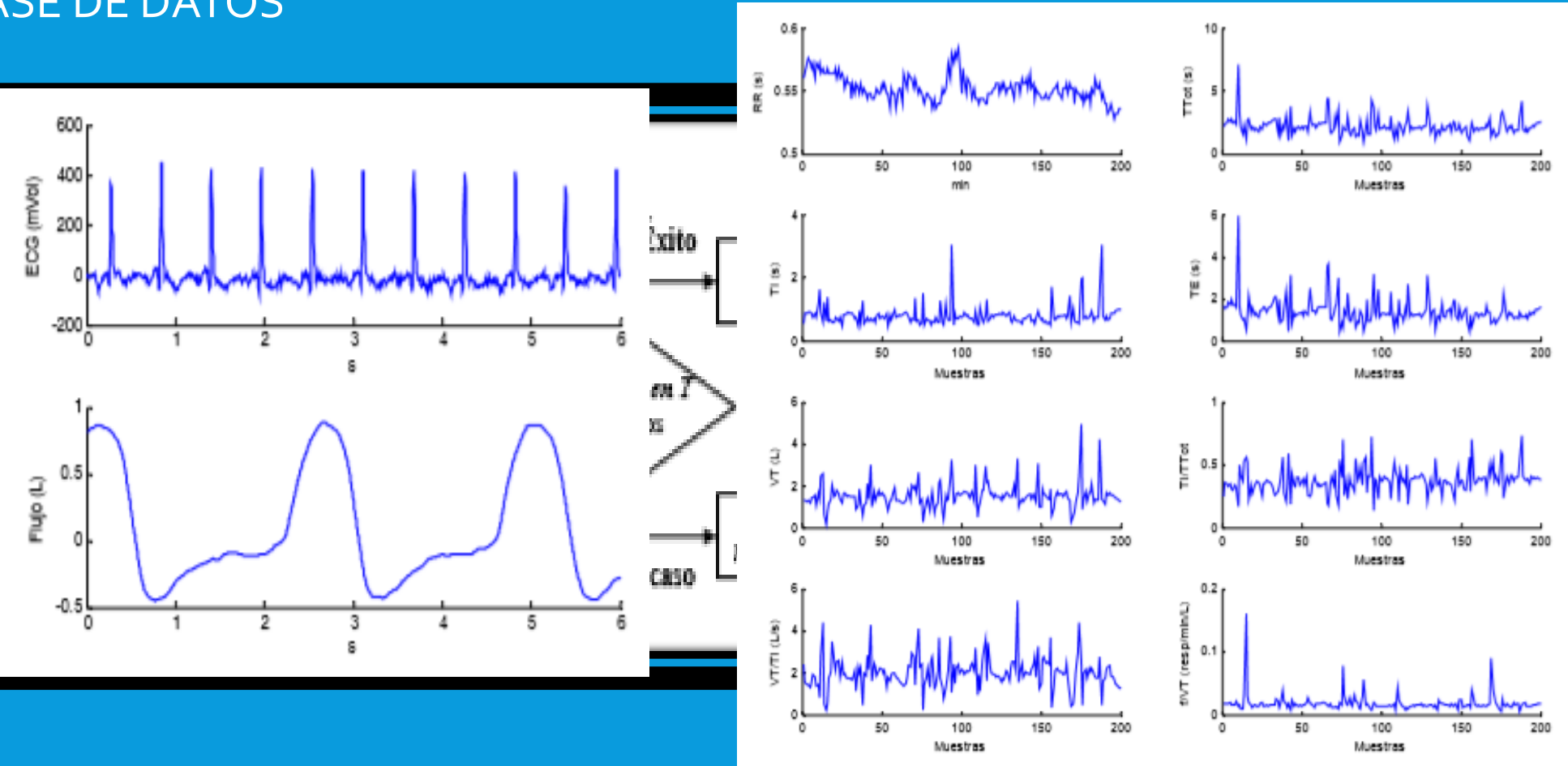


# METODOLOGÍA

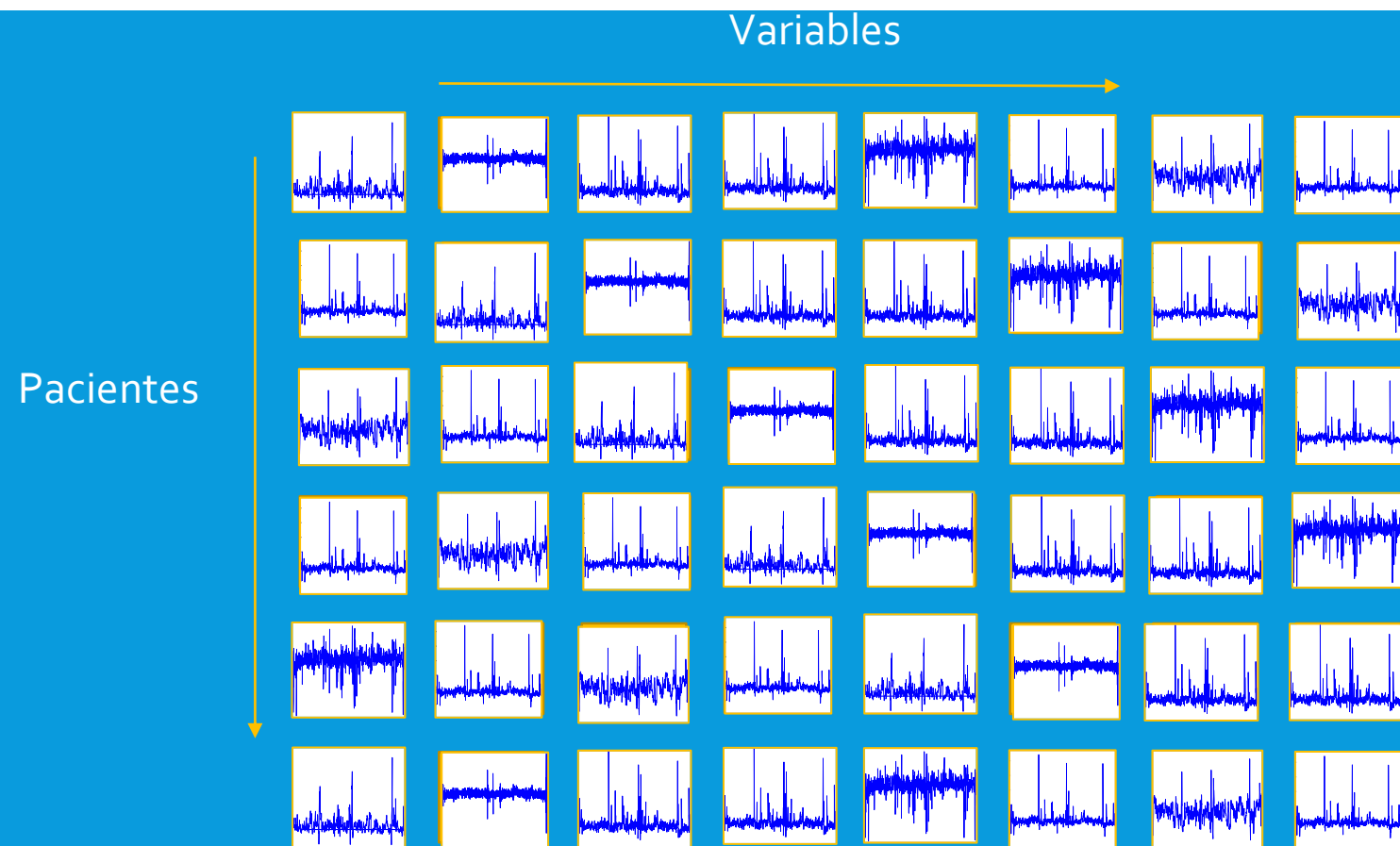


# RESULTADOS

- BASE DE DATOS



# BASE DE DATOS WEANDB



- 154 Pacientes
- 96 hombres
- 58 mujeres

Distribuidos en tres clases de la siguiente manera:

