



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:

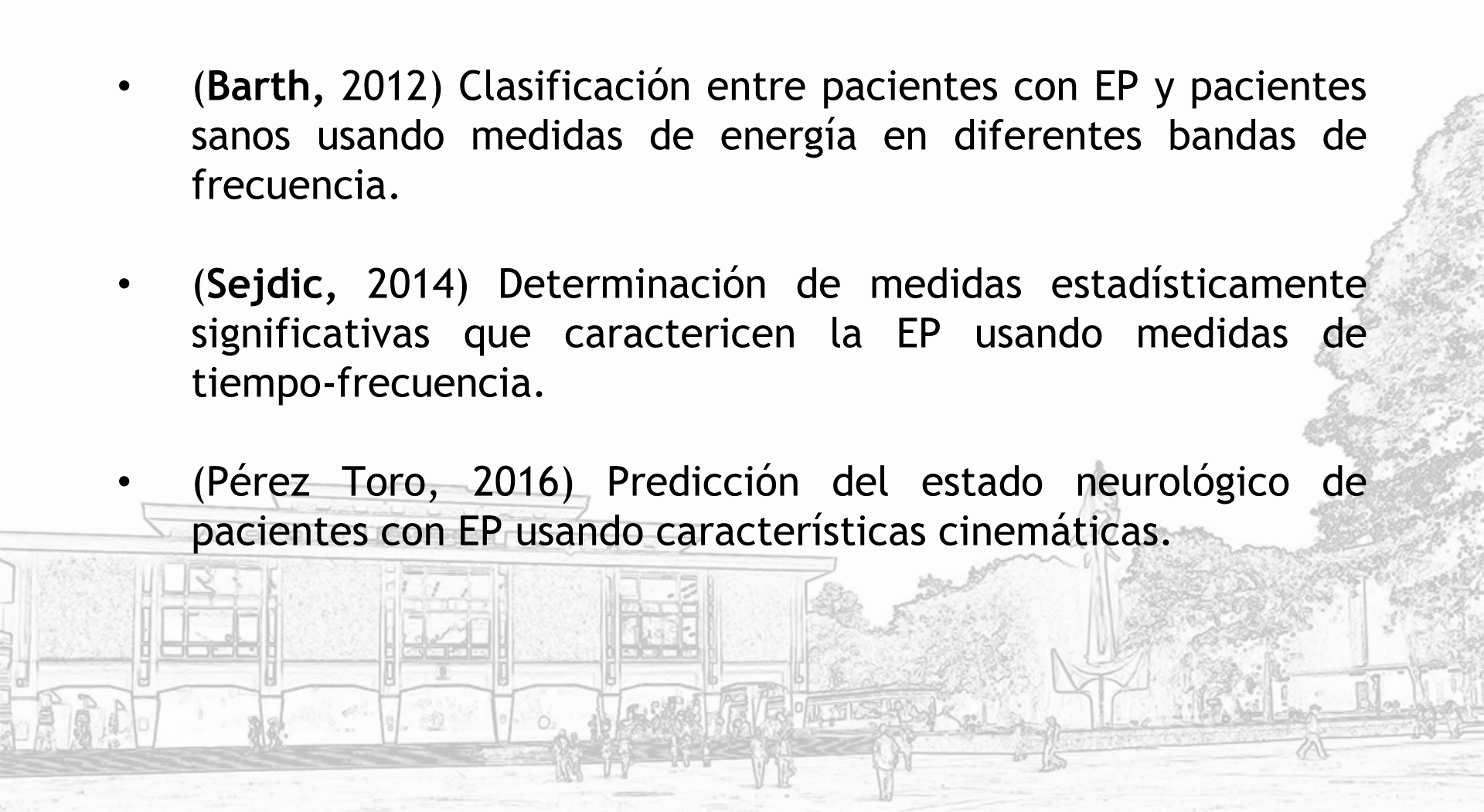
- Festinación (Marcha apresurada)
- Acinesia (Vacilación inicial)
- Bradicinecia (Acortamiento longitud del paso)
- Tendencia a la flexión



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

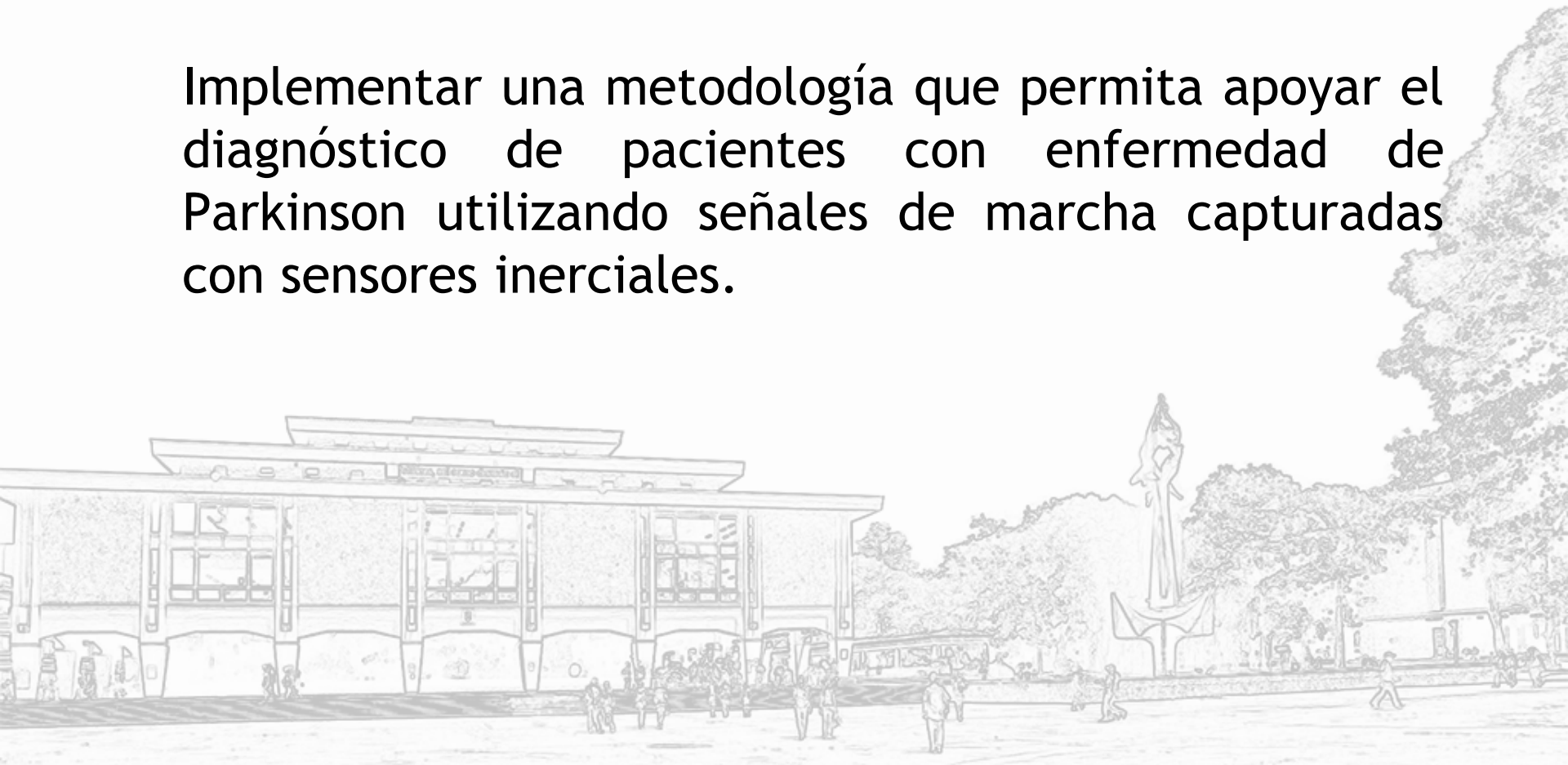
- El diagnóstico de la EP se efectúa basado en historia clínica y en criterio médico subjetivo.
- Se busca una herramienta computacional que apoye el diagnóstico.



