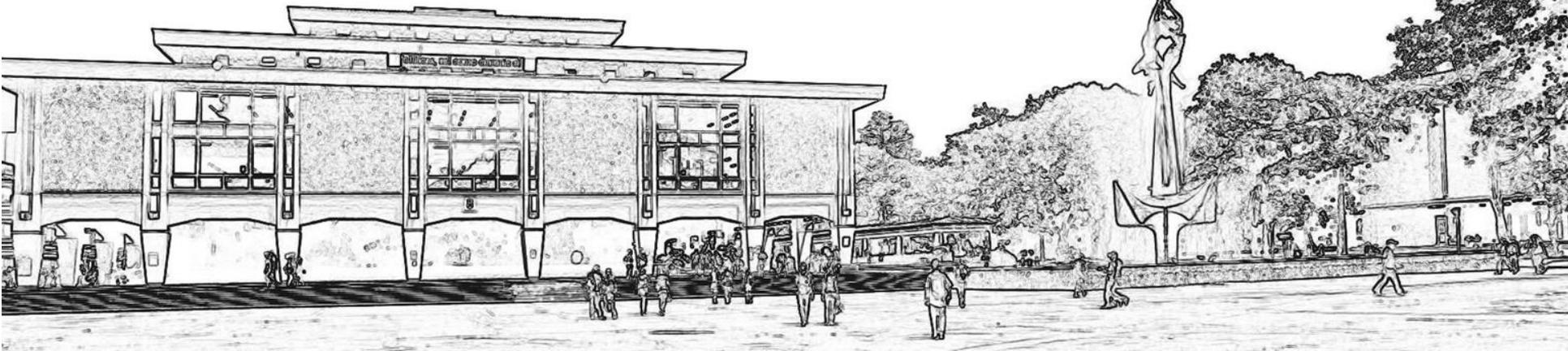




# UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

## REPRESENTACIONES EN T-F DE SEÑALES DE MARCHA PARA LA DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE LA ENFERMEDAD DE PARKINSON



Estudiante: Marlon Estiben Bedoya Vargas  
Asesor: Juan Camilo Vásquez  
Ingeniería Electrónica  
Noviembre 10 - 2017

# Introducción

## Motivación y contexto

La Enfermedad de Parkinson (EP) es un desorden neurodegenerativo del sistema nervioso central.

Síntomas: rigidez, bradicinecia, pérdida de los reflejos posturales.

El análisis de la marcha ayuda en el proceso de diagnóstico y monitoreo de los pacientes.



# Introducción

## Motivación y contexto

Síntomas de la marcha:

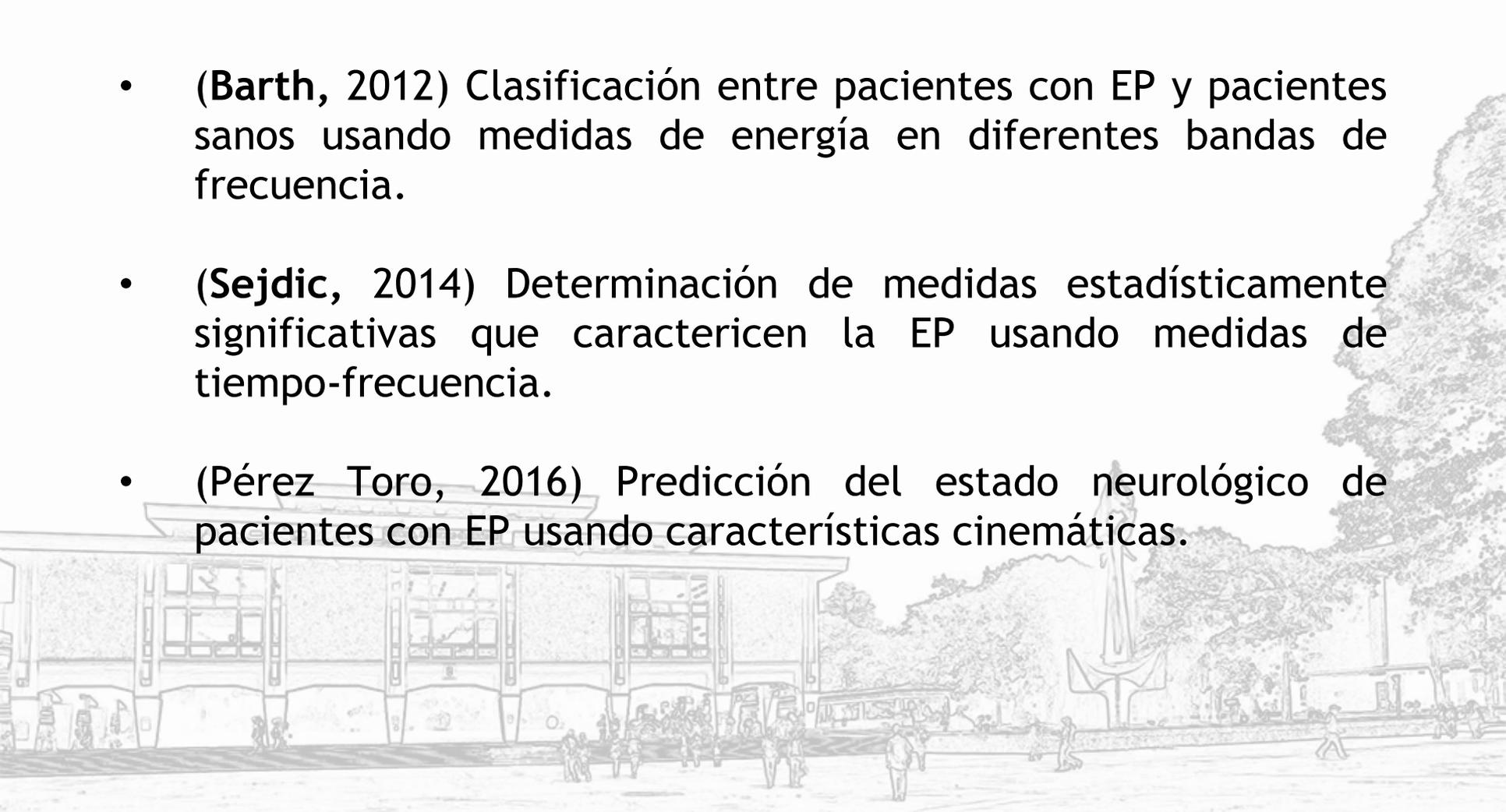
- Festinación (Marcha apresurada)
- Acinesia (Vacilación inicial)
- Bradicinecia (Acortamiento longitud del paso)
- Tendencia a la flexión



# Introducción

## Estado del arte

- (Barth, 2012) Clasificación entre pacientes con EP y pacientes sanos usando medidas de energía en diferentes bandas de frecuencia.
- (Sejdic, 2014) Determinación de medidas estadísticamente significativas que caractericen la EP usando medidas de tiempo-frecuencia.
- (Pérez Toro, 2016) Predicción del estado neurológico de pacientes con EP usando características cinemáticas.



# Introducción

## Problema

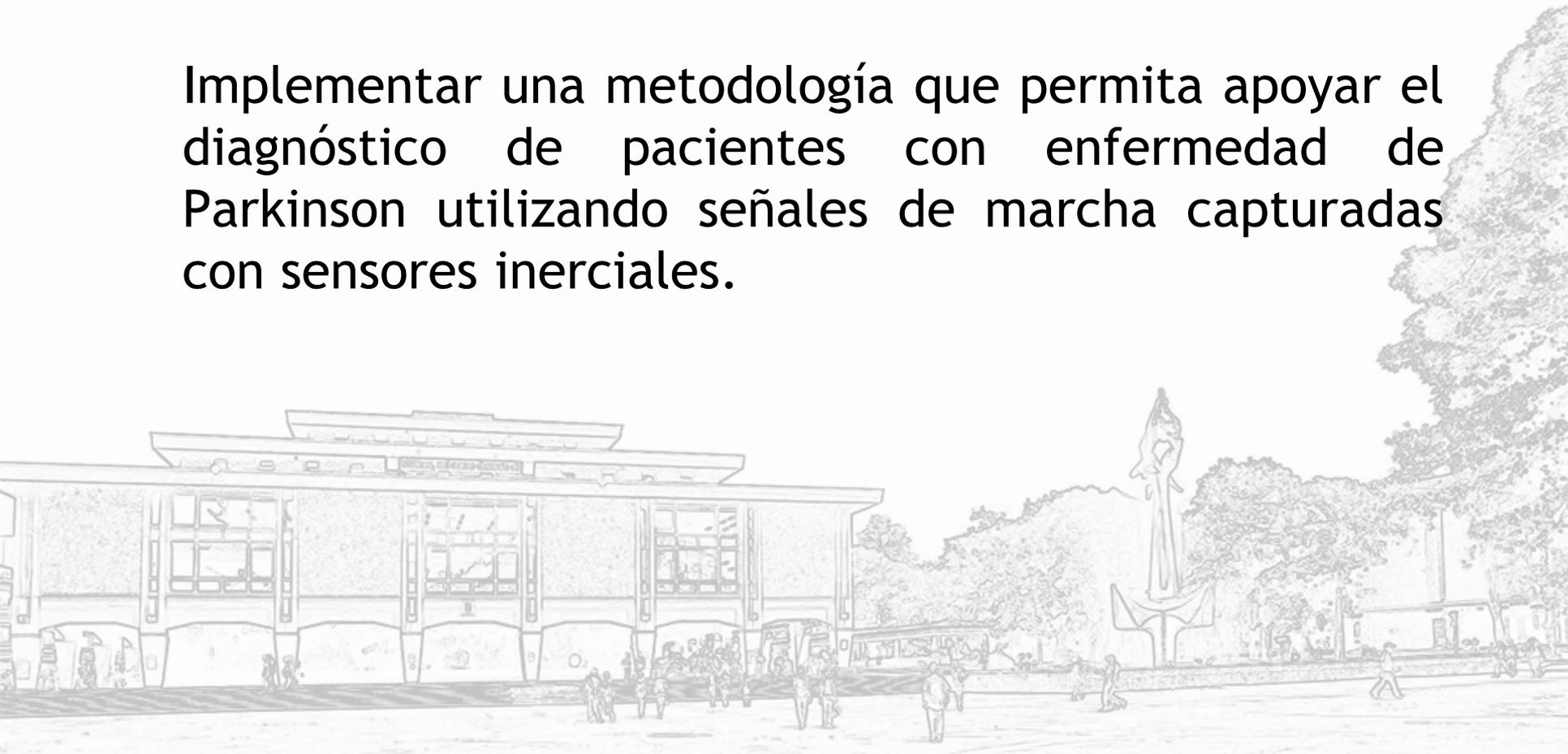
- El diagnóstico de la EP se efectúa basado en historia clínica y en criterio médico subjetivo.
- Se busca una herramienta computacional que apoye el diagnóstico.



