

# Técnicas de análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca

<http://webs.uvigo.es/mrarthur/AnalisisVFC/index.html>

*Grupo MILE*  
*Medical Informatics &*  
*Learning Environments*

UniversidadeVigo



Medical Informatics &  
Learning Environments

# Contenidos

- **Parte I:** Procesado de señales digitales
  - Digitalización: teorema de Nyquist
  - Señales digitales estacionarias y no estacionarias
    - Test de estacionariedad
- **Parte II:** La variabilidad de la frecuencia cardíaca
  - Utilidad clínica del análisis de VFC
  - Obtención de la señal de frecuencia cardíaca
  - Interpolación y filtrado
- **Parte III:** Análisis de la VFC en el dominio del tiempo
  - Parámetros más habituales



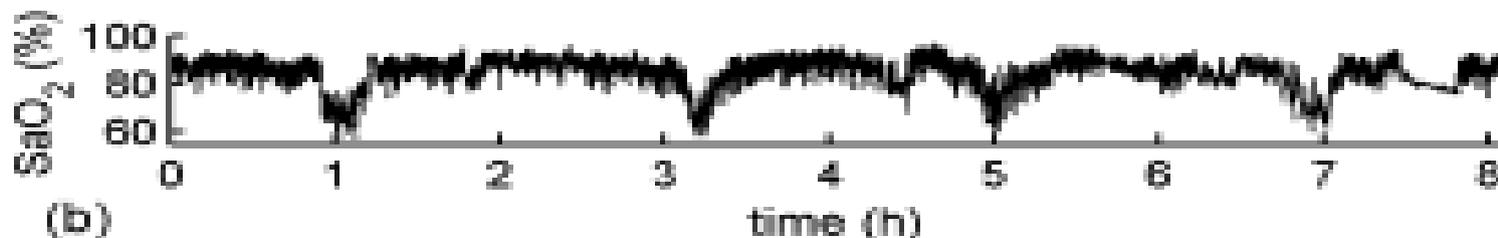
# Contenidos

- **Parte IV:** Análisis de la VFC en el dominio de la frecuencia
  - Análisis de segmentos estacionarios
    - Método de Welch
  - Análisis de segmentos no estacionarios
    - Modelado autorregresivo
    - STFT y otras distribuciones tiempo-frecuencia
    - Wavelets
- **Parte V:** Análisis no lineal de la VFC
  - Evidencias de la no linealidad de la VFC
  - Parámetros más habituales



# Parte I: Procesado de señales digitales - Tipos de señales

- Una **señal** se define como cualquier magnitud física que varía con el tiempo, el espacio o cualquier otra variable o variables independientes
- Ejemplos de señales pueden ser la voz, un ECG, un EEG...



# Parte I: Procesado de señales digitales - Tipos de señales

- En estos casos son señales que varían con el tiempo, estaríamos hablando de señales **unidimensionales**, cuando dependen de más de una variable son señales **multidimensionales**
- Cuando la señal tiene varias componentes puede representarse de forma vectorial, como en el caso de la aceleración en la superficie terrestre debida a un terremoto, un vector de señales así es una señal **multicanal**



# Parte I: Tipos de señales

- Además las señales se pueden clasificar en **4** categorías diferentes en función del tiempo y los valores que tomen:
  - Señales **continuas** en el **tiempo** o **analógicas**, están definidas para cada instante de tiempo y toman sus valores en el intervalo continuo  $(a,b)$ , donde  $a$  puede ser  $-\infty$  y  $b$   $+\infty$
  - Señales **discretas** en el **tiempo**, están definidas en determinados intervalos específicos de tiempo, normalmente equidistantes
    - En la práctica se pueden originar seleccionando valores de una señal analógica en instantes discretos de tiempo (**muestreo**)



# Parte I: Tipos de señales

- Pero además los **valores** de la señal continua o discreta en el dominio del tiempo pueden ser continuos o discretos:
  - Si una señal toma todos los **valores** posibles en un rango es **continua**
  - Si una señal toma **valores** dentro de un conjunto finito de posibles valores se dice que es **discreta**
    - Una señal que es discreta en el tiempo y que tiene un conjunto de valores discretos es una señal digital
    - Para que una señal pueda ser procesada digitalmente tiene que ser una señal digital
    - Si la señal que se quiere analizar es analógica hay que **muestrearla** y **cuantificarla** (redondeo al valor discreto más próximo o truncamiento)



# Parte I: Tipos de señales

- Además si es posible expresar la señal mediante una expresión matemática, una tabla de datos o una regla definida decimos que la señal es **determinista**
- En caso contrario, si la señal evoluciona de una forma no predecible hablamos de señal **aleatoria**
  - No es fácil clasificar una señal real en alguno de los dos tipos anteriores, de hecho los dos enfoques pueden ser valiosos, aunque en determinados casos una clasificación errónea puede producir resultados erróneos