Objetivos

Objetivo general

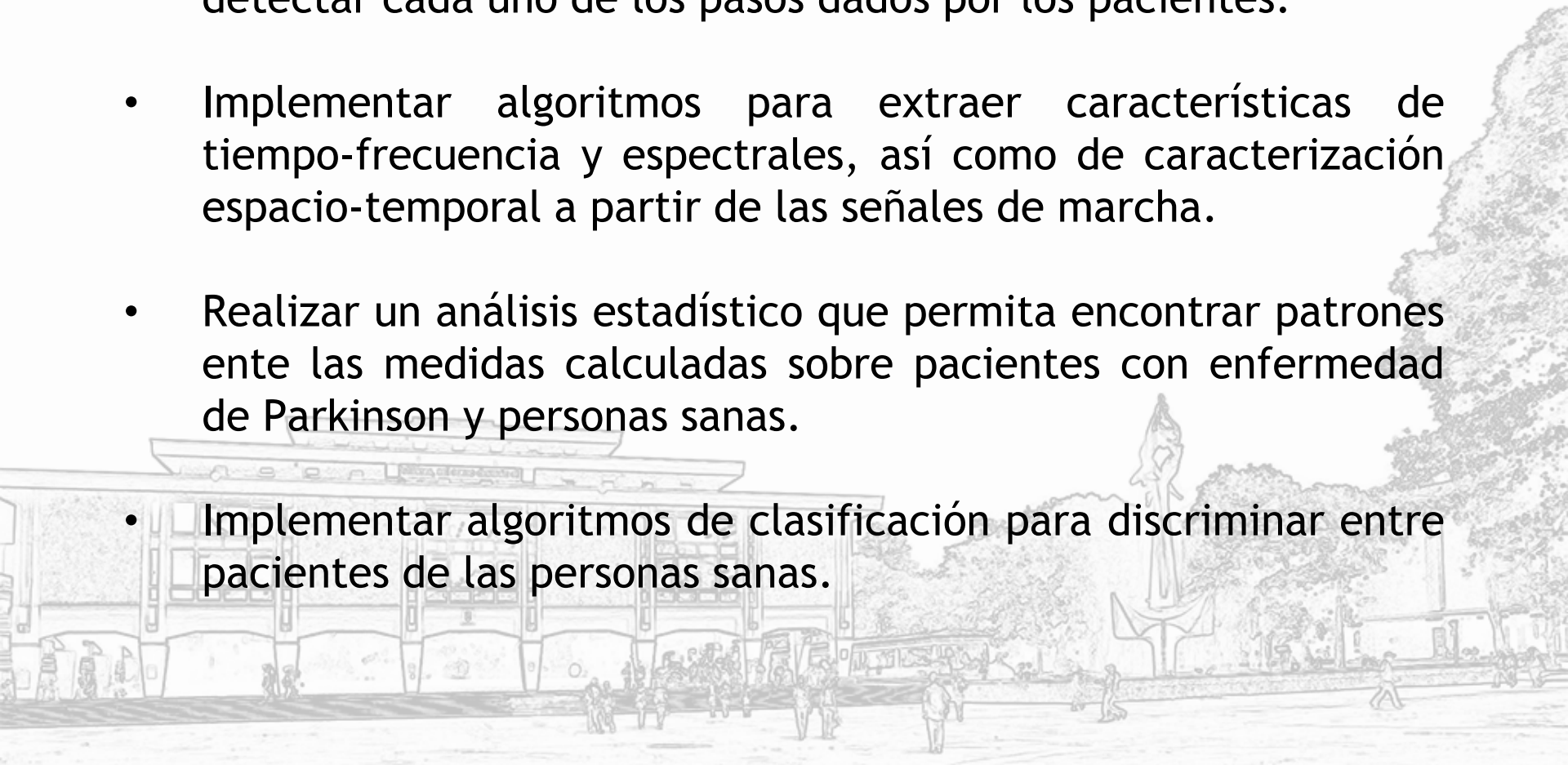
Implementar una metodología que permita apoyar el diagnóstico de pacientes con enfermedad de Parkinson utilizando señales de marcha capturadas con sensores inerciales.



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.