# Objetivos

## Objetivo general

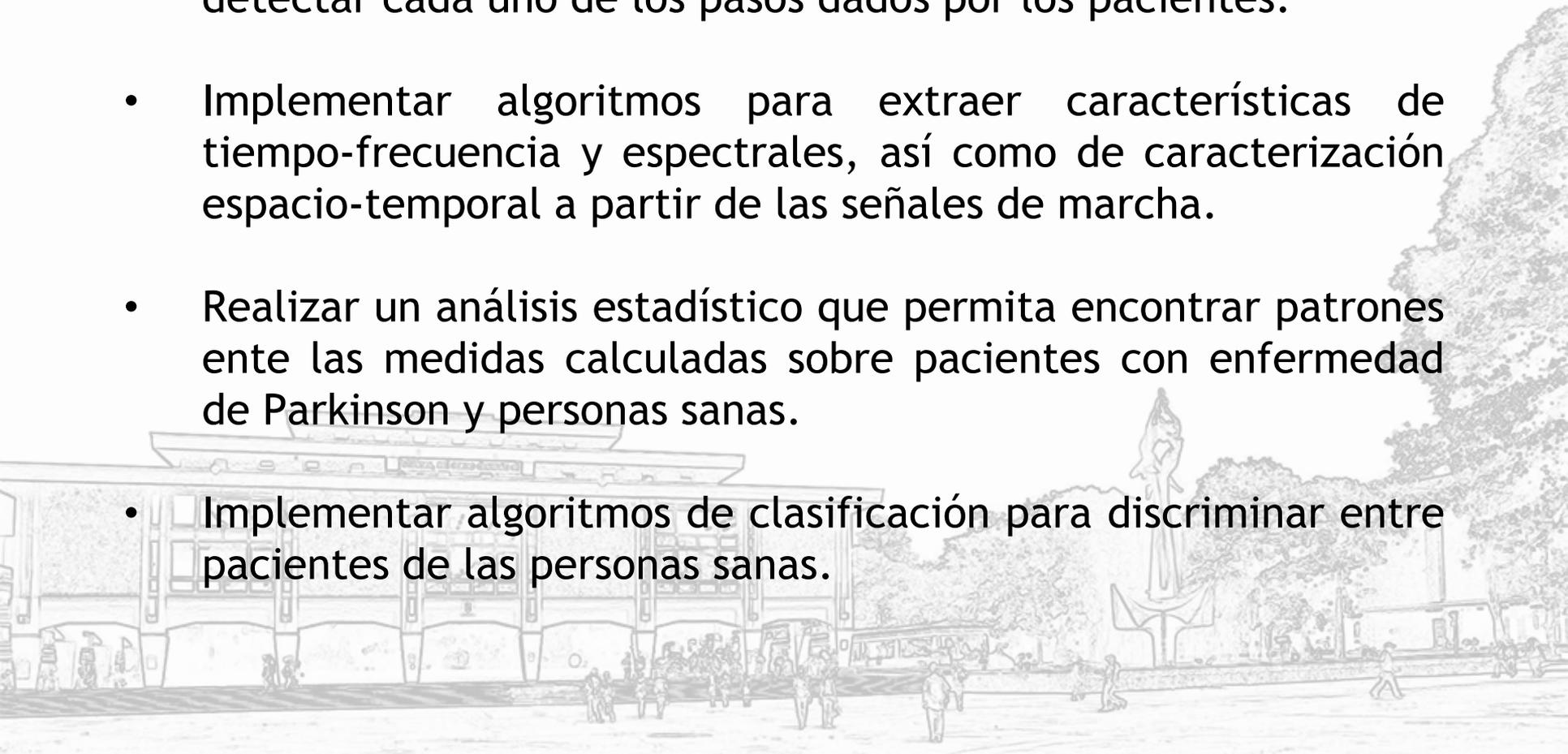
Implementar una metodología que permita apoyar el diagnóstico de pacientes con enfermedad de Parkinson utilizando señales de marcha capturadas con sensores inerciales.



# Objetivos

## Objetivos específicos

- Implementar un algoritmo de segmentación que permita detectar cada uno de los pasos dados por los pacientes.
- Implementar algoritmos para extraer características de tiempo-frecuencia y espectrales, así como de caracterización espacio-temporal a partir de las señales de marcha.
- Realizar un análisis estadístico que permita encontrar patrones ente las medidas calculadas sobre pacientes con enfermedad de Parkinson y personas sanas.
- Implementar algoritmos de clasificación para discriminar entre pacientes de las personas sanas.



# Marco teórico

## Análisis de perturbación temporal.

- **Shimmer:** Medida que busca medir la variabilidad pico a pico de la amplitud a lo largo de la señal.
- **Jitter:** Medida que busca medir la variabilidad del período fundamental de la señal ciclo a ciclo.
- **Distorsión armónica total:** Relación entre la potencia de todos los armónicos de la señal entre la potencia de la frecuencia fundamental.

Aceleración eje x



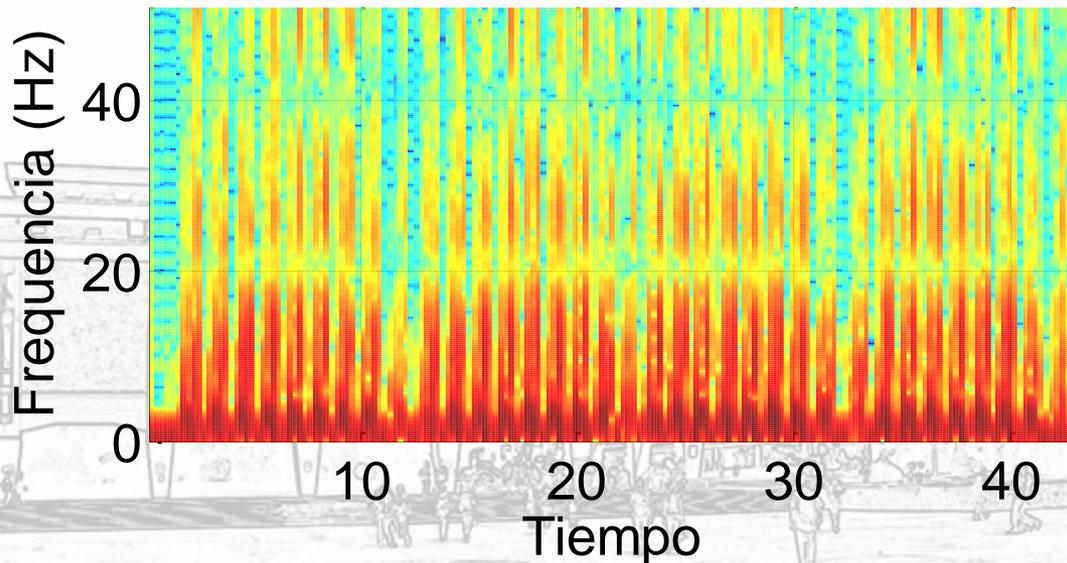
# Marco teórico

## Transformada de Fourier en tiempo corto (STFT).

La STFT es una versión corta y comúnmente enventanada de la transformada de Fourier.

$$STFT\{X\{t\}\} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\omega(t - m)e^{-j\omega t} dt$$