- 94 éxitos
- 39 fracasos
- 21 reintubados

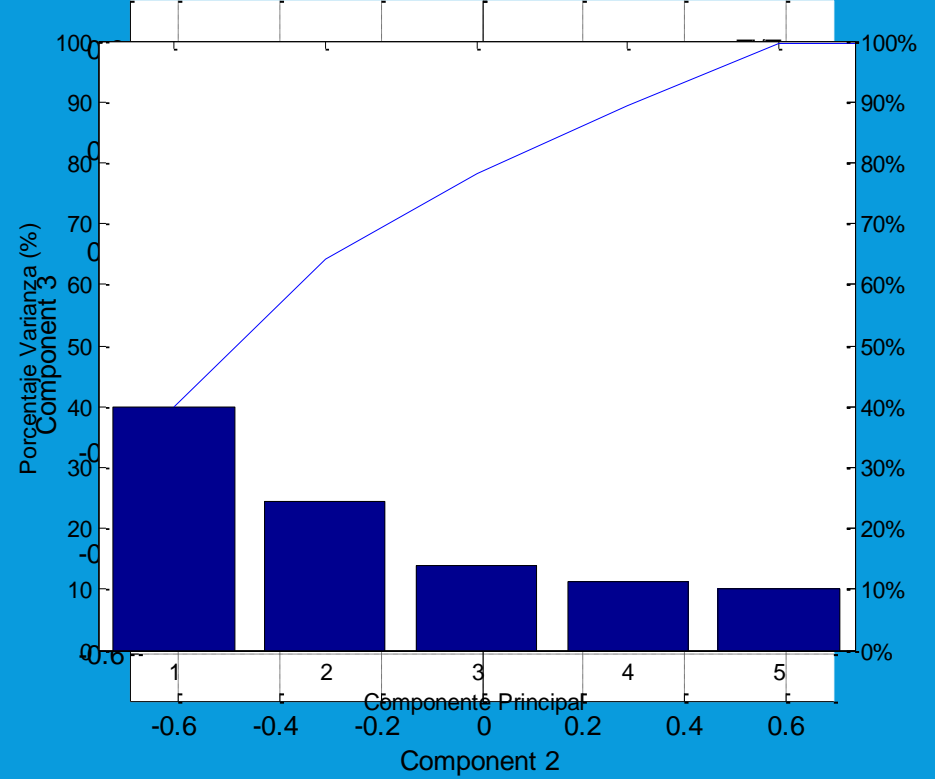
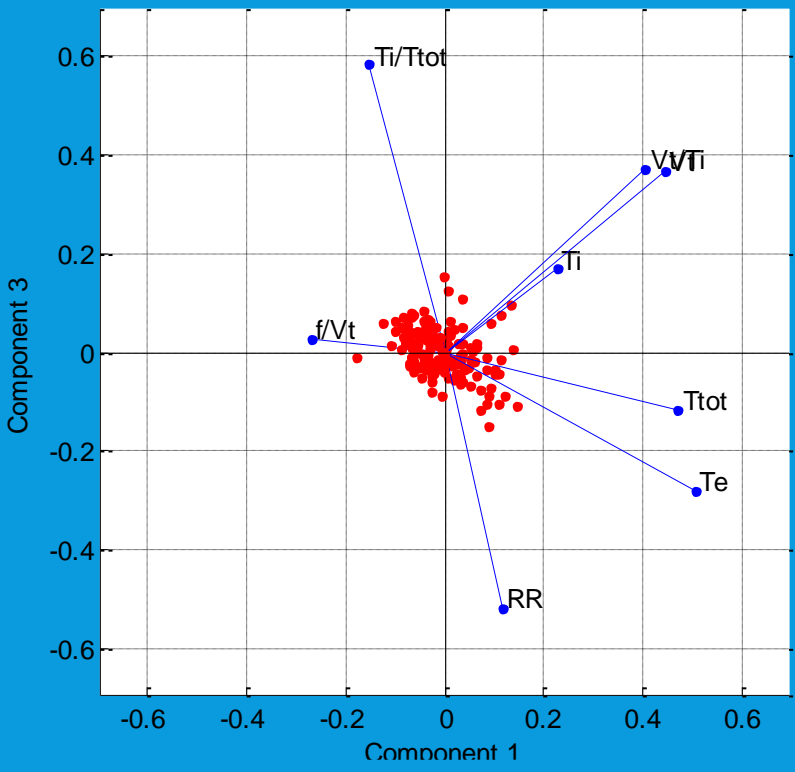
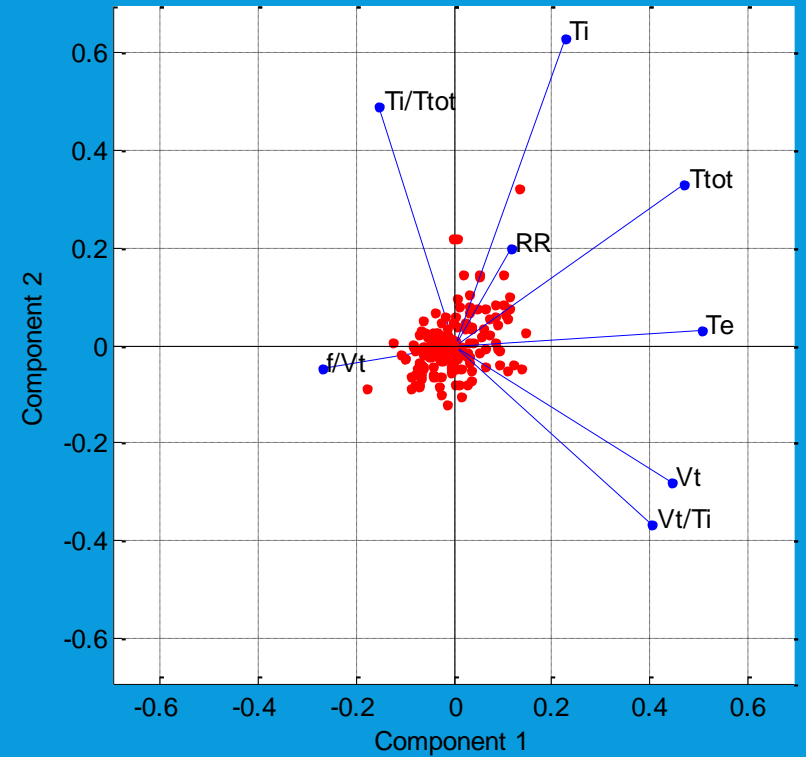
Los pacientes registrados en esta base de datos fueron sometidos a la prueba de tubo en T.

# RESULTADOS

Prueba	p-values por variables							
	f/Vt	RR	Te	Ti	Ti/Ttot	Ttot	Vt/Ti	Vt
Fo Vs F1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,09	<0.05	0,51	0,37
F1 Vs F2	<0.05	0,14	<0.05	0,21	0,25	<0.05	0,23	0,06
Fo Vs F2	0,41	0,64	0,18	0,34	1	0,29	0,14	0,13