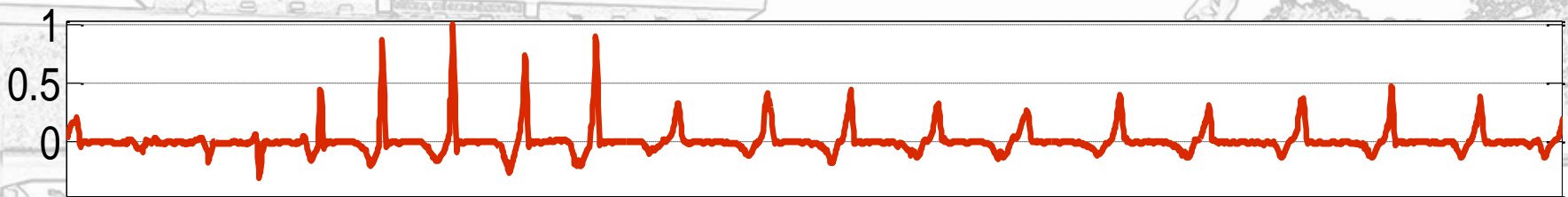


Marco teórico

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



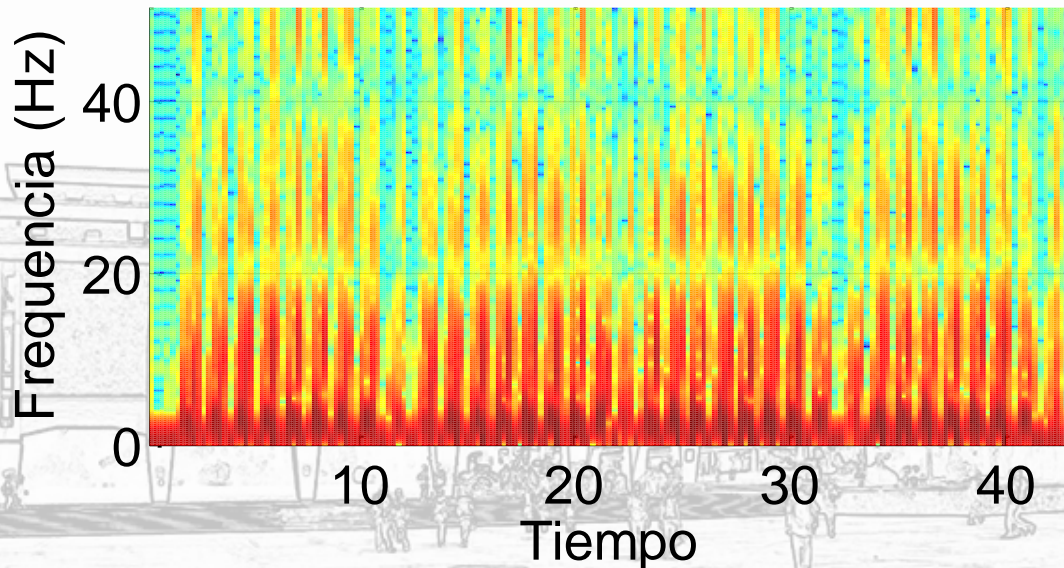
Marco teórico

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



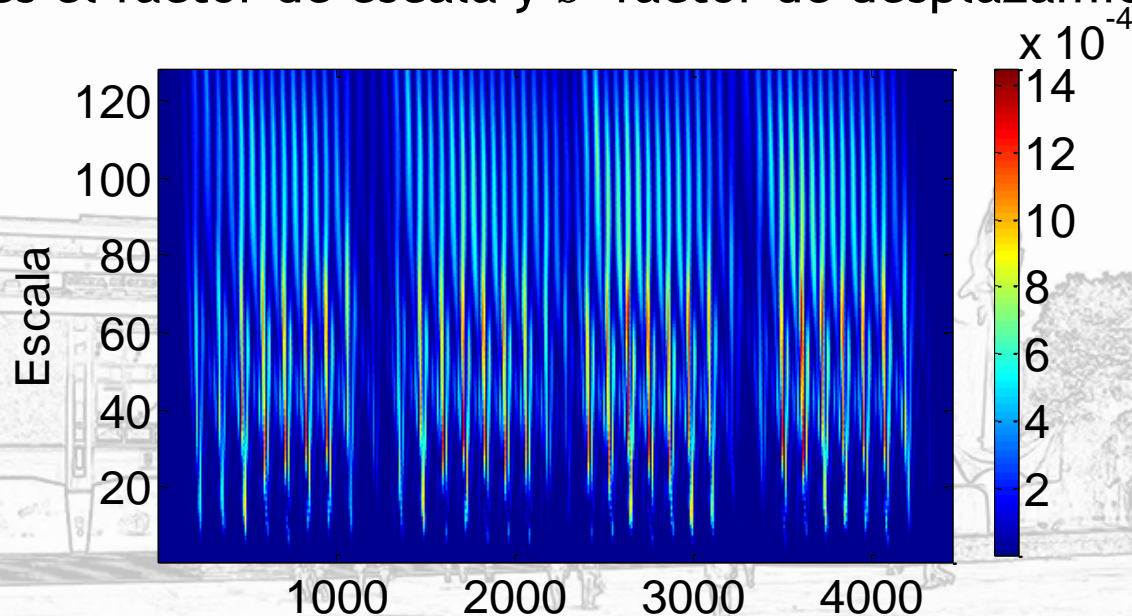
Marco teórico

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

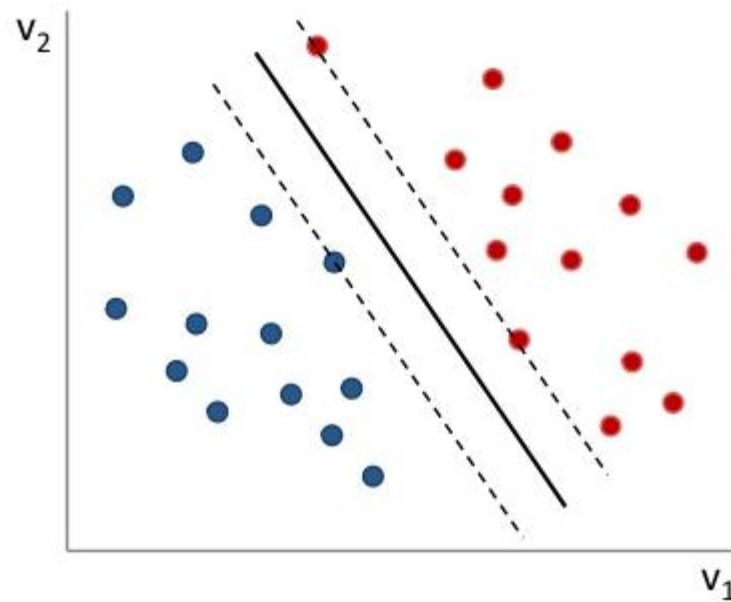
Medidas espectrales

- **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 12.0	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.

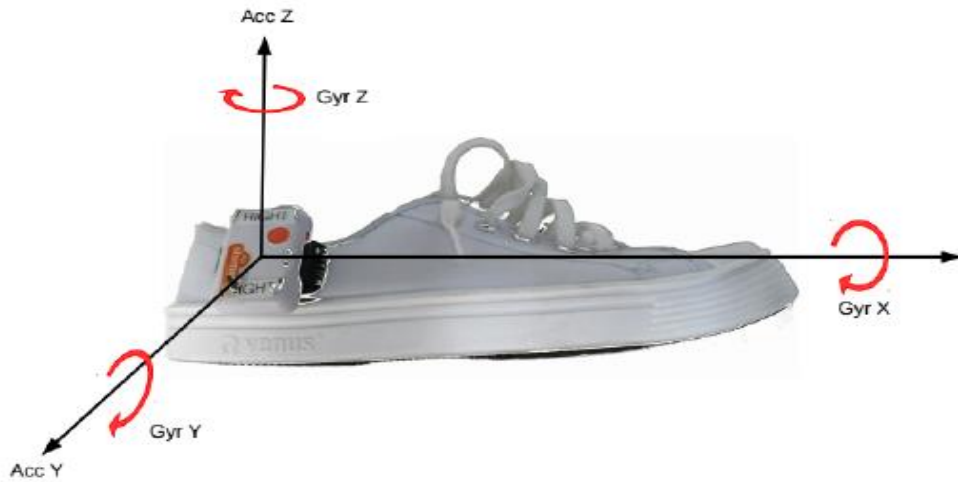
Ejercicio 2 (Golpeteo pie izquierdo): Tocar alternativamente con la punta y el talón del pie estando sentado en una silla