Espectrograma



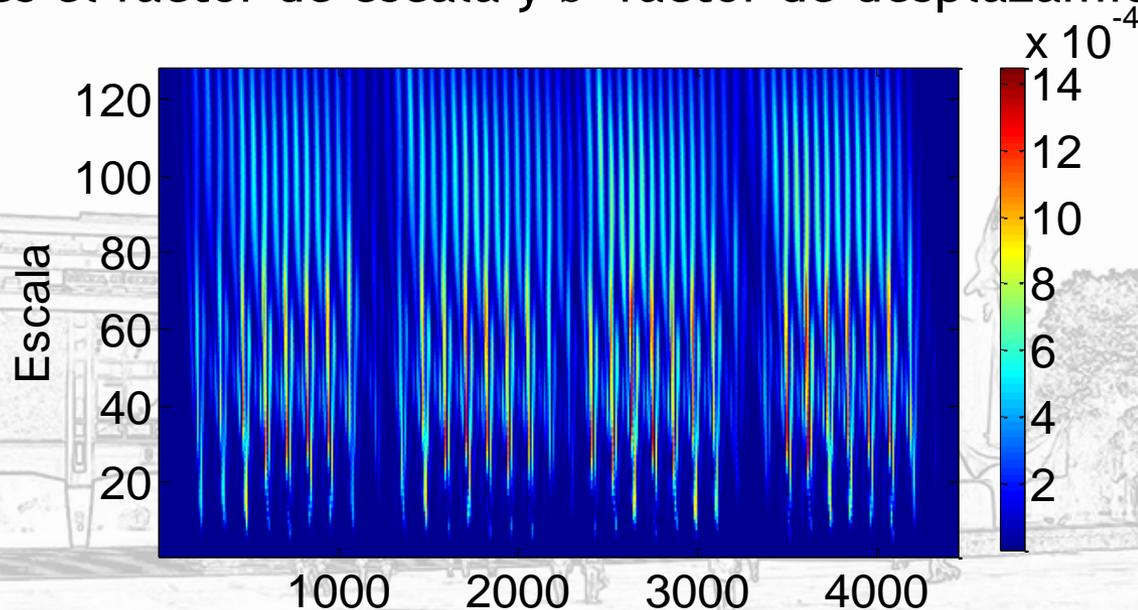
# Marco teórico

## Transformada Wavelet continua (CWT)

Se descompone la señal en versiones escaladas y desplazadas de la wavelet Madre  $\psi(t)$

$$T_x(a, b) = \langle x, \psi_{a,b} \rangle = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

Donde  $a$  es el factor de escala y  $b$  factor de desplazamiento.



# Marco teórico

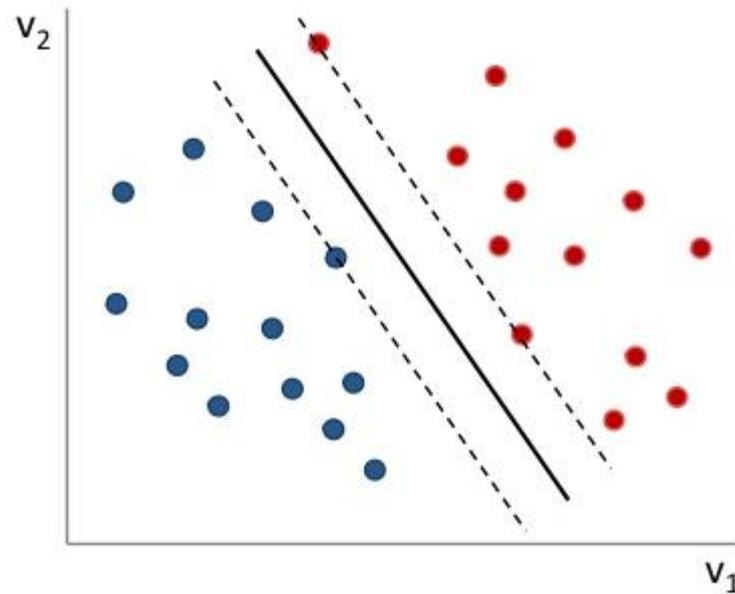
## Medidas espectrales

- **Energía absoluta:** Mide la energía total contenida en la señal en todo el rango de frecuencias.
- **Energía relativa:** Mide la contribución de energía en cada banda tiempo-frecuencia.
- **Entropía espectral:** Cuantifica la cantidad de información en la señal en el dominio tiempo-frecuencia.
- **Centroides espectrales:** La frecuencia que divide la distribución espectral de potencia en partes iguales. Se usa cuartiles al 25%, 50% y 75% de la energía total.

# Marco teórico

## Máquinas de soporte vectorial (SVM)

Técnica de clasificación que utiliza un hiperplano para separar entre las clases.



# Metodología

## Bases de datos

	Pacientes		Controles jóvenes		Controles adultos	
	hombres	mujeres	hombres	mujeres	hombres	mujeres
Número de participantes	11	19	21	16	21	18
Edad ( $\mu \pm \sigma$ )	61.7 $\pm$ 6.8	66.1 $\pm$ 8.5	25.3 $\pm$ 4.5	23.1 $\pm$ 3.0	67.4 $\pm$ 12.8	60.5 $\pm$ 8.0
Rango de edad	48-83	25-75	21-42	20-32	49-84	50-74



# Metodología

## Toma de datos

**Ejercicio 1 (4x10):** Marcha en línea recta ida y vuelta en un trayecto de 10 metros en 2 repeticiones. Longitud total de recorrido 40 metros.

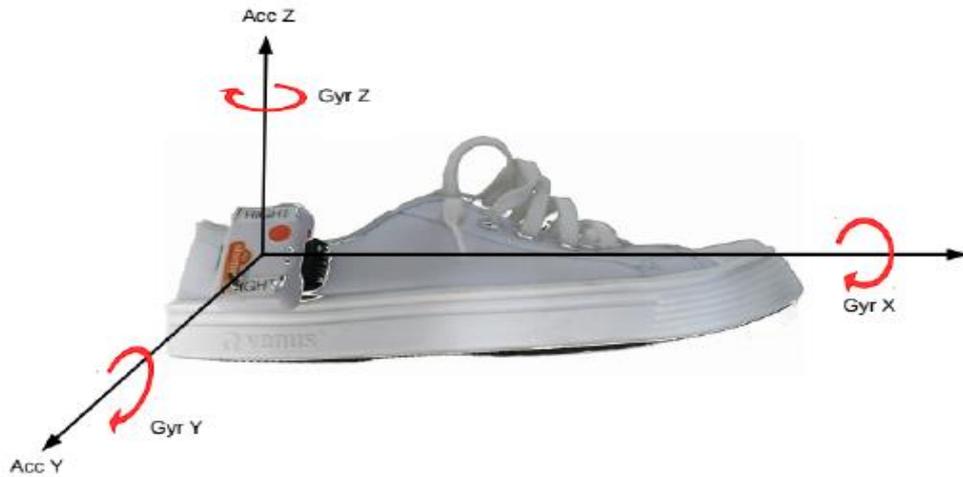
**Ejercicio 2 (Golpeteo pie izquierdo):** Tocar alternativamente con la punta y el talón del pie estando sentado en una silla

**Ejercicio 3 (Golpeteo pie derecho):** Análogo al Ejercicio 2, pero con el pie derecho en el ejercicio y el pie izquierdo en reposo.