# RESULTADOS



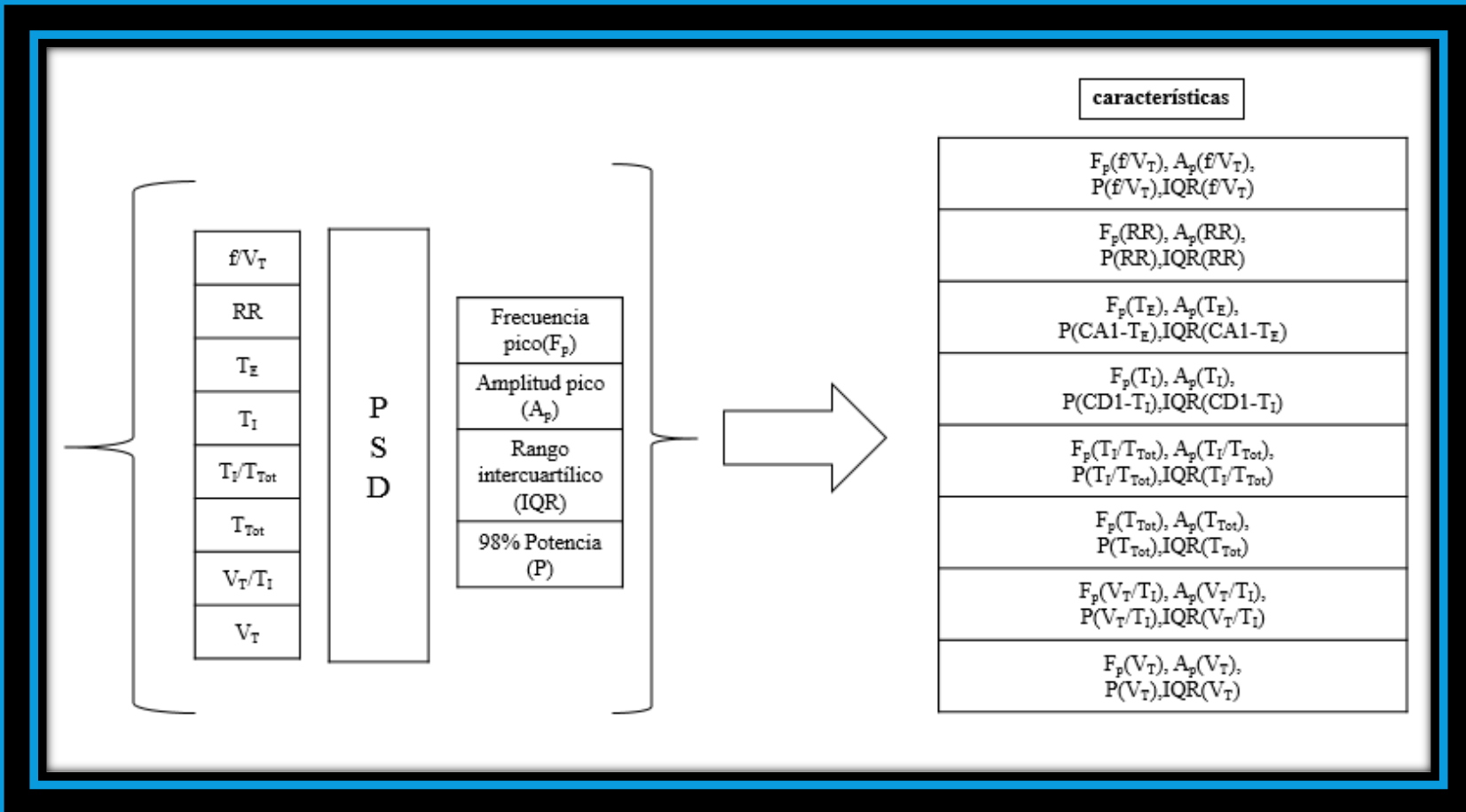
# RESULTADOS

- ANÁLISIS DE DENSIDAD DE POTENCIA

PROMEDIO Y DESVIACION ESTANDAR DE LA POTENCIA DE LAS SEÑALES								
	REINTUBADOS							
Banda de o a	f/Vt	RR	Te	Ti	Ti/Ttot	Ttot	Vt/Ti	Vt
0.5 Hz	99.99±0.01	84.09±14.59	95.07±2.14	95.09±2.73	99.98±0.04	99.99±0.008	99.98±0.04	99.90±0.07
1 Hz	99.99±2E-4	98.17±2.88	97.77±0.99	97.73±1.42	99.99±3E-4	100±5E-5	99.99±4E-4	99.98±0.01
1.5 Hz	100±7E-6	99.62±0.41	98.82±0.52	98.81±0.70	100±1E-5	100±2E-6	100±1E-5	99.99±0.003
2 Hz	100±9E-7	99.88±0.11	99.47±0.23	99.46±0.32	100±2E-6	100±4E-7	100±1E-6	99.99±0.001
2.5Hz	100±6E-15	100±3E-15	100±6E-15	100±5E-15	100±4E-15	100±3E-15	100±6E-15	100±4E-15