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



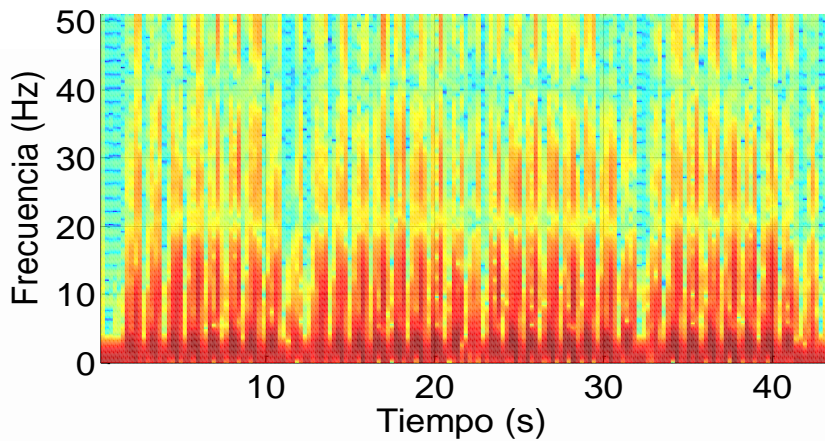
Metodología

Toma de datos

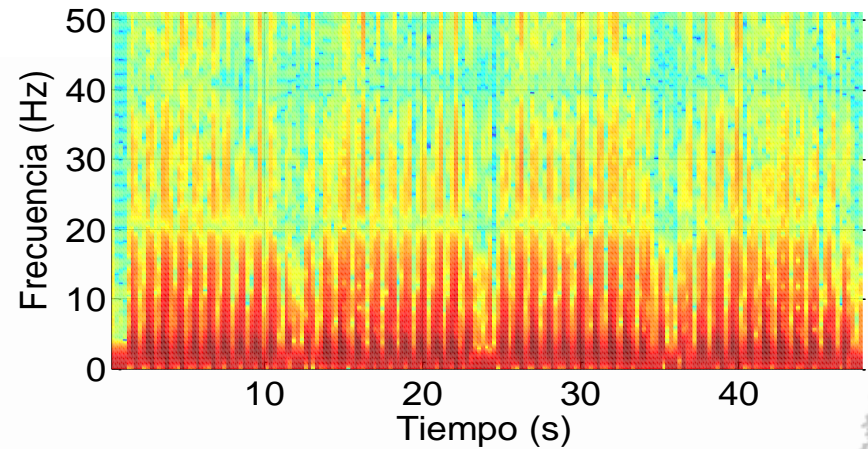


Metodología

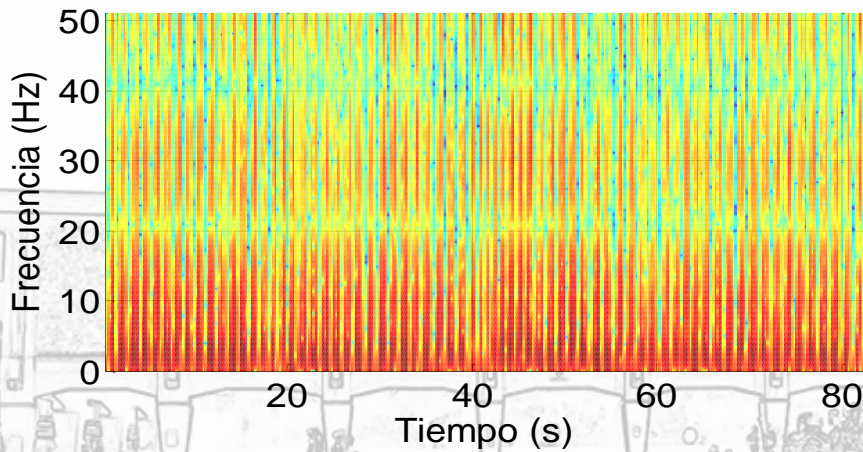
Espectrogramas



Control joven, 4x10



Control adulto, 4x10

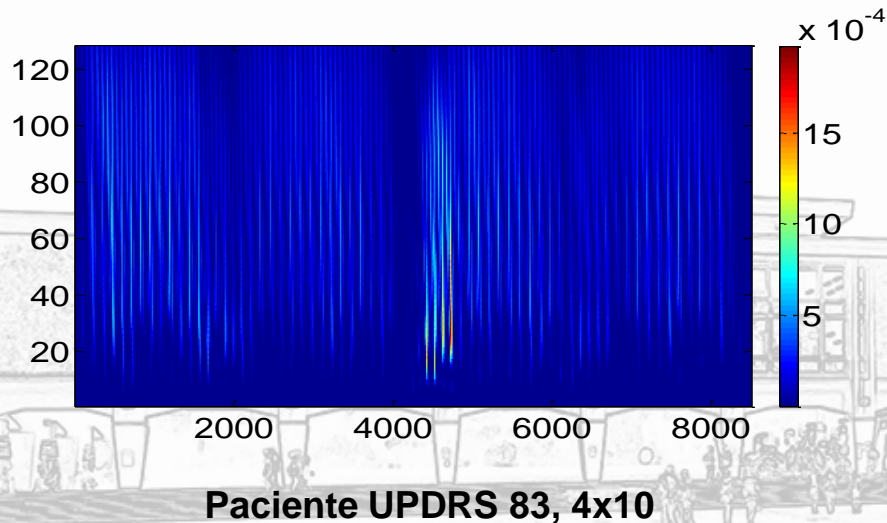
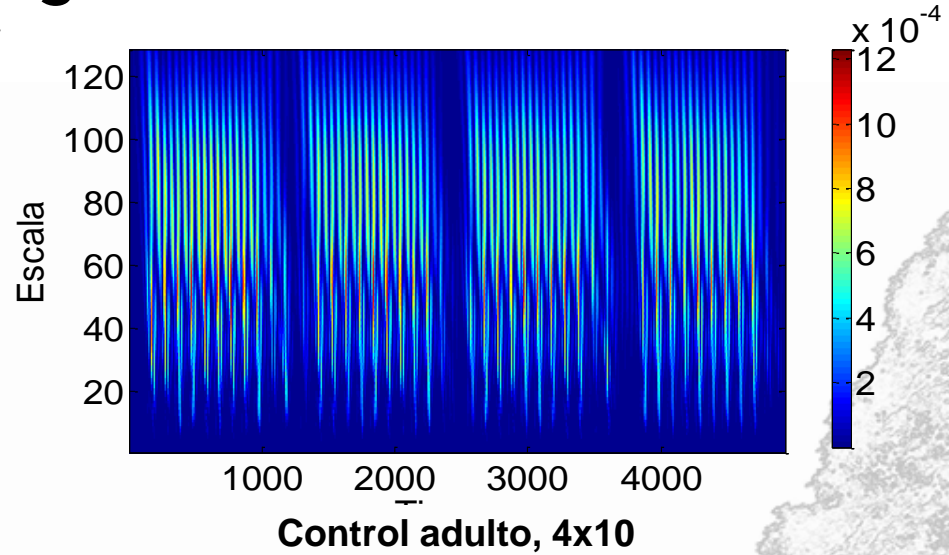
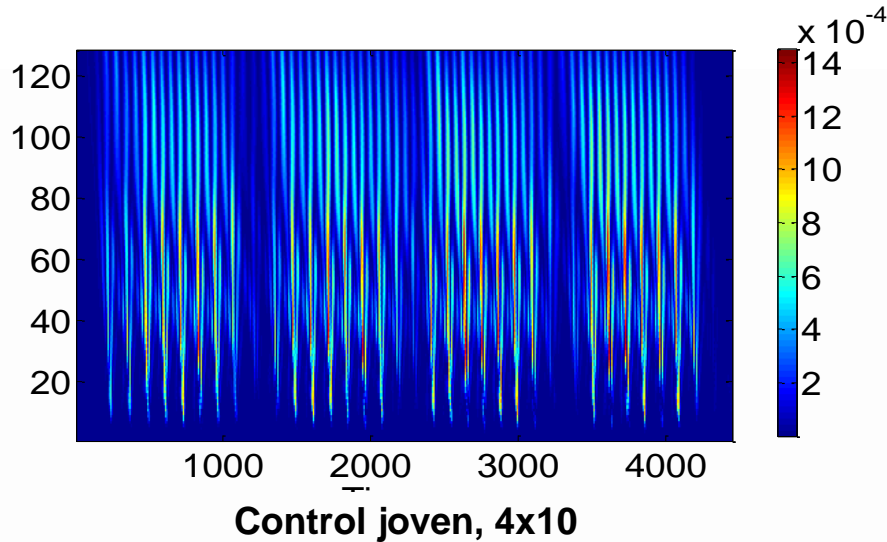


