



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CHILE

---

# Proyecto final

# Detección de tempo en grabaciones de audio de piezas clásicas para violín

curso: Audición por Computador

---

Presenta: Camila Vera Villa  
junio, 2022

# Introducción y justificación del problema



La estimación de tempo y extracción de información de beats es una tarea que sigue siendo desafiante, sobre todo en música no percusiva, con onsets suaves y con tempo variante.

- El tempo y el beat, son relevantes para entender cualquier pieza musical y es una de las características que el oyente musical puede reconocer de manera casi intuitiva
- La extracción de beat y tempo es un tópico central en el campo del music information retrieval.

# Italian Tempo Indicators

## Detección de tempo

- *Grave* – slow and solemn (20–40 BPM)
- *Lento* – slowly (40–45 BPM)
- *Largo* – broadly (45–50 BPM)
- *Adagio* – slow and stately (literally, “at ease”) (55–65 BPM)
- *Adagietto* – rather slow (65–69 BPM)
- *Andante* – at a walking pace (73–77 BPM)
- *Moderato* – moderately (86–97 BPM)
- *Allegretto* – moderately fast (98–109 BPM)
- *Allegro* – fast, quickly and bright (109–132 BPM)
- *Vivace* – lively and fast (132–140 BPM)
- *Presto* – extremely fast (168–177 BPM)
- *Prestissimo* – even faster than Presto (178 BPM and over)

toplayalong.com

Violin

## I. Allegro

from *Eine Kleine Nachtmusik*

W. A. Mozart



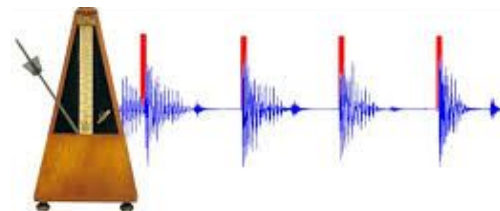
# Objetivo y pregunta de investigación

## Objetivo

Crear un identificador de tempo de piezas musicales clásicas para violín a partir de archivos audios.

## Pregunta de investigación

¿Se puede determinar la categoría de tempo (italian tempo indicator) a partir de la detección de marcas temporales en los tempogramas de extractos de obras clásicas para violín?





# Datos

- Dataset de creación propia con 9 grabaciones de violín solo (sin acompañamiento).
- Extractos de obras del período barroco romántico, folklore húngaro y rumano.
- Grabaciones con variedad de pulsos.
- Se creó un ground truth de tempo de manera manual para cada pieza con un músico profesional.

**Ejemplo del extracto 4, Rumanish**  
Josef Bernhard Knümann

# MÉTODO

## Conceptos previos

**Tempo:** velocidad o ritmo de una pieza dada y suele medirse en **beats** (pulsaciones) por minuto (o bpm).

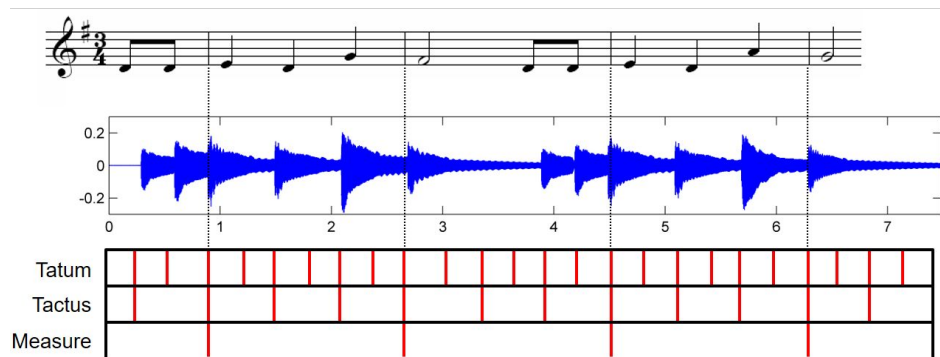
**Beat:** es la **unidad básica de tiempo**, secuencia de pulsos percibidos que están igualmente espaciados en el tiempo.

**Tactus:** nivel de la negra y coincide con el ritmo que marca una persona al escuchar una pieza musical.

**Tatum:** tasa de repetición más rápida de acentos musicalmente significativos que ocurren en la señal.

**Novelty functions:** son funciones que denotan cambios locales en las propiedades de la señal, como la energía o el contenido espectral.