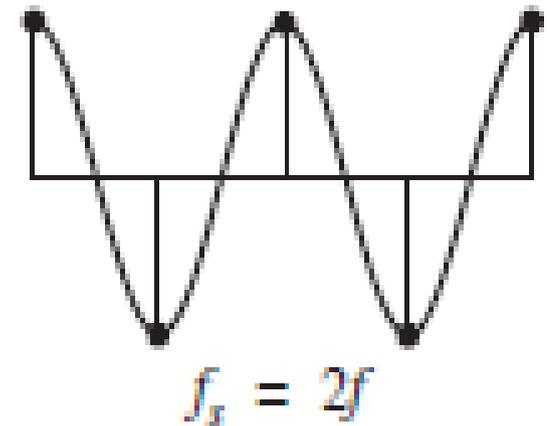
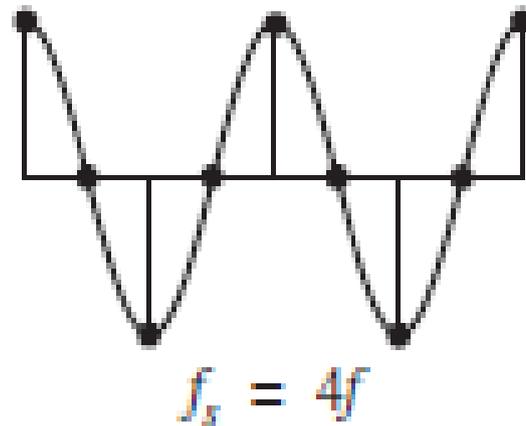
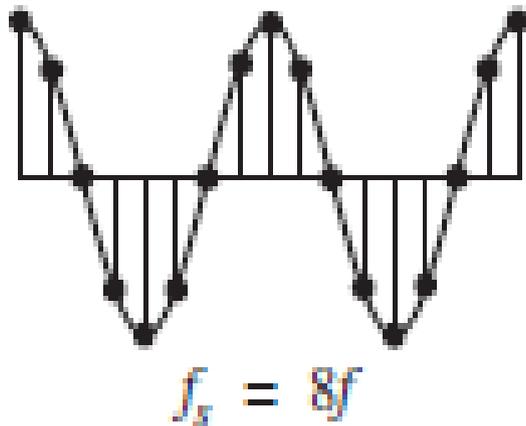
# Parte I: Digitalización

- La mayor parte de las señales que nos interesa analizar son analógicas. Para poder procesarlas debemos convertirlas a formato digital, es un proceso de **3** pasos
  1. **Muestreo**: conversión de la señal continua en el tiempo a discreta mediante la toma de muestras en instantes concretos de tiempo
  2. **Cuantificación**: conversión de los valores continuos en valores discretos, el valor de cada muestra se representa mediante un valor seleccionado dentro de un conjunto finito de posibles valores
  3. **Codificación**: cada valor discreto se representa mediante una secuencia de bits

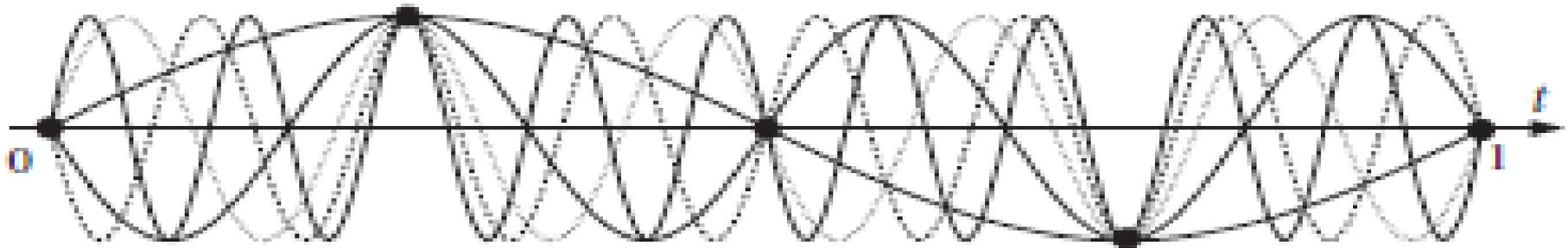


# Parte I: Teorema de muestreo de Nyquist

- Normalmente realizamos un muestreo periódico cada  $T$  segundos,  $T$  es el *período de muestreo* y su inversa la *frecuencia de muestreo* ( $F_s = 1/T$ )



# Parte I: Teorema de muestreo de Nyquist



- La frecuencia de muestreo para que una señal analógica pueda reconstruirse sin ambigüedades debe ser mayor a dos veces la frecuencia máxima de la señal ( $F_s > 2F_{max}$ )
- Podríamos recuperar la señal original sin distorsión utilizando el método adecuado de interpolación
- Cuando  $F_s = 2F_{max}$  se denomina a  $F_s$  *frecuencia de Nyquist*