Paciente UPDRS 82 , 4x10

- Ventana rectangular 0,5s
- 20 bandas

Metodología

Escalogramas



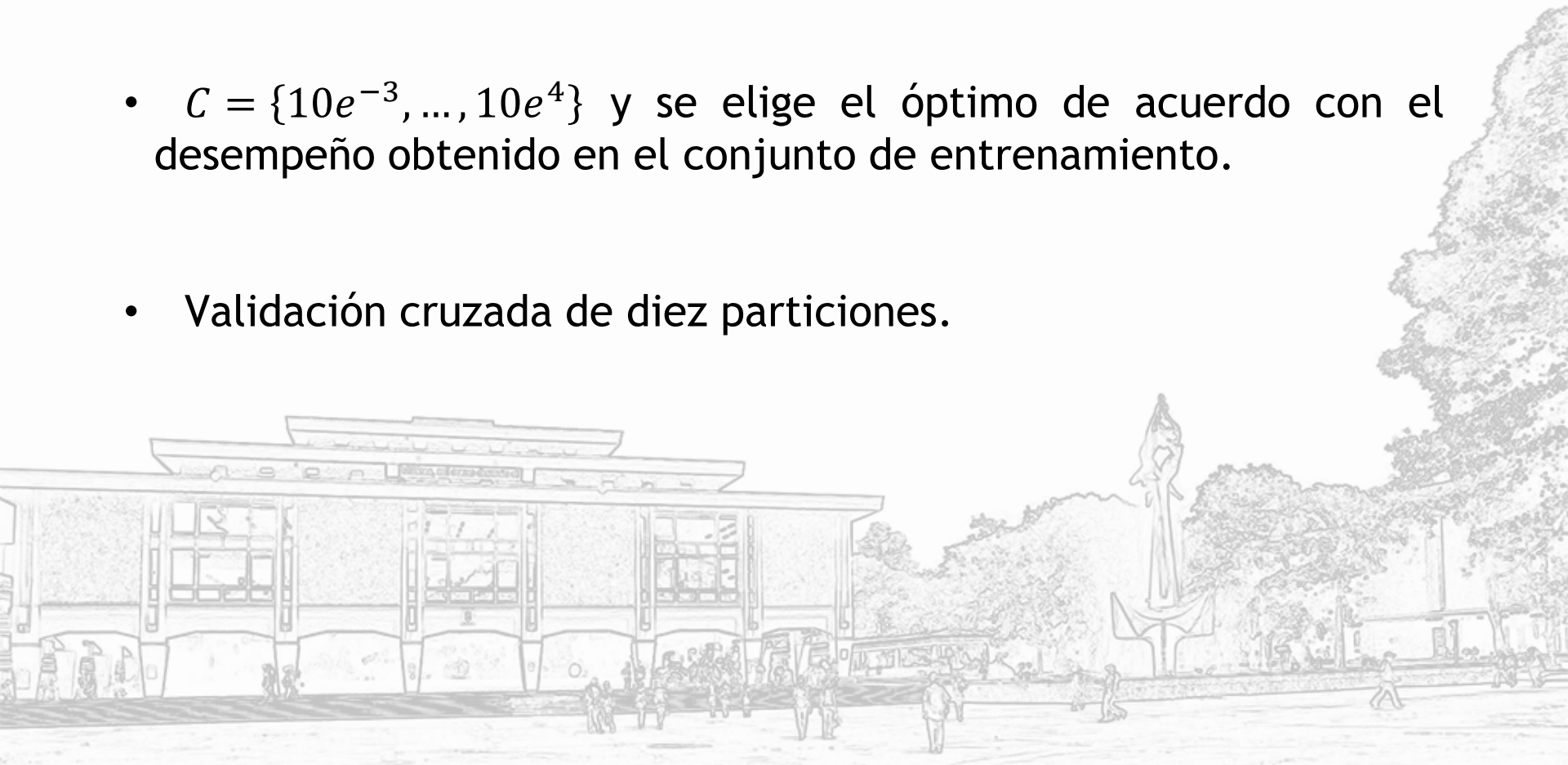
- Wavelet madre DB 5.
- 128 bandas.
- Ventana rectangular de 0,5 segundos.

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_a</i> - 4X10	86%	89%	71%	73%
<i>E_a</i> - Tapping	79%	85%	82%	81%
<i>E_a</i> - 4x10 + tapping	91%	86%	84%	78%
<i>E_r</i> - 4X10	94%	85%	72%	68%
<i>E_r</i> -Tapping	82%	76%	79%	92%
<i>E_r</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_a</i> - 4X10	86%	89%	71%	73%
<i>E_a</i> - Tapping	79%	85%	82%	81%
<i>E_a</i> - 4x10 + tapping	91%	86%	84%	78%
<i>E_r</i> - 4X10	94%	85%	72%	68%
<i>E_r</i> -Tapping	82%	76%	79%	92%
<i>E_r</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_a</i> - 4X10	86%	89%	71%	73%
<i>E_a</i> - Tapping	79%	85%	82%	81%
<i>E_a</i> - 4x10 + tapping	91%	86%	84%	78%
<i>E_r</i> - 4X10	94%	85%	72%	68%
<i>E_r</i> -Tapping	82%	76%	79%	92%
<i>E_r</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_a</i> - 4X10	86%	89%	71%	73%
<i>E_a</i> - Tapping	79%	85%	82%	81%
<i>E_a</i> - 4x10 + tapping	91%	86%	84%	78%
<i>E_r</i> - 4X10	94%	85%	72%	68%
<i>E_r</i> -Tapping	82%	76%	79%	92%
<i>E_r</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_a</i> - 4X10	86%	89%	71%	73%
<i>E_a</i> - Tapping	79%	85%	82%	81%
<i>E_a</i> - 4x10 + tapping	91%	86%	84%	78%
<i>E_r</i> - 4X10	94%	85%	72%	68%
<i>E_r</i> -Tapping	82%	76%	79%	92%
<i>E_r</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%

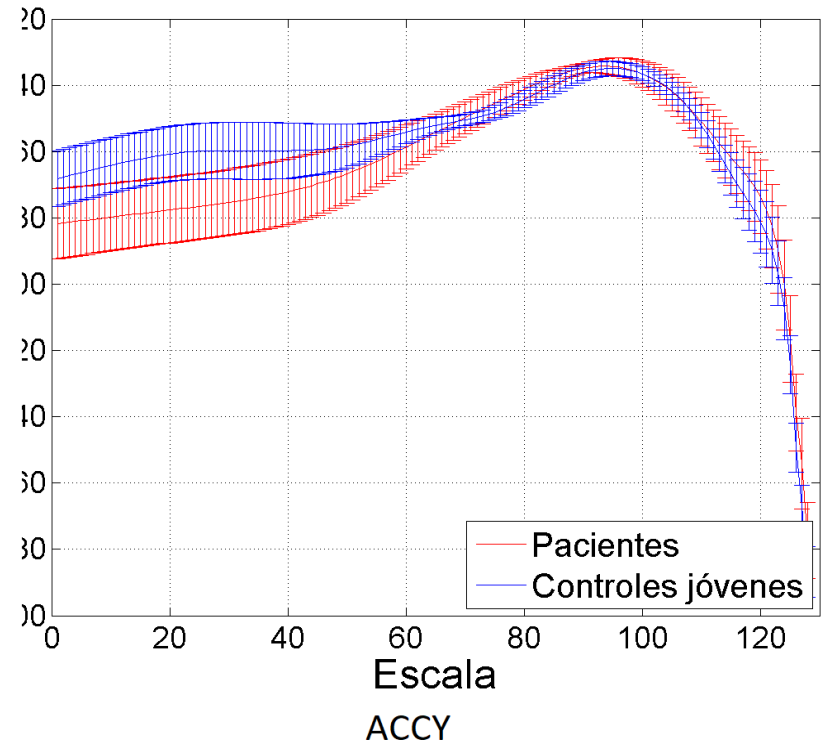
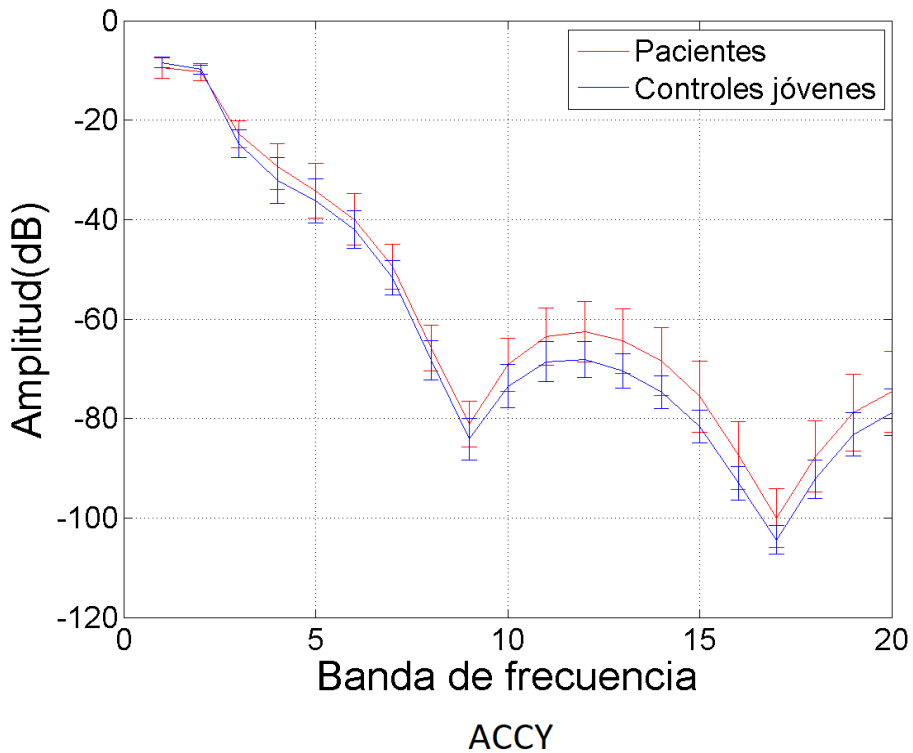
Resultados y análisis