1. Energy-based novelty functions
2. Spectral-based novelty functions



# MÉTODO

Para intentar responder a la P.I, se creó una metodología de 3 pasos:

## (1) Detección de onsets.

Se detecta en qué segmentos temporales aparecen las notas, esto se realizó con el uso de novelty functions, las cuales usan una función que permite destacar alguna de las características que sirvan para representar el tempo de la obra

- Uso de novelty functions de energía y en el espectro.
- Objetivo de las N.F es observar los peaks de la onda y ver donde se maximiza, para esto se utilizó RMSE y Log- Energy
- Estas funciones se calcularon para cada paso temporal de la obra y se usó una función de peak detection que permite mostrar el peak de cada nota y este, el onset.

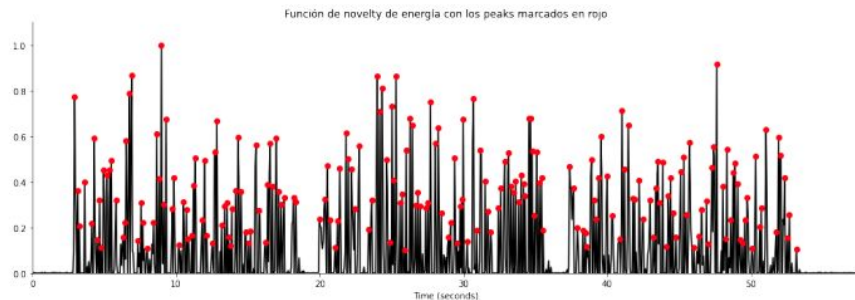


Figura 2: Función de novelty de energía con peaks marcados.

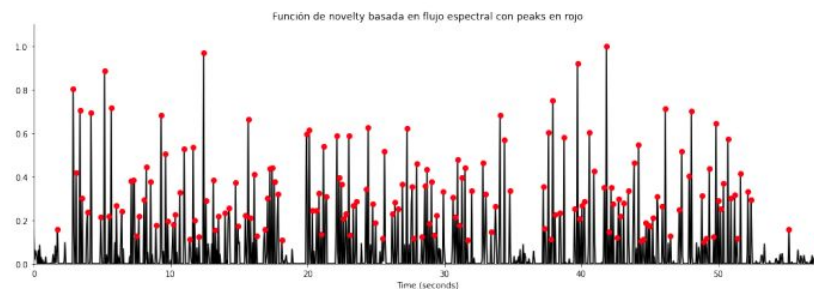


Figura 3: Función de novelty basada en flujo espectral con peaks.

# MÉTODO

## (2) Análisis de tempogramas

Con los onsets detectados en el paso anterior se forman los tempogramas, esta herramienta permite visualizar el tempo de una señal de audio a lo largo de un tiempo X.

- Se utilizaron Fourier Tempograms para detectar periodicidades locales en la curva novelty comparándola con sinusoides en ventana.

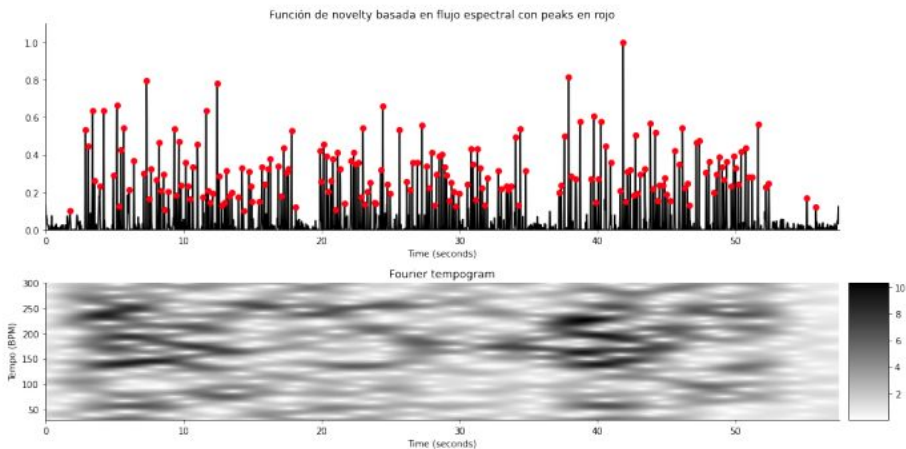


Figura 4: Tempograma extracto de la Aria O. Rieding Op.3 para violín.