# RESULTADOS

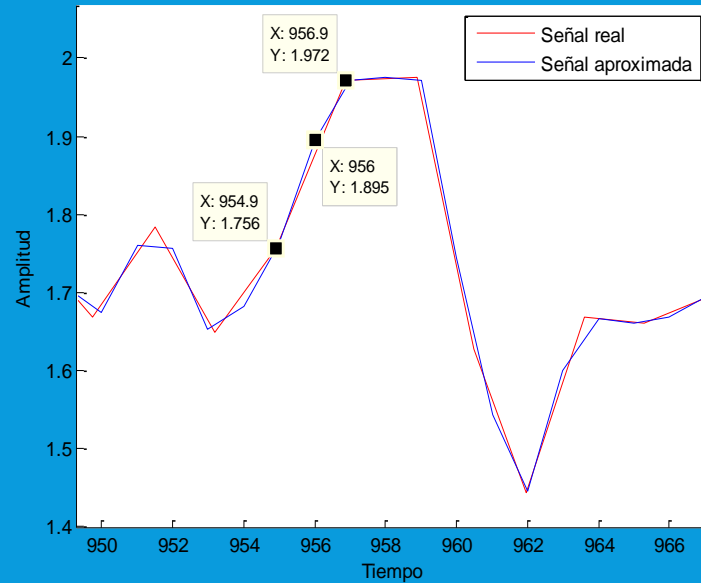
- ANÁLISIS DE DENSIDAD DE POTENCIA



BD2

# RESULTADOS

## OSCILADORES



ERROR MEDIO CUADRATICO ENTRE LA SEÑAL ORIGINAL Y LA SEÑAL REMUESTREADA A 2 HZ								
	f/Vt	RR	Te	Ti	Ti/Ttot	Ttot	Vt/Ti	Vt
<b>Media</b>	3,61E-11	3,2E-3	3,65E-11	2,04E-11	3,47E-12	8,00E-11	6,01E-4	3,87E-5
<b>Desviación estándar</b>	3,28E-10	9,6E-3	5,99E-11	3,56E-11	1,17E-11	1,97E-10	6,3E-3	2,9E-4

Prueba	p-values por variables							
	f/Vt	RR	Te	Ti	Ti/Ttot	Ttot	Vt/Ti	Vt
<b>Fo Vs F1</b>	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,23	<0.05	0,29	0,31
<b>F1 Vs F2</b>	<0.05	0,14	<0.05	0,27	0,24	<0.05	0,19	0,19
<b>Fo Vs F2</b>	0,10	0,52	0,14	0,34	0,72	0,088	0,066	0,53

# RESULTADOS

- TRANSFORMADA WAVELET

Familia Wavelet	Orden
Daubechies	1:45
Coiflets	1:5
Symlets	1:29
Biortogonal	1.1, 1.3, 1.5, 2.2, 2.4, 2.6, 2.8, 3.1, 3.3, 3.5, 3.7, 3.9, 4.4, 5.5, 6.8



Variable	f/Vt	RR	Te	Ti	Ti/Ttot	Ttot	Vt/Ti	Vt
Tipo	Bior	Bior	Bior	Bior	Bior	Bior	Bior	Bior
Familia	2.4	2.6	2.6	2.6	2.4	2.4	2.6	2.6
MSE	6,03E-24	1,64E-24	5,33E-28	1,47E-28	1,29E-22	5,75E-21	2,18E-17	4,8E-21



Donde n es el número de estadísticos por nivel (5), y cada  $x_i$  es el *p-value* de cada estadístico del respectivo coeficiente y nivel de descomposición.

$$\text{Promedio} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

En donde la Moda es el número de variables que pasan la prueba de U de *Mann-Whitney* por cada coeficiente y cada nivel, y el Promedio está definido como:

$$Q(i) = \frac{(1 + \text{Moda}(i))}{\text{Promedio}(i)}$$

# RESULTADOS

## TRANSFORMADA WAVELET-ESTADISTICOS

Variable	f/Vt	p-values					Q
prueba	Coficiente	Media	Desviación estándar	Curtosis	Oblicuidad	Rango intercuartílico	
Fracaso Vs Reintubados	CA1	0,010	0,476	0,352	0,121	0,129	9,188
	CA2	0,010	0,476	0,721	0,168	0,129	6,649
	CA3	0,008	0,448	0,403	0,141	0,129	8,862
	CA4	0,006	0,394	0,721	0,292	0,173	6,305
	CA5	0,004	0,361	0,988	0,188	0,227	5,660
	CA6	0,004	0,429	0,951	0,107	0,183	5,976
	CA7	0,005	0,457	0,733	0,104	0,306	6,232
	CA8	0,004	0,495	0,653	0,041	0,285	10,150
	CD1	0,004	0,466	0,505	0,024	0,046	19,145
	CD2	0,816	0,505	0,466	0,299	0,042	4,697
	CD3	0,733	0,804	0,486	0,676	0,080	1,800
	CD4	0,515	0,721	0,768	0,963	0,198	1,579
	CD5	0,344	0,466	0,556	0,865	0,233	2,029
	CD6	0,239	0,588	0,780	0,104	0,264	2,532
	CD7	0,577	0,642	0,988	0,792	0,337	1,499
	CD8	0,653	0,556	0,429	0,129	0,233	2,500

TABLA POR CADA CLASIFICACIÓN  
 3 TABLAS POR VARIABLE  
 5 ESTADISTICOS POR VARIABLE  
 MEJOR NIVEL DE DESCOMPOSICIÓN?  
 C. APROXIMACIÓN?  
 C. DETALLE?