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%

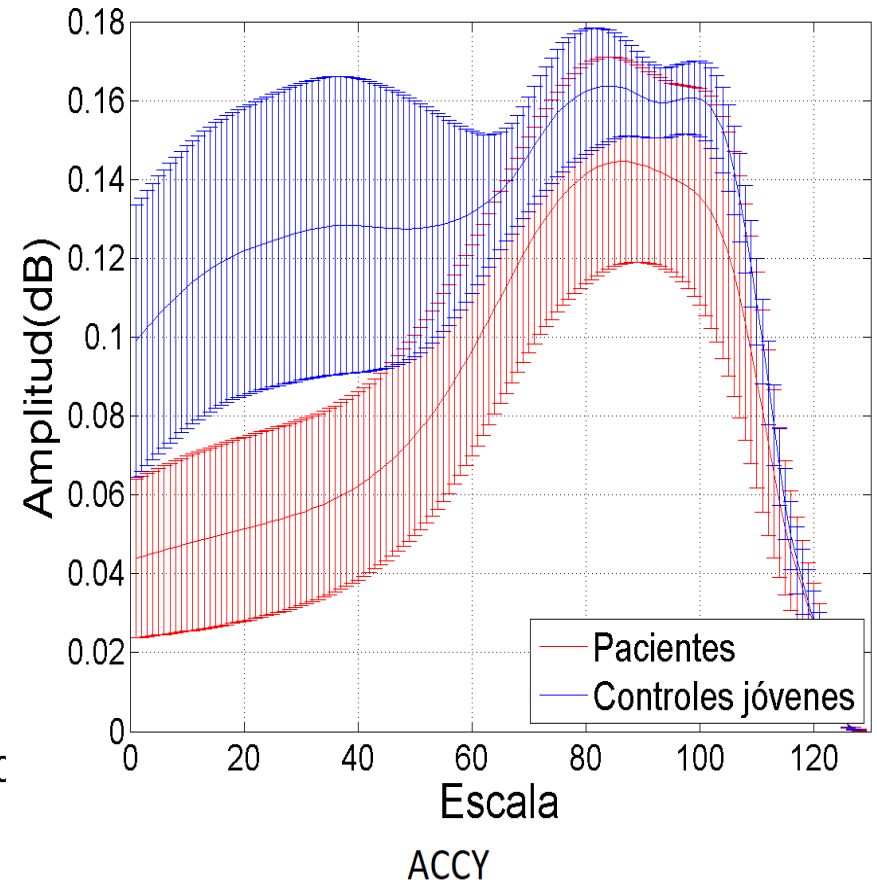
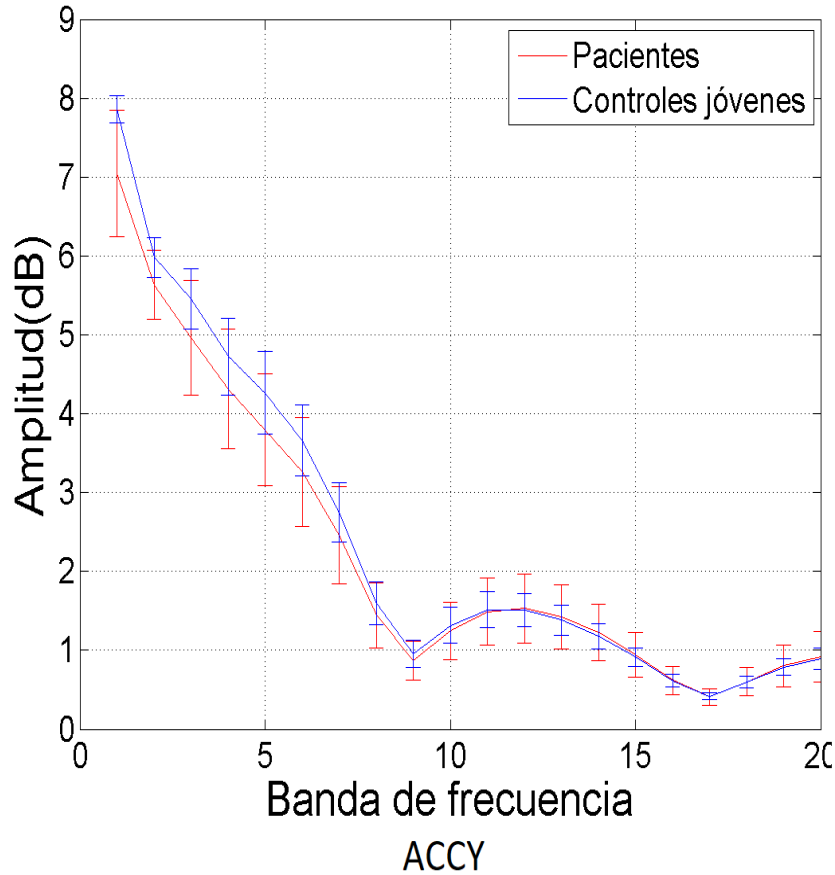
Resultados y análisis

Evaluación de características-Energía relativa



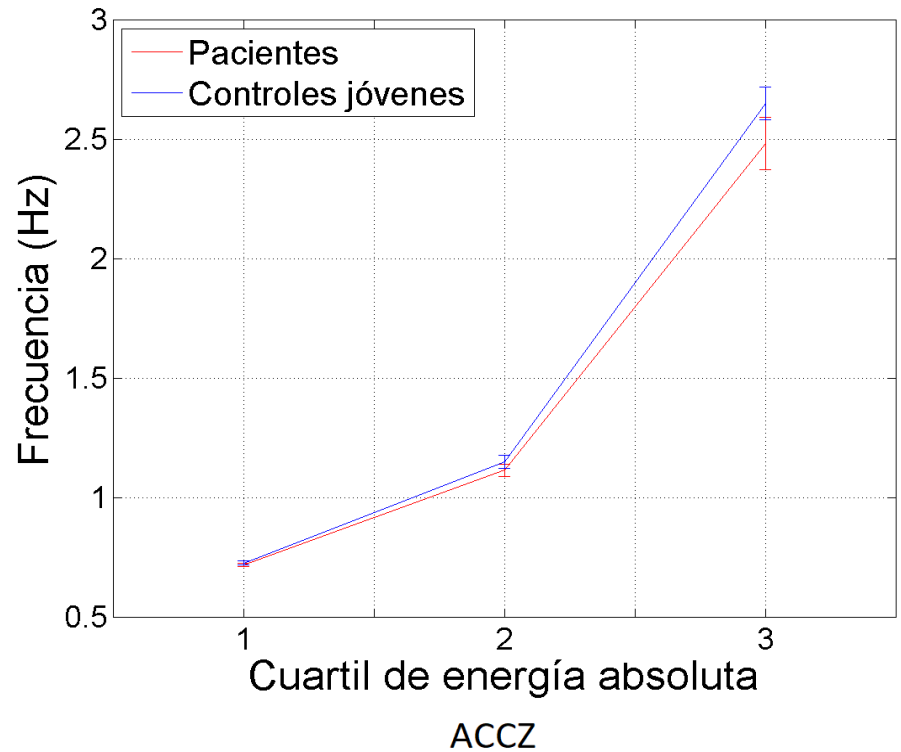
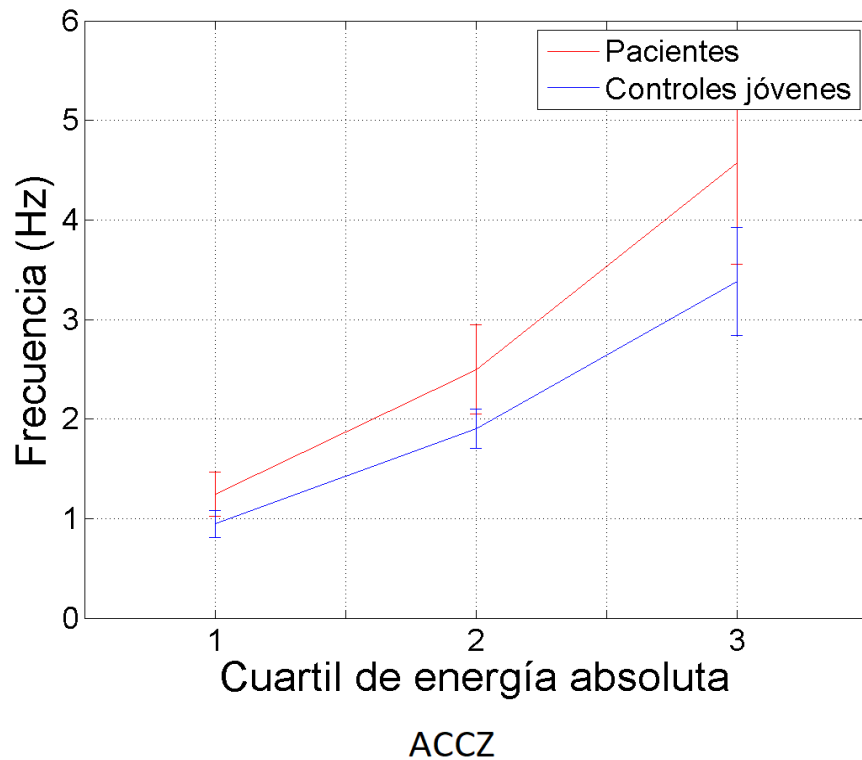
Resultados y análisis