# Parte I: Señales estacionarias

- Decimos que una señal aleatoria es **estacionaria** cuando el tiempo no influye en el resultado al realizar distintas mediciones del mismo fenómeno y calcular cualquier propiedad estadística
- Si esta condición sólo se cumple para la media y la autocorrelación entonces el proceso es **débilmente estacionario** (o estacionario en sentido amplio)
- Si se cumple también para los momentos de orden mayor entonces es **fuertemente estacionario**
- En otro caso se dice que son **no estacionarias**



# Parte I: Test de Estacionariedad

- Normalmente se considera que una señal es **estacionaria** cuando las propiedades calculadas sobre intervalos pequeños no varían significativamente de un intervalo a otro
- Hay varios **tests**, en todos ellos es muy importante la correcta selección de la longitud de intervalo
  - Tiene que ser significativamente largo en comparación con el período de las componentes de menor frecuencia presentes en la señal
- El ***run test*** o el ***reverse arrangements test*** son ejemplos aplicados para el estudio de la estacionariedad de la frecuencia cardíaca



# Parte I: Test de Estacionariedad

- El *run test* (o de ráfagas) da cuenta del número de secuencias de valores de la señal con distinto signo, también se suele calcular como el número de secuencias de valores de la señal por encima o por debajo de la media
- El *reverse arrangements test* (o de ordenaciones invertidas) da cuenta de las veces que un valor es mayor que sus sucesivos valores
- Los *valores esperados* para estos tests se calculan como ( $n$  es el número de intervalos considerados):
  - $\frac{1}{2} (n - 1)$  para run tests
  - $\frac{1}{4} n (n-1)$  para reverse arrangements test
- Si estos valores difieren bastante de los medidos se considera que la señal es no estacionaria
- Si aplicamos estos tests a la señal de FC observaremos...

*¡que no es estacionaria!*



# Parte I: Test de Estacionariedad

- Ejemplo (en R) de run test (cambio de signo):

```
> x = c(1.00, 3.00, -2.25, 0.25, -1.50, -1.75, -2.50, 1.25, -0.5, -0.25,  
1.50, 0.50, 2.00, 2.75)
```

```
> plot(x, xlab = 'time', type = 'l')
```

```
> sign(x)
```

```
[1] 1 1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 1 1 1 1
```

```
> runs = 1
```

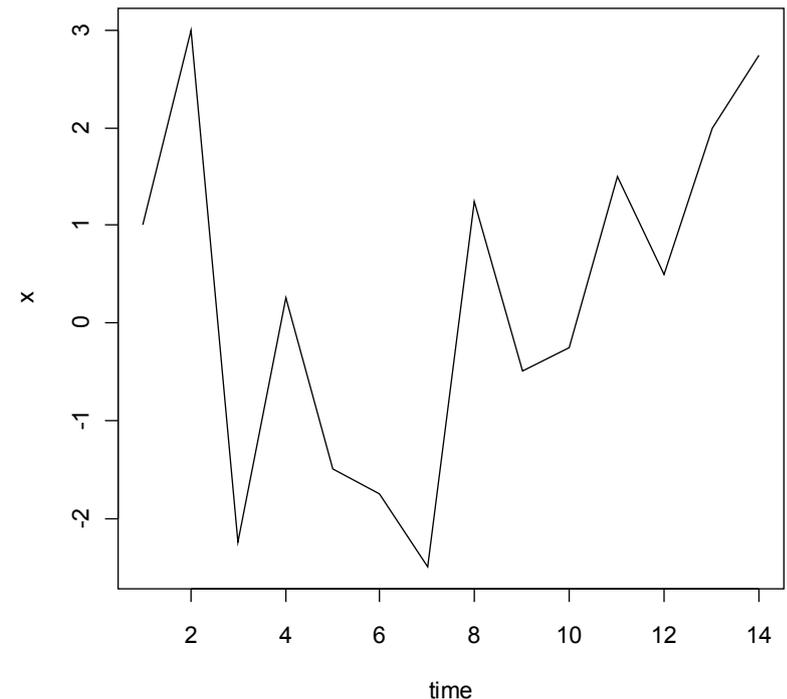
```
> for (i in 1:(length(x)-1))
```

```
  if (sign(x[i]) != sign(x[i+1]))
```

```
    runs = runs + 1
```

```
> runs
```

```
[1] 7
```



# Parte I: Test de Estacionariedad

- Ejemplo de run test (media):

```
> media = mean(x)
```

```
> y = x
```

```
> runs = 1
```

```
> y[x > media] = 1
```

```
> y[x <= media] = 0
```

```
> for (i in 1:(length(x)-1))
```

```
  if (y[i] != y[i+1])
```

```
    runs = runs + 1
```

```
> runs
```

```
[1] 5
```



# Parte I: Test de Estacionariedad

- Ejemplo de reverse arrangements test:

```
> revarr = 0
```

```
> for (i in 1:(length(x)-1))
```

```
  for (j in i:length(x))
```

```
    if (x[j] < x[i])
```

```
      revarr = revarr + 1
```

```
> revarr
```

```
[1] 33
```

dudas? preguntas? inquietudes?