# RESULTADOS

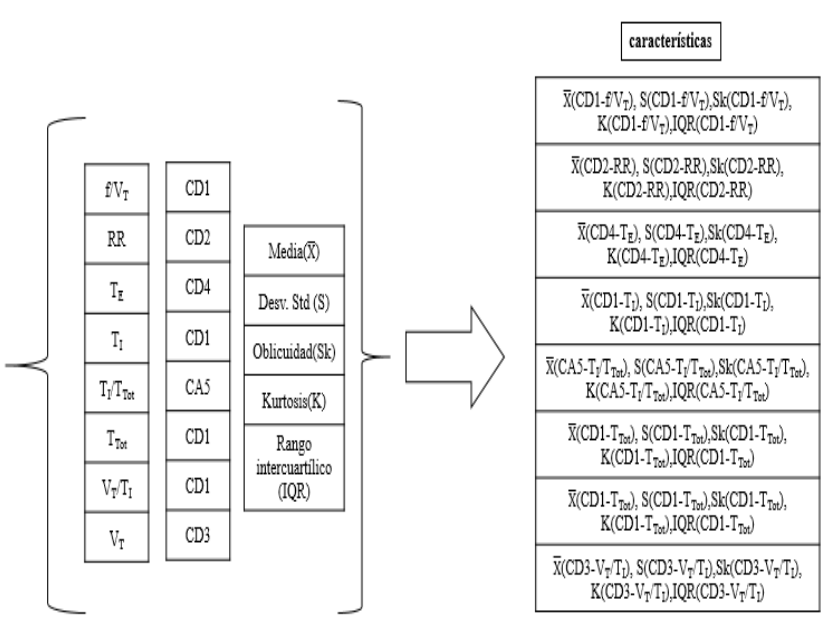
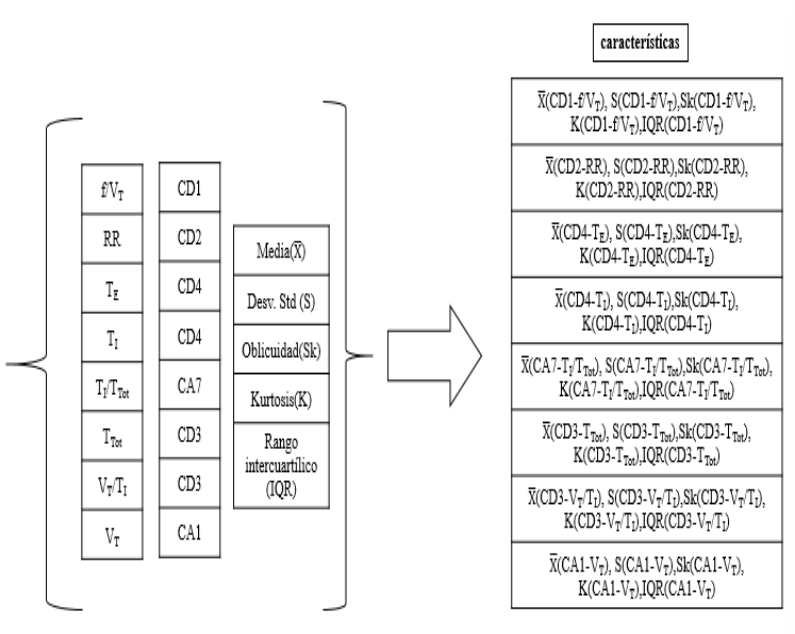
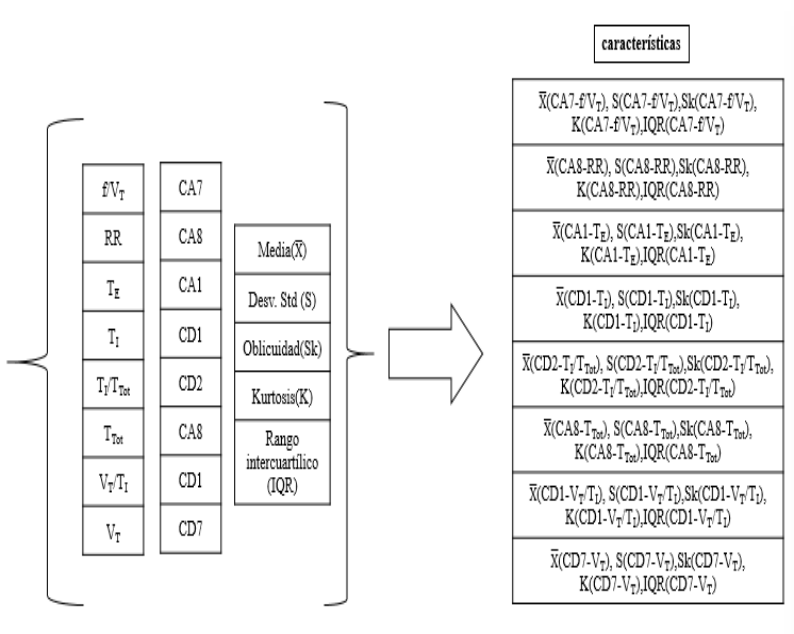
TRANSFORMADA WAVELET-ESTADISTICOS