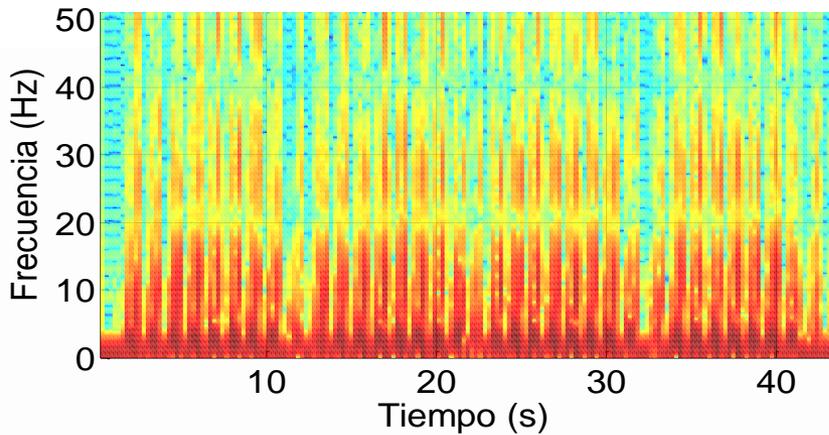
# Metodología

## Toma de datos

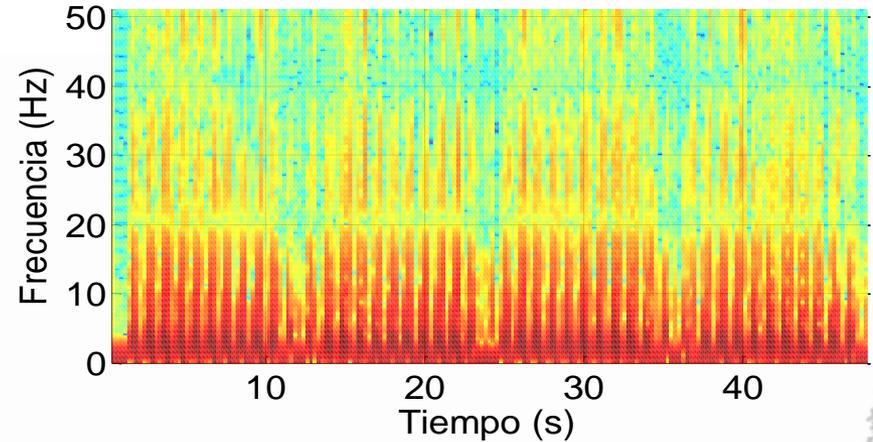


# Metodología

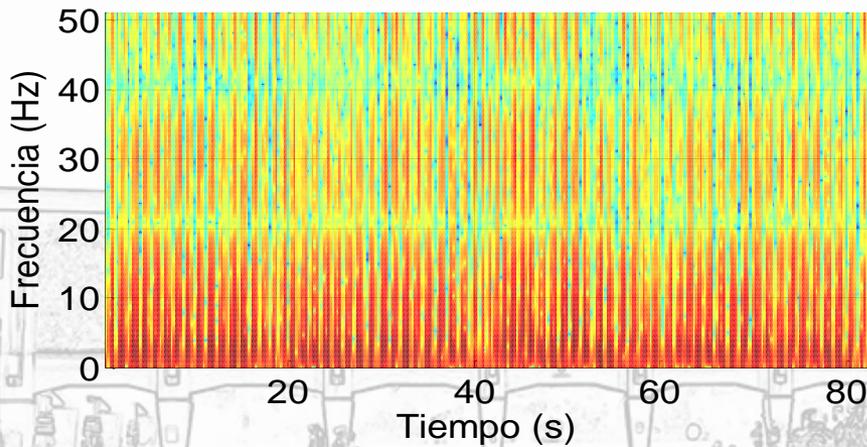
## Espectrogramas



**Control joven, 4x10**



**Control adulto, 4x10**

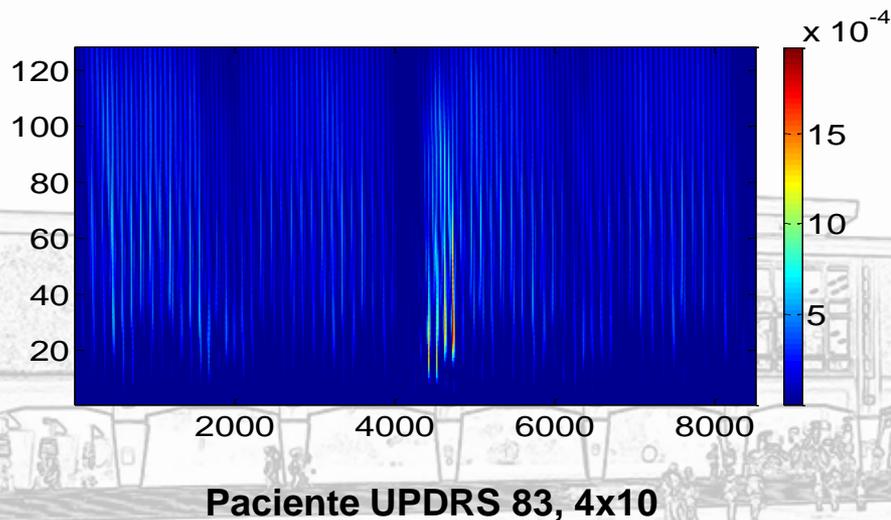
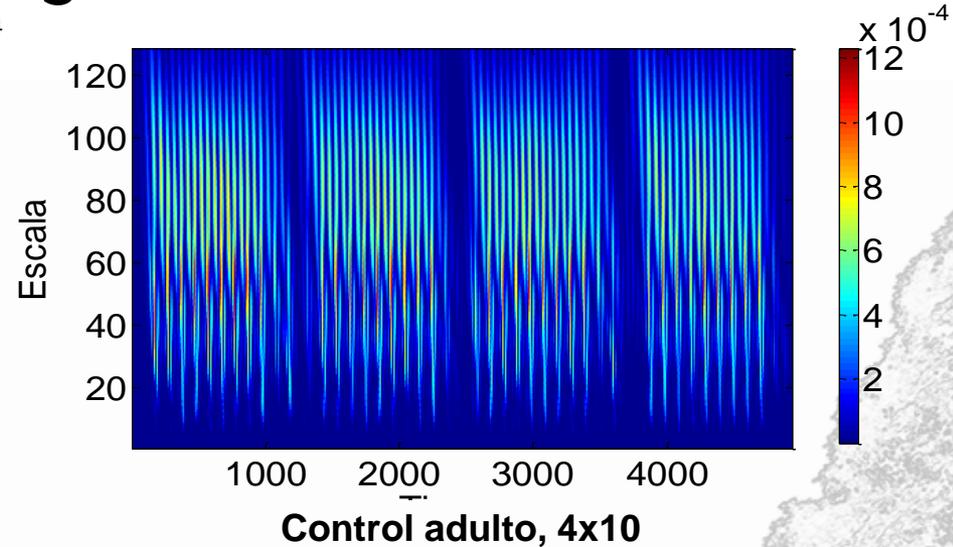
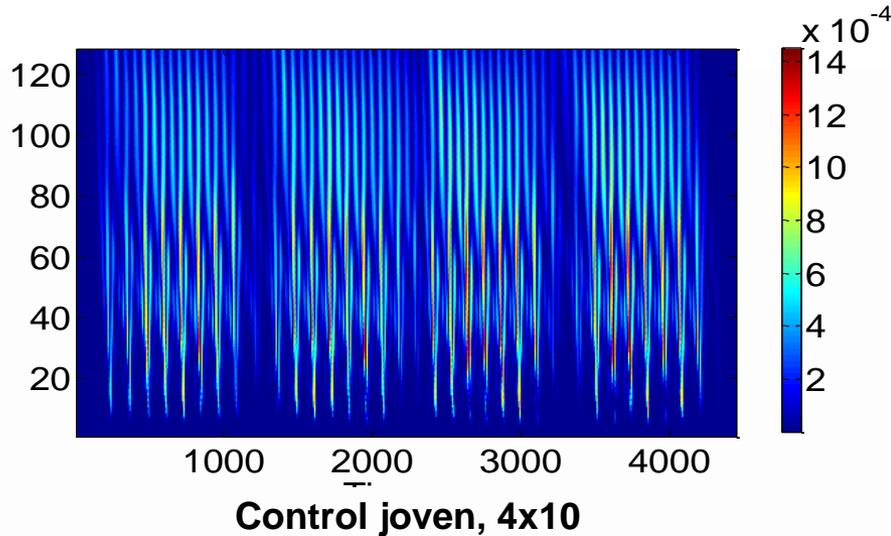


**Paciente UPDRS 82 , 4x10**

- Ventana rectangular 0,5s
- 20 bandas

# Metodología

## Escalogramas



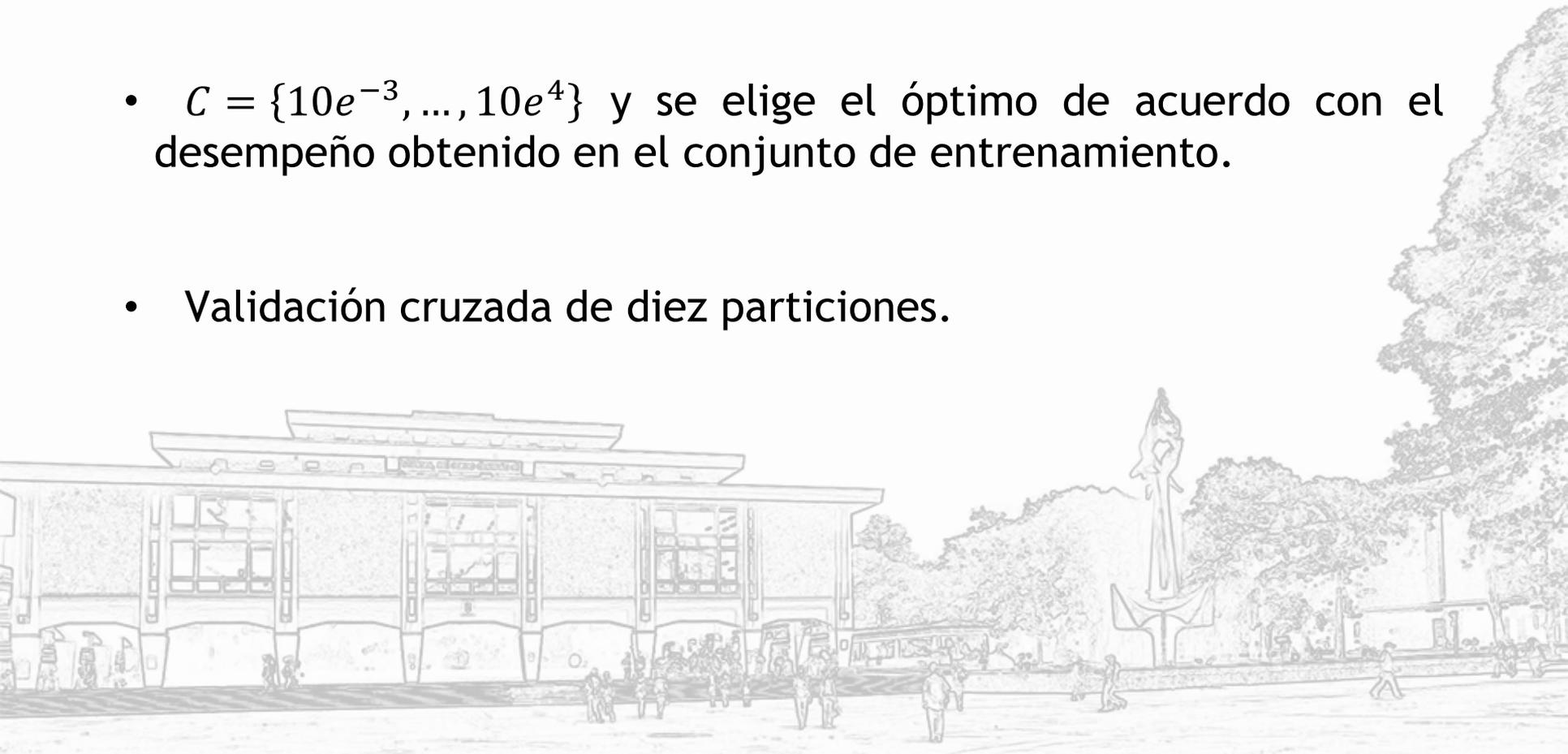
- Wavelet madre DB 5.
- 128 bandas.
- Ventana rectangular de 0,5 segundos.