Evaluación de características-Entropía espectral



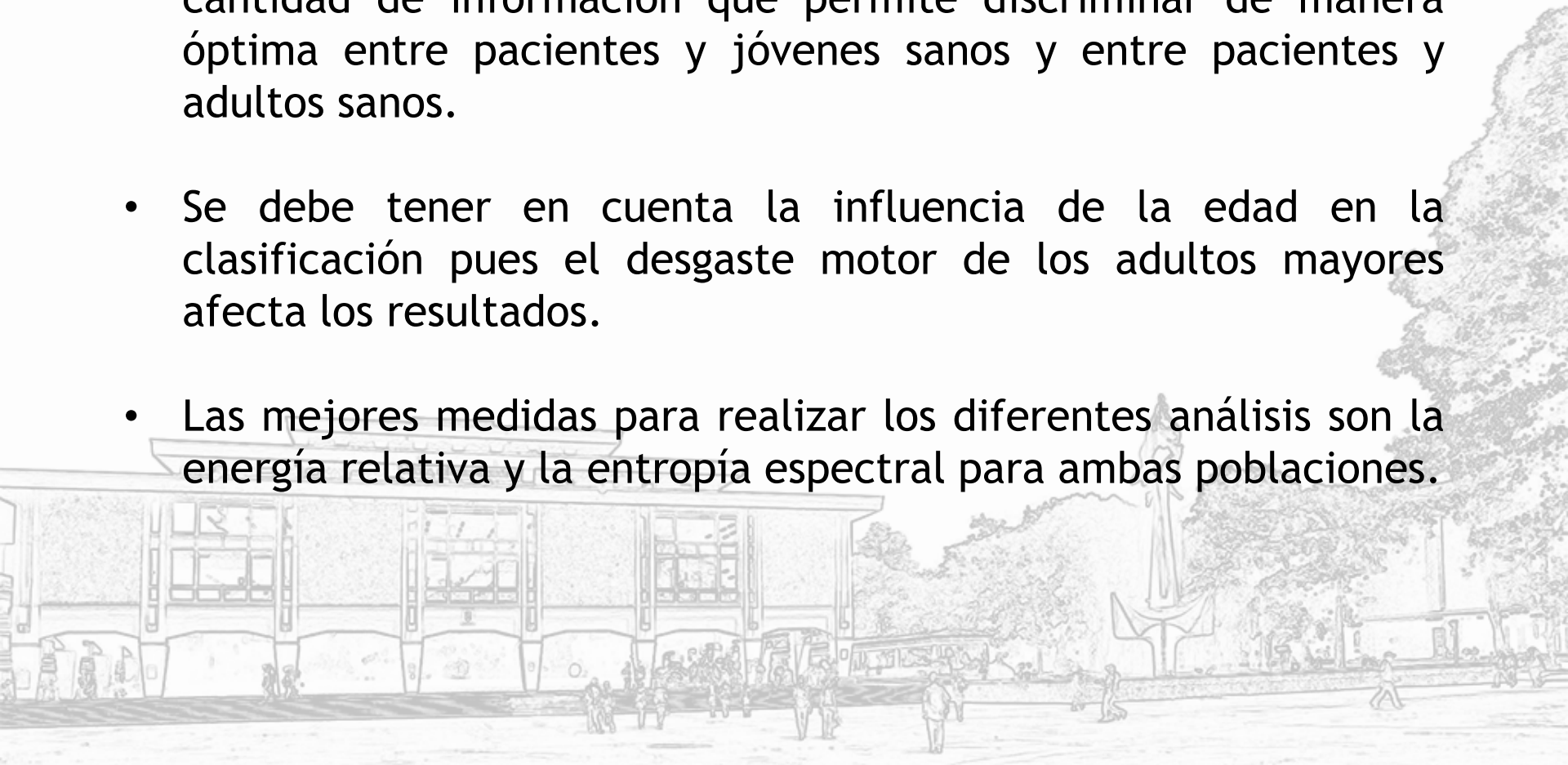
Resultados y análisis

Evaluación de características-Centroides espectrales



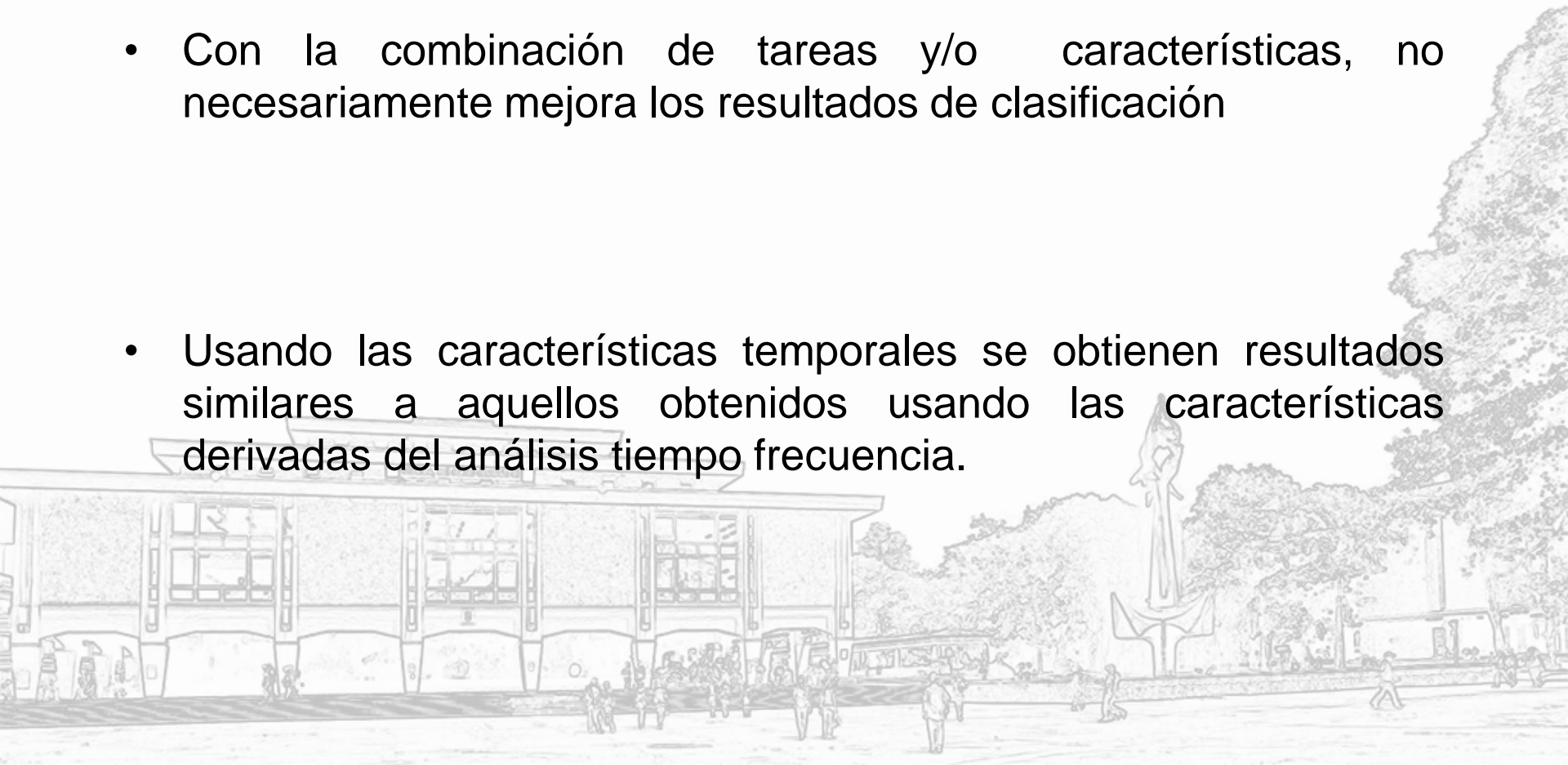
Conclusiones

- 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.