BD<sub>2</sub>

ÉXITO VS FRACASO

ÉXITO VS REINTUBADOS

FRACASO VS REINTUBADOS



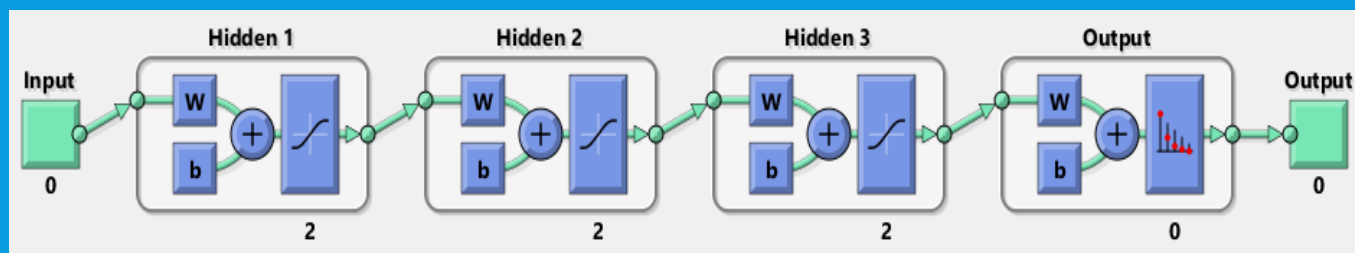
# RESULTADOS

## CLASIFICACIÓN (REDES NEURONALES)

capa1	capa2	capa3	Epoch	Goal	Fcn1	Fcn2	Fcn3	Fcn4	Final Goal
2	-	-	50	1,00E-06	purelin	-	-	purelin	23.08
7	-	-	50	1,00E-06	purelin	-	-	purelin	54.31
5	-	-	50	1,00E-06	purelin	-	-	purelin	38.0
1	-	-	50	1,00E-06	purelin	-	-	purelin	53.54
2	2	-	50	1,00E-06	purelin	purelin	-	purelin	45.92
2	2	-	50	1,00E-06	logsig	logsig	-	purelin	23.15
2	2	-	50	1,00E-06	logsig	purelin	-	logsig	23.08
2	6	-	50	1,00E-06	purelin	logsig	-	logsig	19.38
2	2	-	50	1,00E-06	logsig	purelin	-	tansig	15.37
2	2	2	50	1,00E-06	logsig	purelin	logsig	tansig	12.02

Configuración de parámetros de parada

```
net.performFcn='mse'  
net.trainFcn='trainlm'  
net.trainparam.epochs = 40  
net.trainparam.goal = 1e-6  
net.trainParam.min_grad = 1e-35  
net_a2gl.trainParam.mu = 0.05  
net_a2gl.trainParam.mu_dec = 0.01  
net_a2gl.trainParam.mu_inc = 10;  
net_a2gl.trainParam.mu_max = 1e10  
net.trainParam.max_fail = 10
```





# RESULTADOS

## • CLASIFICACIÓN (REDES NEURONALES)

Éxito Vs Fracaso		
BASE DE DATOS	CARACTERISTICAS	RESULTADO DE LA PRUEBA
BD1	IQR(CD1-T <sub>I</sub> ), K(CA8-RR)	84,61±3%
BD1	IQR(CD1-T <sub>I</sub> ), K(CA8-RR), IQR(CD1-V <sub>T</sub> /T <sub>I</sub> ), K(CD1-T <sub>I</sub> ), $\bar{X}$ (CA7-f/V <sub>T</sub> )	80,76±6%
BD2	F <sub>p</sub> (f/V <sub>T</sub> ), P(V <sub>T</sub> /T <sub>I</sub> ), IQR(T <sub>I</sub> /T <sub>Tot</sub> ), A <sub>p</sub> (f/V <sub>T</sub> )	65,3±0,9%
BD2	F <sub>p</sub> (f/V <sub>T</sub> ), P(V <sub>T</sub> /T <sub>I</sub> ), IQR(T <sub>I</sub> /T <sub>Tot</sub> )	54,4±0,9%

## • CLASIFICACIÓN (ANÁLISIS DISCRIMINANTE)

Éxito Vs Fracaso		
BASE DE DATOS	CARACTERISTICAS	RESULTADO DE LA PRUEBA
BD1	IQR(CD2-T <sub>I</sub> /T <sub>Tot</sub> )	71,64±8
BD1	IQR(CD2-T <sub>I</sub> /T <sub>Tot</sub> ), $\bar{X}$ (CA7-f/V <sub>T</sub> ), IQR(CD1-V <sub>T</sub> /T <sub>I</sub> )	72,13±8
BD2	A <sub>p</sub> (f/V <sub>T</sub> )	70±7,8
BD2	A <sub>p</sub> (f/V <sub>T</sub> ), P(f/V <sub>T</sub> )	70,6±7,7

# RESULTADOS

## • CLASIFICACIÓN (REDES NEURONALES)

Éxito Vs Reintubado		
BASE DE DATOS	CARACTERISTICAS	RESULTADO DE LA PRUEBA
BD1	$\bar{X}(CD1-f/V_T)$	82,6±3%
BD1	$\bar{X}(CD1-f/V_T), IQR(CD3-V_T/T_1)$	86,9±1%
BD2	P(RR)	78,2±0.7%
BD2	P(RR), $F_p(f/V_T)$	86,8±0.7%