Control joven, 4x10

# Metodología

## Clasificación

- SVM con kernel lineal.
- $C = \{10e^{-3}, \dots, 10e^4\}$  y se elige el óptimo de acuerdo con el desempeño obtenido en el conjunto de entrenamiento.
- Validación cruzada de diez particiones.



# Resultados y análisis

## Dominio TF

Características - tarea	Pacientes Vs Jóvenes		Pacientes Vs Adultos	
	CWT	STFT	CWT	STFT
<i>FC</i> - 4X10	94%	79%	68%	65%
<i>FC</i> - Tapping	86%	83%	84%	88%
<i>FC</i> - 4x10 + tapping	88%	76%	82%	73%
<i>E<sub>a</sub></i> - 4X10	86%	89%	71%	73%
<i>E<sub>a</sub></i> - Tapping	79%	85%	82%	81%
<i>E<sub>a</sub></i> - 4x10 + tapping	91%	86%	84%	78%
<i>E<sub>r</sub></i> - 4X10	94%	85%	72%	68%
<i>E<sub>r</sub></i> -Tapping	82%	76%	79%	92%
<i>E<sub>r</sub></i> - 4x10 + tapping	83%	83%	78%	84%
<i>S</i> - 4X10	91%	85%	66%	71%
<i>S</i> - Tapping	88%	89%	81%	88%
<i>S</i> - 4x10 + tapping	91%	89%	85%	76%
<i>CE</i> - 4X10	88%	73%	75%	62%
<i>CE</i> - Tapping	80%	74%	79%	81%
<i>CE</i> - 4x10 + tapping	88%	76%	76%	72%

# Resultados y análisis

## Dominio TF-Mejores resultados de la clasificación

Características - tarea	Pacientes Vs Jóvenes		Pacientes Vs Adultos	
	CWT	STFT	CWT	STFT
<i>FC</i> - 4X10	94%	79%	68%	65%
<i>FC</i> - Tapping	86%	83%	84%	88%
<i>FC</i> - 4x10 + tapping	88%	76%	82%	73%
<i>E<sub>a</sub></i> - 4X10	86%	89%	71%	73%
<i>E<sub>a</sub></i> - Tapping	79%	85%	82%	81%
<i>E<sub>a</sub></i> - 4x10 + tapping	91%	86%	84%	78%
<i>E<sub>r</sub></i> - 4X10	94%	85%	72%	68%
<i>E<sub>r</sub></i> -Tapping	82%	76%	79%	92%
<i>E<sub>r</sub></i> - 4x10 + tapping	83%	83%	78%	84%
<i>S</i> - 4X10	91%	85%	66%	71%
<i>S</i> - Tapping	88%	89%	81%	88%
<i>S</i> - 4x10 + tapping	91%	89%	85%	76%
<i>CE</i> - 4X10	88%	73%	75%	62%
<i>CE</i> - Tapping	80%	74%	79%	81%
<i>CE</i> - 4x10 + tapping	88%	76%	76%	72%

# Resultados y análisis

## Dominio TF-Mejores resultados por característica

Características - tarea	Pacientes Vs Jóvenes		Pacientes Vs Adultos	
	CWT	STFT	CWT	STFT
<i>FC</i> - 4X10	94%	79%	68%	65%
<i>FC</i> - Tapping	86%	83%	84%	88%
<i>FC</i> - 4x10 + tapping	88%	76%	82%	73%
<i>E<sub>a</sub></i> - 4X10	86%	89%	71%	73%
<i>E<sub>a</sub></i> - Tapping	79%	85%	82%	81%
<i>E<sub>a</sub></i> - 4x10 + tapping	91%	86%	84%	78%
<i>E<sub>r</sub></i> - 4X10	94%	85%	72%	68%
<i>E<sub>r</sub></i> -Tapping	82%	76%	79%	92%
<i>E<sub>r</sub></i> - 4x10 + tapping	83%	83%	78%	84%
<i>S</i> - 4X10	91%	85%	66%	71%
<i>S</i> - Tapping	88%	89%	81%	88%
<i>S</i> - 4x10 + tapping	91%	89%	85%	76%
<i>CE</i> - 4X10	88%	73%	75%	62%
<i>CE</i> - Tapping	80%	74%	79%	81%
<i>CE</i> - 4x10 + tapping	88%	76%	76%	72%

# Resultados y análisis

## Dominio TF-Mejores resultados por representación TF

Características - tarea	Pacientes Vs Jóvenes		Pacientes Vs Adultos	
	CWT	STFT	CWT	STFT
<i>FC</i> - 4X10	94%	79%	68%	65%
<i>FC</i> - Tapping	86%	83%	84%	88%
<i>FC</i> - 4x10 + tapping	88%	76%	82%	73%
<i>E<sub>a</sub></i> - 4X10	86%	89%	71%	73%
<i>E<sub>a</sub></i> - Tapping	79%	85%	82%	81%
<i>E<sub>a</sub></i> - 4x10 + tapping	91%	86%	84%	78%
<i>E<sub>r</sub></i> - 4X10	94%	85%	72%	68%
<i>E<sub>r</sub></i> -Tapping	82%	76%	79%	92%
<i>E<sub>r</sub></i> - 4x10 + tapping	83%	83%	78%	84%
<i>S</i> - 4X10	91%	85%	66%	71%
<i>S</i> - Tapping	88%	89%	81%	88%
<i>S</i> - 4x10 + tapping	91%	89%	85%	76%
<i>CE</i> - 4X10	88%	73%	75%	62%
<i>CE</i> - Tapping	80%	74%	79%	81%
<i>CE</i> - 4x10 + tapping	88%	76%	76%	72%

# Resultados y análisis

## Dominio TF

Características - tarea	Pacientes Vs Jóvenes		Pacientes Vs Adultos	
	CWT	STFT	CWT	STFT
<i>FC</i> - 4X10	94%	79%	68%	65%
<i>FC</i> - Tapping	86%	83%	84%	88%
<i>FC</i> - 4x10 + tapping	88%	76%	82%	73%
<i>E<sub>a</sub></i> - 4X10	86%	89%	71%	73%
<i>E<sub>a</sub></i> - Tapping	79%	85%	82%	81%
<i>E<sub>a</sub></i> - 4x10 + tapping	91%	86%	84%	78%
<i>E<sub>r</sub></i> - 4X10	94%	85%	72%	68%
<i>E<sub>r</sub></i> -Tapping	82%	76%	79%	92%
<i>E<sub>r</sub></i> - 4x10 + tapping	83%	83%	78%	84%
<i>S</i> - 4X10	91%	85%	66%	71%
<i>S</i> - Tapping	88%	89%	81%	88%
<i>S</i> - 4x10 + tapping	91%	89%	85%	76%
<i>CE</i> - 4X10	88%	73%	75%	62%
<i>CE</i> - Tapping	80%	74%	79%	81%
<i>CE</i> - 4x10 + tapping	88%	76%	76%	72%

# Resultados y análisis

## Dominio TF

	Pacientes Vs jóvenes		Pacientes Vs adultos	
	CWT	STFT	CWT	STFT
Asertividad	86.94%±	82.83%±	77.77%±	77.6%±8
( $\mu \pm \sigma$ )	4.6%	6.15%	5.6%	.69%

# Resultados y análisis

## Dominio temporal

Características - tarea	Pacientes Vs. jóvenes
4X10	89%
Tapping	86%
4x10 + tapping	79%
Shim. abs.- 4X10	89%
Shim. abs.- Tapping	89%
Shim. abs- 4x10 + tapping	79%
Shim. rel - 4X10	89%
Shim rel.-Tapping	85%
Shim. rel- 4x10 + tapping	79%
Jitter abs. tapping	89%
Jitter rel. tapping	89%
THD	81%
TP(Tiempo de los 3 máximos globales)	76%