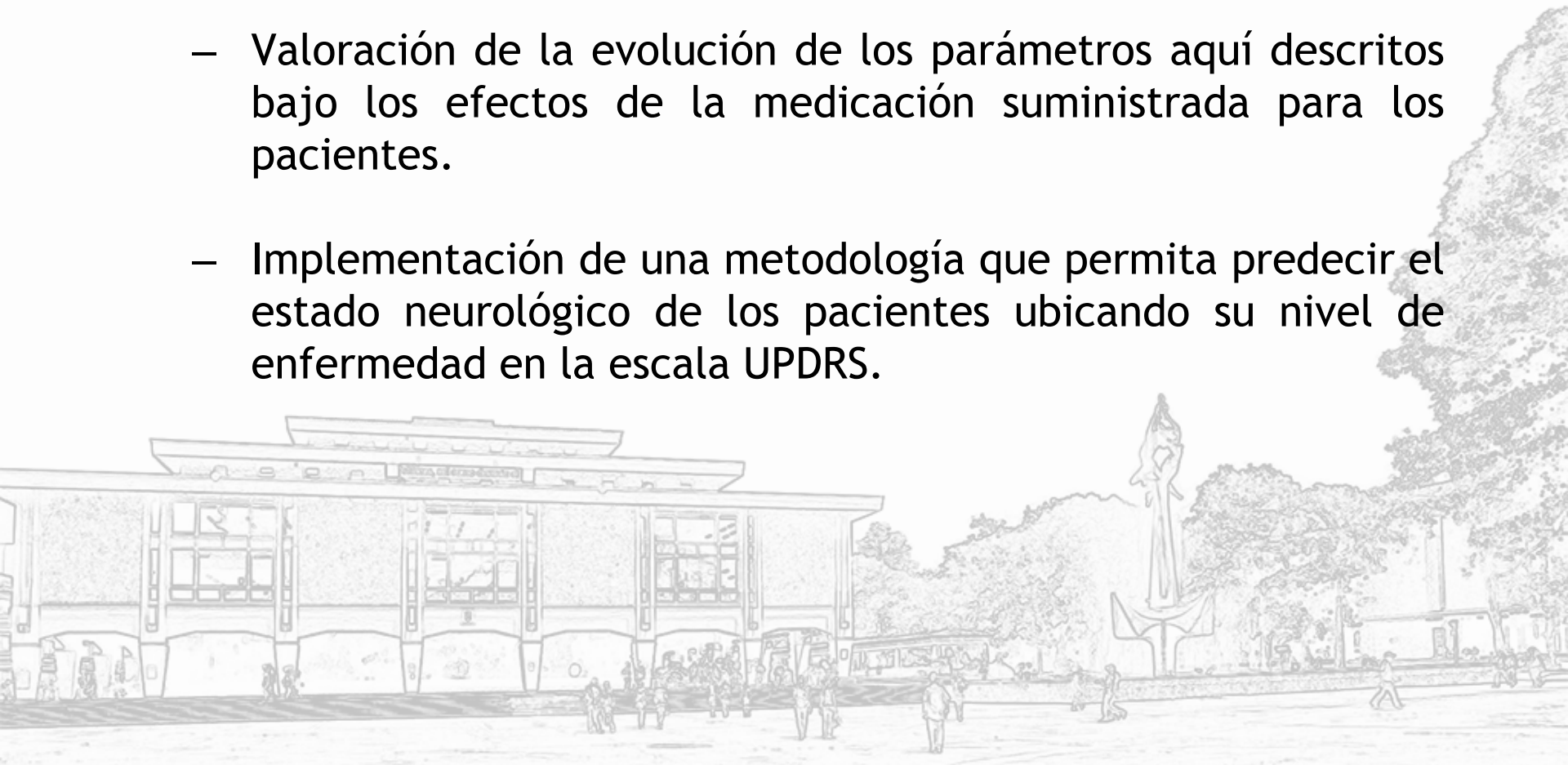
Conclusiones

- 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.



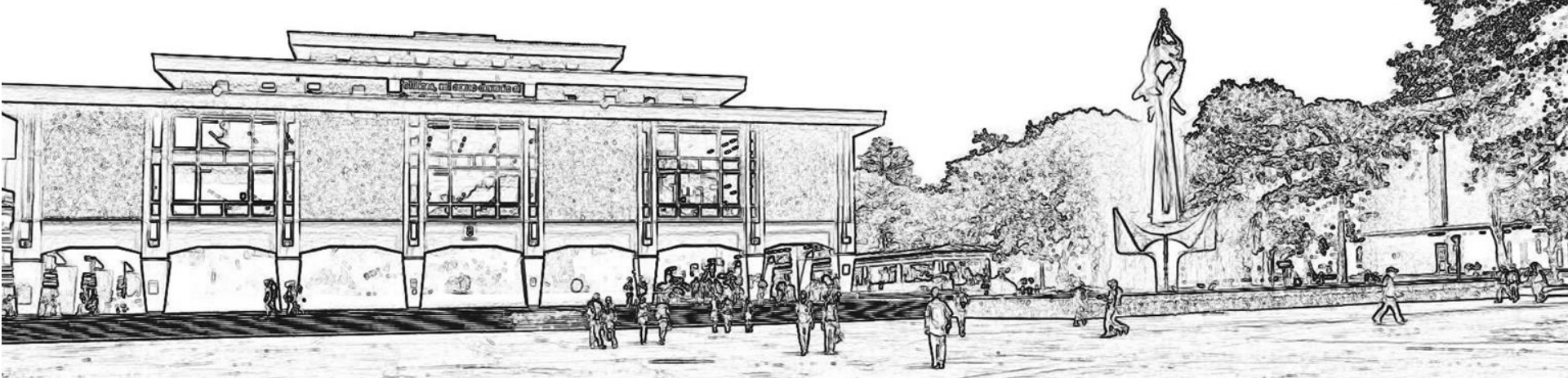
Preguntas???





1803

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA



GRACIAS!!!!