## • CLASIFICACIÓN (ANÁLISIS DISCRIMINANTE)

Éxito Vs Reintubado		
BASE DE DATOS	CARACTERISTICAS	RESULTADO DE LA PRUEBA
BD1	$\bar{X}(CD1-f/V_T)$	83,33±7,4%
BD1	$\bar{X}(CD1-f/V_T), IQR(CD3-T_{Tot})$	82,55±7,5%
BD2	$F_p(f/V_T)$	80.9±6,4%
BD2	$F_p(f/V_T), IQR(V_T/T_1)$	81,3±6,8%

# RESULTADOS

## • CLASIFICACIÓN (REDES NEURONALES)

Fracaso Vs Reintubados		
BASE DE DATOS	CARACTERISTICAS	RESULTADO DE LA PRUEBA
BD1	$S(CD1-T_{Tot}), \bar{X}(CD1-f/V_T), IQR(CD1-f/V_T), K(CD2-RR), Sk(CD1-f/V_T), K(CD1-f/V_T)$	83,3%
BD1	$S(CD1-T_{Tot}), \bar{X}(CD1-f/V_T), IQR(CD1-f/V_T), K(CD2-RR), Sk(CD1-f/V_T), K(CD1-f/V_T), S(CD1-f/V_T), \bar{X}(CA5-T_I/T_{Tot}), S(CD1-T_I), K(CD1-T_{Tot}), Sk(CD1-T_{Tot}), IQR(CD2-RR), K(CD4-T_E)$	91,6%
BD2	$F_p(f/V_T), A_p(T_I/T_{Tot}), A_p(T_I), A_p(RR), A_p(f/V_T), IQR(T_{Tot}), IQR(CD1-T_I), IQR(RR), IQR(f/V_T)$	50±1,6%
BD2	$F_p(f/V_T), A_p(T_I/T_{Tot}), A_p(T_I), A_p(RR), A_p(f/V_T), P(T_{Tot})$	58,3±1,3%

## • CLASIFICACIÓN (ANÁLISIS DISCRIMINANTE)

Fracaso Vs Reintubados		
BASE DE DATOS	CARACTERISTICAS	RESULTADO DE LA PRUEBA
BD1	$\bar{X}(CD2-RR)$	75,3±11,3%
BD1	$\bar{X}(CD2-RR), S(CD2-RR)$	80,1±10.6%
DB2	$F_p(f/V_T), A_p(f/V_T), A_p(T_E), A_p(T_I/T_{Tot}), P(f/V_T)$	76±10,8%
BD2	$F_p(f/V_T), A_p(f/V_T), A_p(T_E), A_p(T_I/T_{Tot})$	75±11%

# CONCLUSIONES

- Las redes neuronales son una técnica muy sofisticada capaz de modelar funciones complejas de diversa índole.
- En el proceso de clasificación haciendo uso de señales biomédicas como las presentadas en este trabajo, la clasificación mediante el análisis discriminante lineal se ve superado por una clasificación desarrollada con redes neuronales, viéndose reflejado en los porcentajes de clasificación obtenidos.
- Los índices y características obtenidas a partir de un análisis tiempo frecuencia logran una mejor diferenciación entre las diferentes clases de pacientes presentadas.
- En la comparación entre grupos se aprecia que las características derivadas de la señal  $f/V_T$  son las que más información aportan al los diferentes clasificadores.
- La mayor parte de información de las series temporales que mejor difieren los grupos está concentrada en las altas frecuencias.

# FUTURAS EXTENSIONES

- se pretenden realizar más aportaciones en la detección de nuevos índices y características que ayuden a mejorar la detección del momento óptimo de desconexión de pacientes sometidos a ventilación mecánica, haciendo uso de técnicas pertenecientes a la inteligencia artificial y estadística que día a día van tomando más fuerza para la aportación de información en el campo biomédico y solución de problemas en el mismo como lo son las máquinas de soporte vectorial entre otras.
- Es necesario realizar un modelo con las más importantes características y estudiar la generalización del sistema.
- Incrementar el número de patrones en el conjunto de entrenamiento con el objetivo de minimizar el error de generalización.



**YOU**

**THANK**

**Gracias**

**Merci**

**Arigato**

**Dankscheen**

**Shukria**

**bolzin**

**Mehrbani**

**Biyangrazie**

**Gràcies**

**Tashakkur**

**Maake**

**suksama**

**atun**

**Komapsumnida**

**Tingki**

**gozaimashita**

**Yaqhanyelay**

**Efcharisto**

**Shukria**

**Juspaxar**

**Paldies**

**Spasibo**

**Ekhmet**

**Nemachuthrya**

**Baika Yuspagaraten**

**Mirmonchar**

**Atto**

**Ganjho**

**Silkomo**

**Malteka**

**okoji**

**Tavtapusan**

**lah**

**Merastawty**

**Dhanyabaad**

**Chaita**

**Snachathrya**