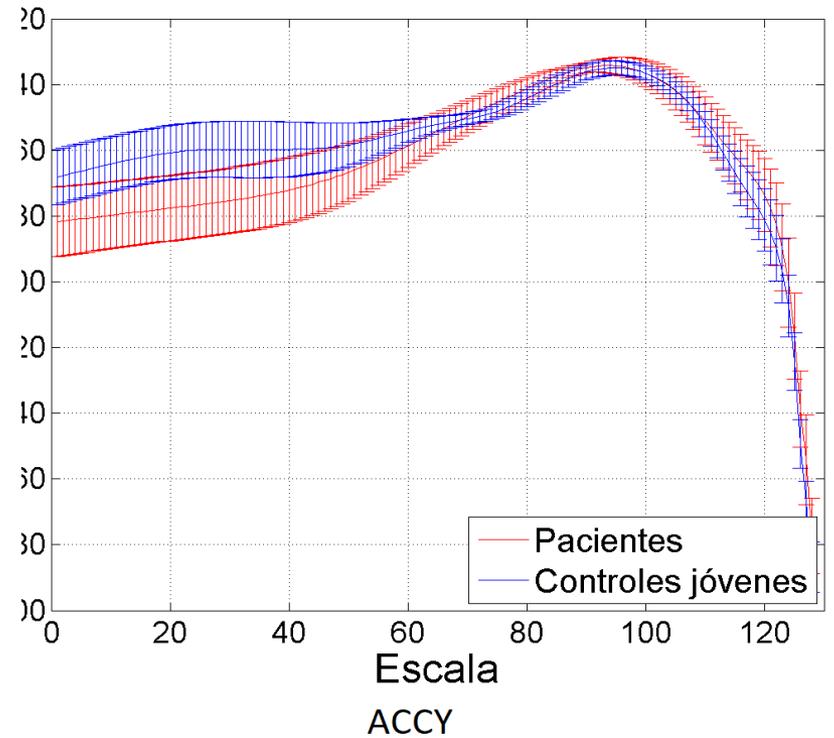
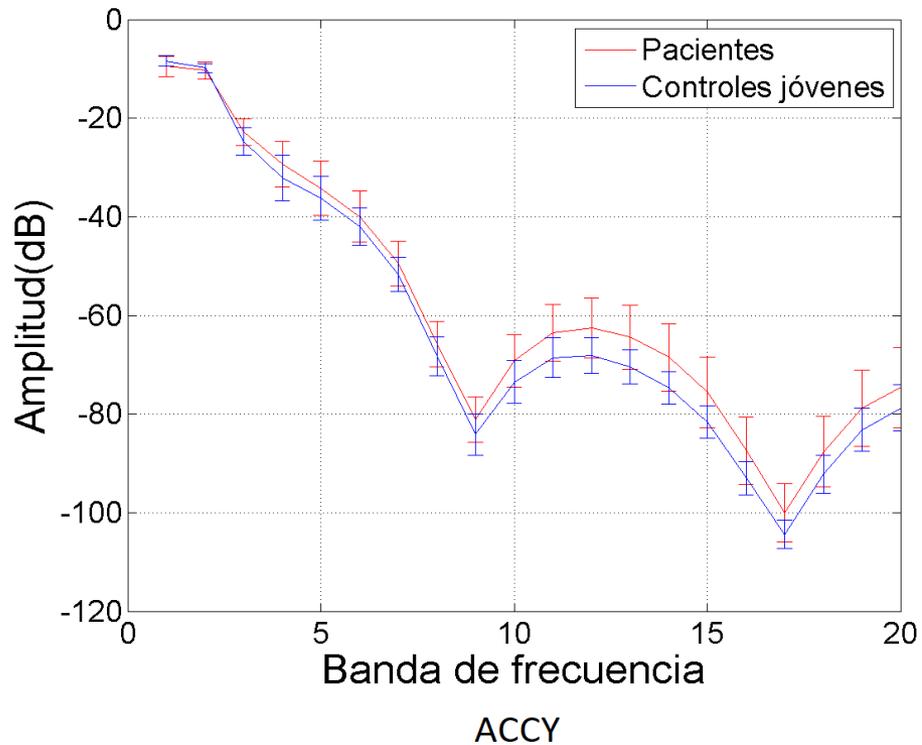
# Resultados y análisis

## Dominio temporal

Características - tarea	Pacientes Vs. jóvenes
4X10	89%
Tapping	86%
4x10 + tapping	79%
Shim. abs.- 4X10	89%
Shim. abs.- Tapping	89%
Shim. abs- 4x10 + tapping	79%
Shim. rel - 4X10	89%
Shim rel.-Tapping	85%
Shim. rel- 4x10 + tapping	79%
Jitter abs. tapping	89%
Jitter rel. tapping	89%
THD	81%
TP(Tiempo de los 3 máximos globales)	76%

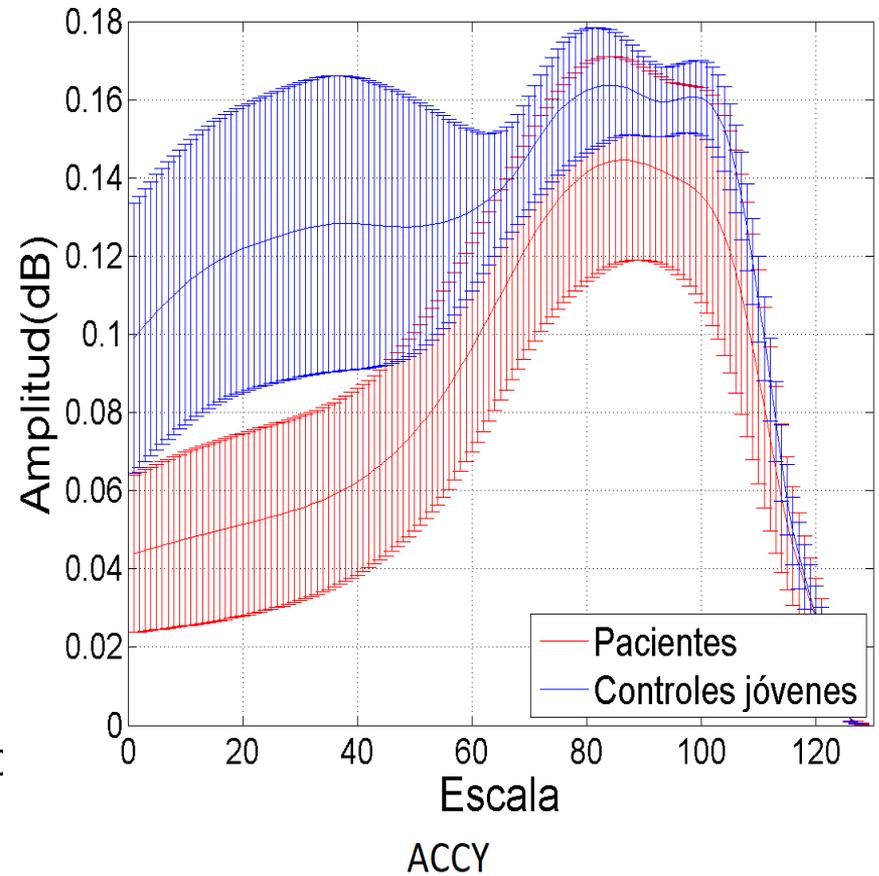
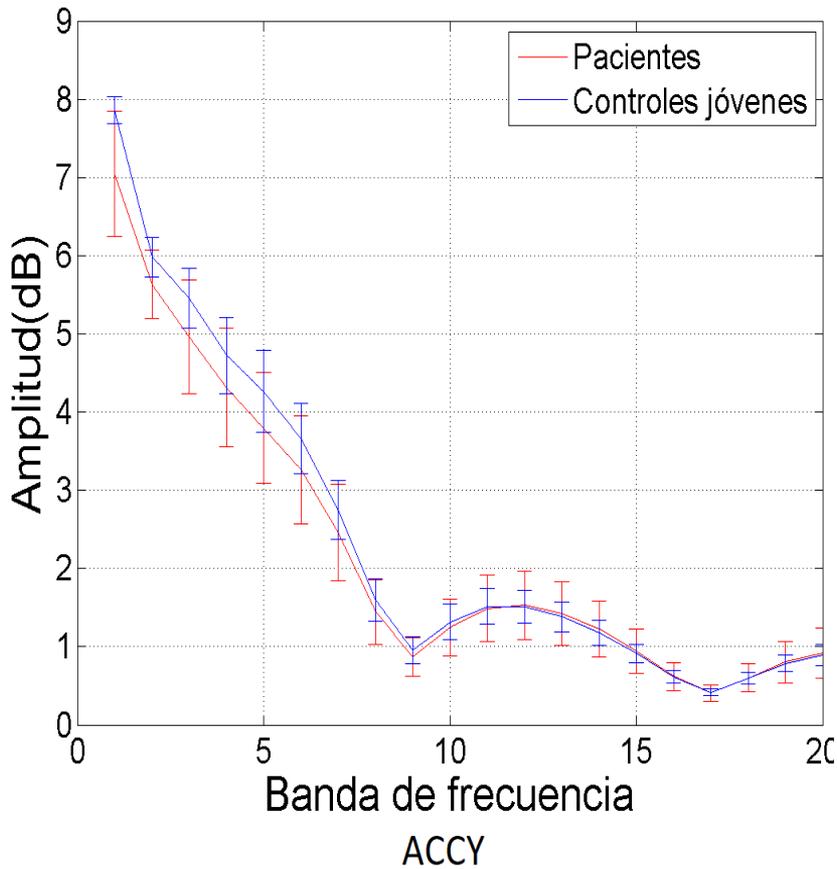
# Resultados y análisis