# MÉTODO

## (3) Determinación de tempo medio.

Se creó una función de tempo automático que calcula el BPM y la media por fila de cada tempograma (y de cada obra), esto con el objetivo de tener la presencia media del BPM para toda la pieza y asignar el indicador de tempo italiano. Para esto se probaron 2 métodos:

1. Selección de solamente los BPM del percentil 70 o más y luego promediarlos. Este correspondería al tempo en BPM predicho de la obra. El objetivo es predecir el BMP medio con el 30 % de los beats por minuto con mayor presencia de todos los BPM candidatos.
2. Selección de los Top 10 BPM con mayor presencia media a lo largo de toda la obra y calcular el BMP de esta selección. A fin de diversificar los BPM que se presentan de manera correlativa en el tempograma, se decidió redondear los BPM y la media a 1 cifra decimal, de esta manera, se consideran las decenas distintas entre sí.

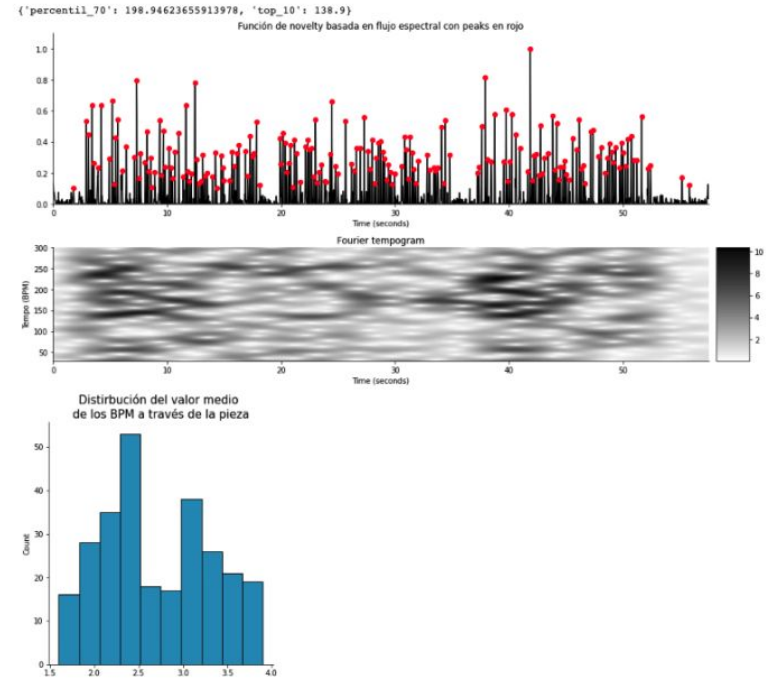


Figura 5: Ejemplo de output de la función de automatización.

# Resultados - discusión

- Para la evaluación del método se utilizó **MAE** y se comparó cada resultado de la detección de tempo con el ground-truth manual y .
- El pulso **Tatum** apareció siempre muy marcado a diferencia del Tactus que se observaron débiles.
- **Para piezas rápidas**, el modelo funciona bien utilizando directamente la segunda aproximación.
- **Para piezas lentas**, el método funciona mejor el Tatum, también utilizando la segunda aproximación, pero en estos casos la predicción se dividió por 2 ya que corresponde a los armónicos del tiempo. Esto generalmente en BPM menores a 120.

# Conclusiones

- Es posible determinar la categoría del tempo a partir de marcas temporales de los tempogramas, sin embargo, su exactitud depende posiblemente de la distribución de la señal.
- Tal como se explicita en la literatura, es complejo determinar un tempo absoluto debido a que es un concepto subjetivo y dependiente de la interpretación de los músicos y de los oyentes.
- El modelo no funciona tan bien con piezas muy lentas.
- Trabajo futuro, verificar si las distribuciones de las obras pueden indicar qué aproximación de las propuestas funciona mejor.



# Bibliografía

- M. Alonso, B. David, and G. Richard, "Tempo and beat estimation of musical signals," 10 2004.
- P. Grosche and M. Muller, "Extracting Predominant Local Pulse Information From Music Recordings," in IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, vol. 19, no. 6, pp. 1688-1701, Aug. 2011, doi: 10.1109/TASL.2010.2096216.
- M. Miller, Fundamentals of Music Processing: Audio, Analysis, Algorithms, Applications. Springer Publishing Company, Incorporated, 1st ed., 2015.
- P. Grosche and M. Müller, "Tempogram toolbox: Matlab implementations for tempo and pulse analysis of music recordings," in Proceedings of the 12th International Conference on Music Information Retrieval (ISMIR), Miami, FL, USA, (Miami, FL, USA), pp. 24-28, 2011.
- P. Grosche, M. Müller, and C. Sapp, "What makes beat tracking difficult? a case study on chopin mazurkas," pp. 649-654, 01 2010.