## Evaluación de características-Energía relativa



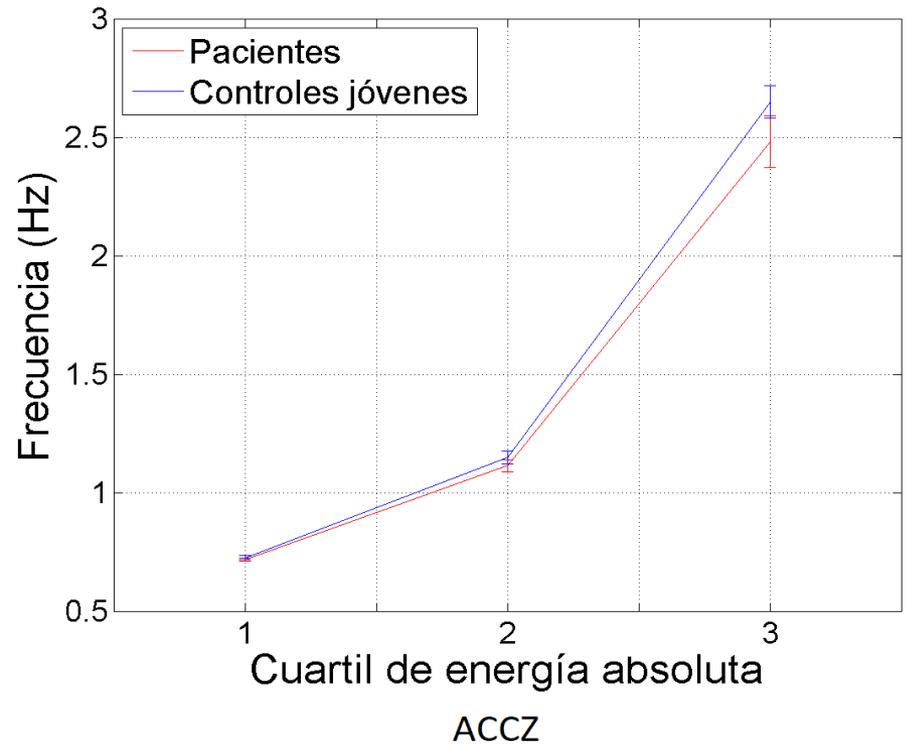
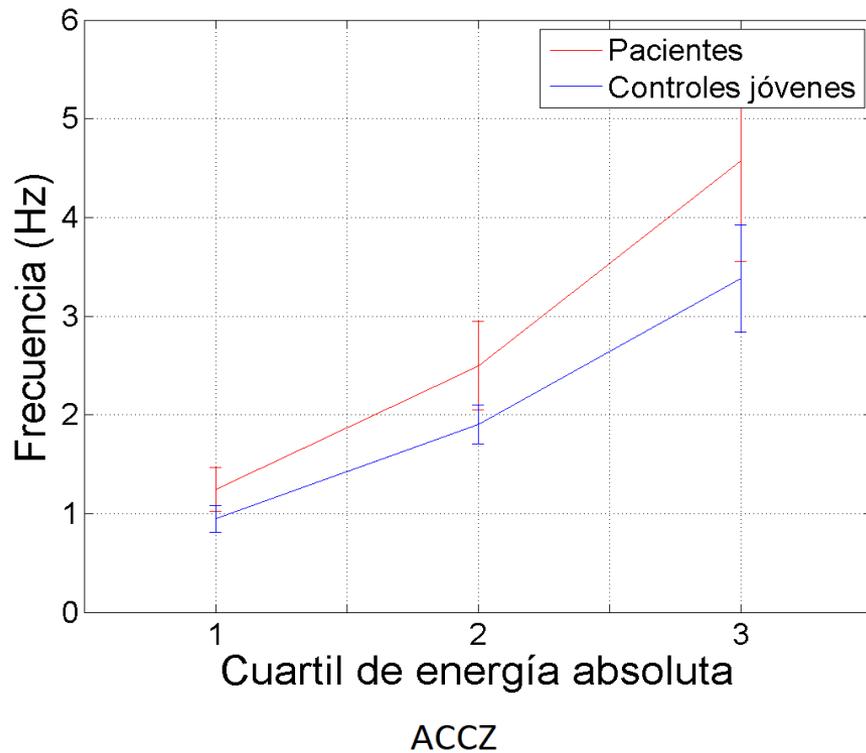
# Resultados y análisis

## Evaluación de características-Entropía espectral



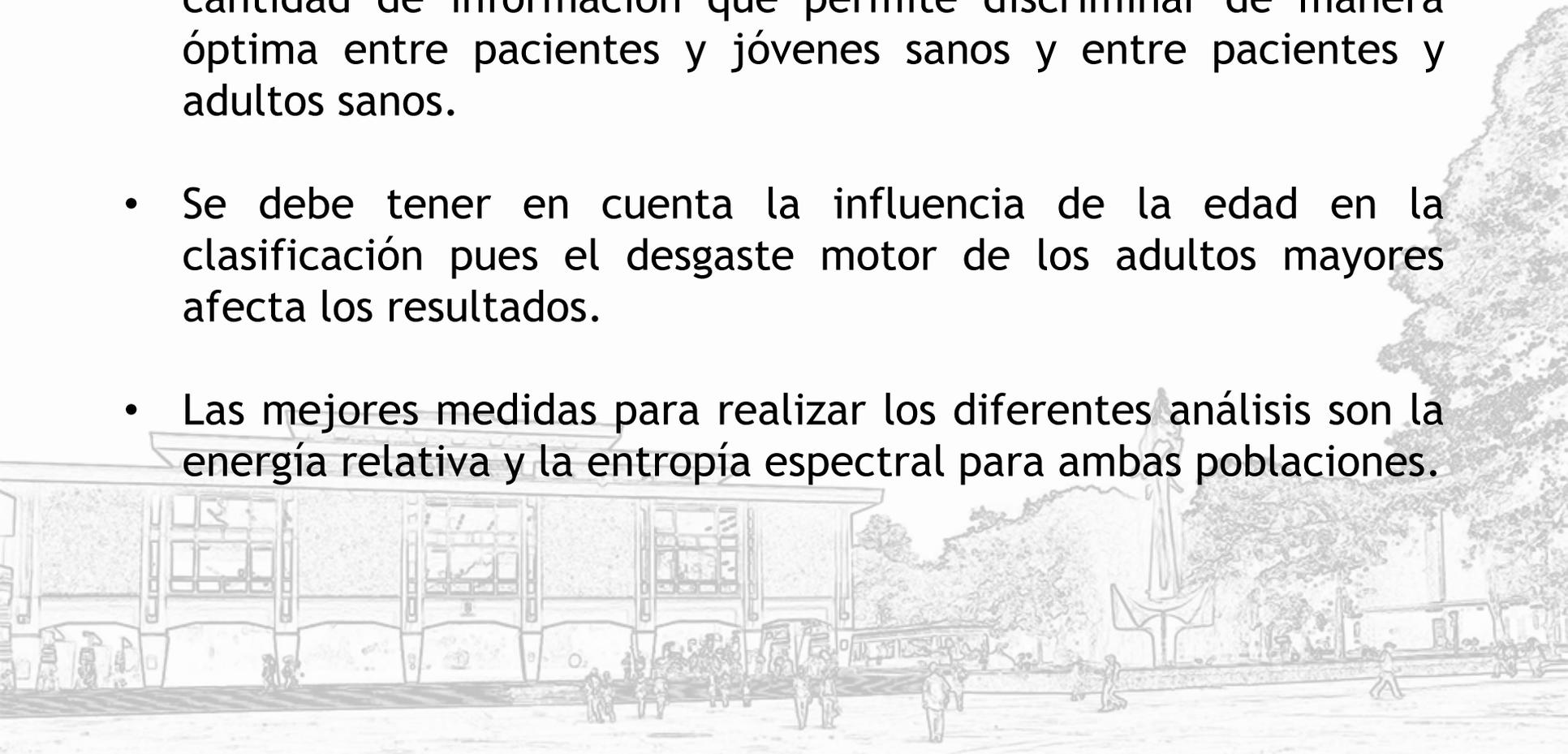
# Resultados y análisis

## Evaluación de características-Centroides espectrales



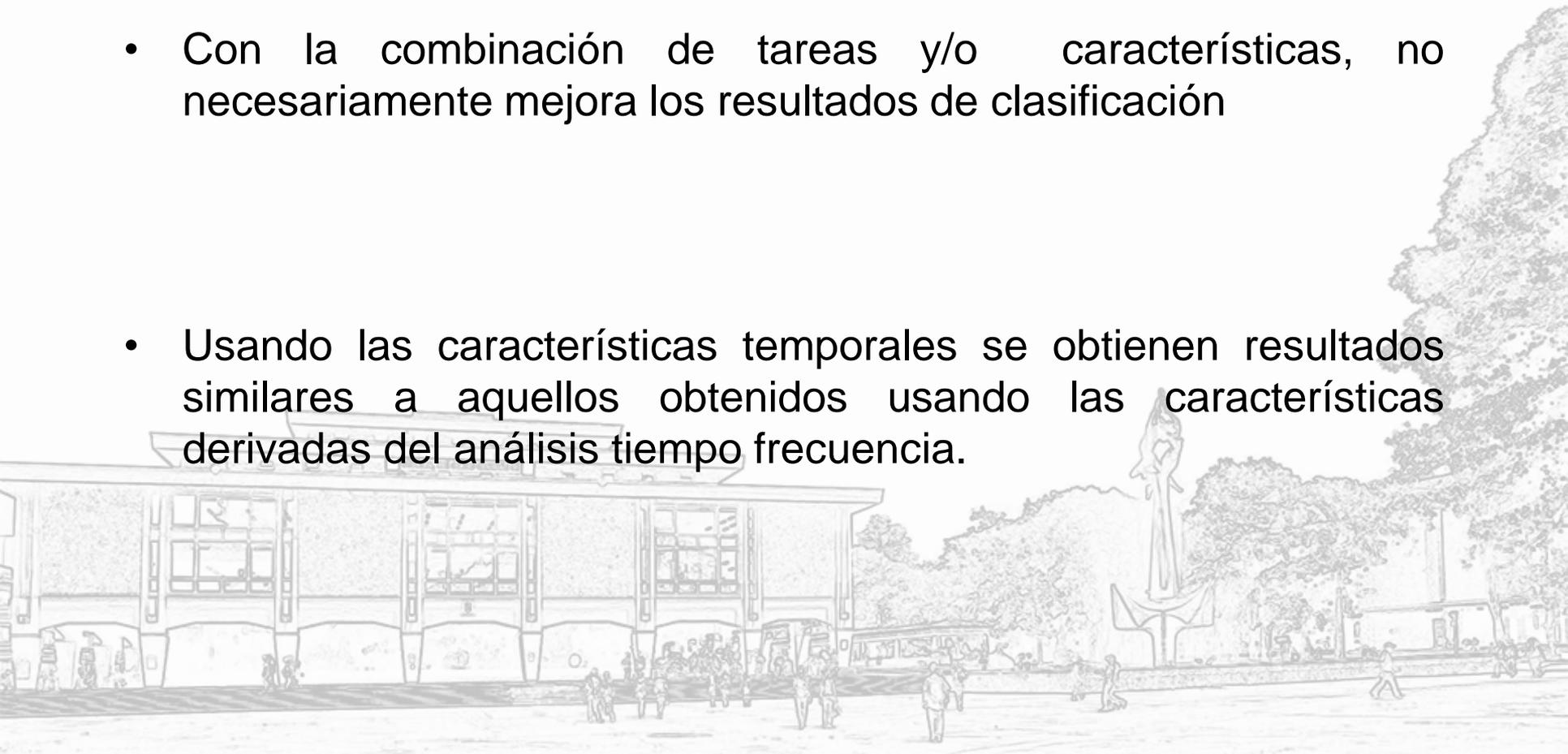
# Conclusiones

- Las medidas calculadas para el clasificador aportan una gran cantidad de información que permite discriminar de manera óptima entre pacientes y jóvenes sanos y entre pacientes y adultos sanos.
- Se debe tener en cuenta la influencia de la edad en la clasificación pues el desgaste motor de los adultos mayores afecta los resultados.
- Las mejores medidas para realizar los diferentes análisis son la energía relativa y la entropía espectral para ambas poblaciones.



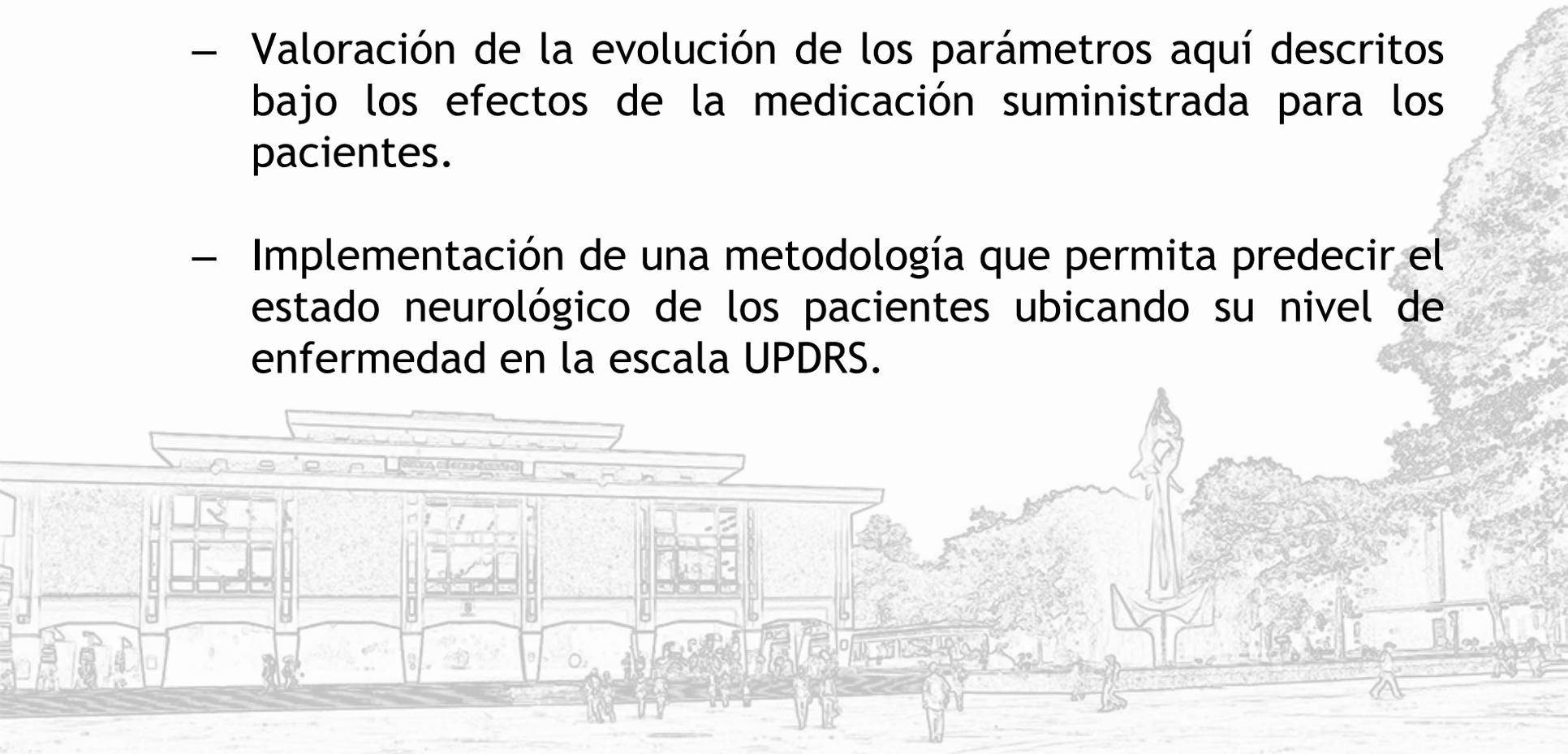
# Conclusiones

- Con la combinación de tareas y/o características, no necesariamente mejora los resultados de clasificación
- Usando las características temporales se obtienen resultados similares a aquellos obtenidos usando las características derivadas del análisis tiempo frecuencia.



# Conclusiones

- Se abre el camino para futuras investigaciones:
  - Valoración de la evolución de los parámetros aquí descritos bajo los efectos de la medicación suministrada para los pacientes.
  - Implementación de una metodología que permita predecir el estado neurológico de los pacientes ubicando su nivel de enfermedad en la escala UPDRS.



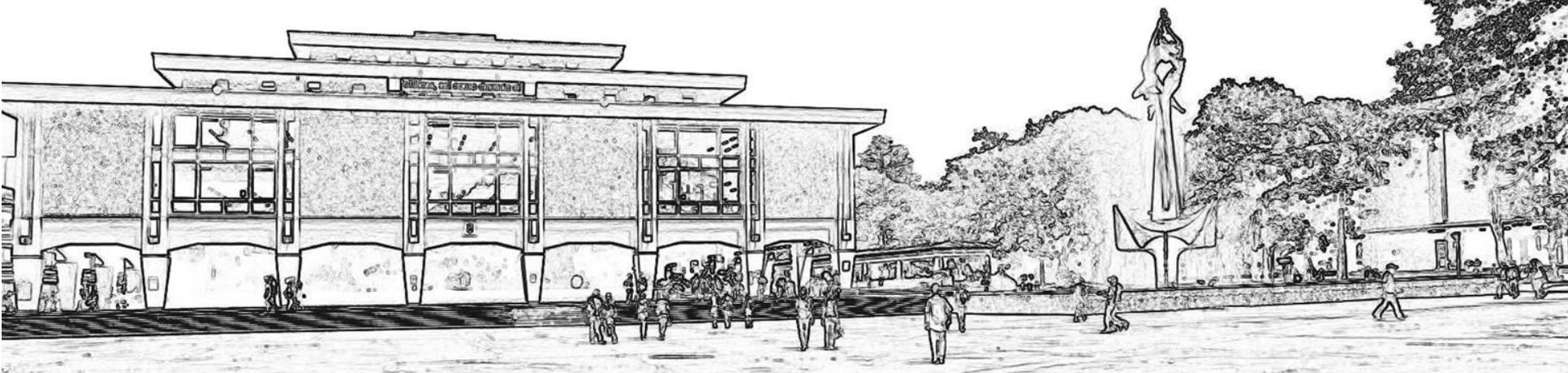
Preguntas???





1803

# UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA



GRACIAS!!!!