

# Un modelo de claridad de pulso en el tiempo: hacia la inspección de sensaciones en respuesta a expectativas

Martin A. Miguel<sup>1,2</sup> Mariano Sigman<sup>3</sup> Diego Fernandez Slezak<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Computación. Buenos Aires, Argentina <sup>2</sup>CONICET-Universidad de Buenos Aires. Instituto de Investigación en Ciencias de la Computación (ICC). Buenos Aires, Argentina <sup>3</sup>Laboratorio de Neurociencia Integrativa. Universidad Torcuato Di Tella. Buenos Aires, Argentina.

Te lo resumo así nomás

## Previamente en...

- Teorías de cómo la música genera **sensaciones** proponen que estas surgen con **expectativas no cumplidas** [Meyer, 1956, Huron, 2006].
- En ritmos, la primer expectativa es el pulso (o tactus) [Povel and Essens, 1985].
- La **claridad de pulso** y **complejidad rítmica** son medidas previamente relacionadas con sensación en musica [Witek et al., 2014, Trost et al., 2015].
- Las expectativas musicales se desarrollan en el tiempo. La mayoría de los modelos de complejidad rítmica no permiten ver su evolución en el tiempo.

## Lo Nuevo

### Nuestro objetivo:

- Tener un modelo de **claridad del pulso** que se desarrolle en el tiempo.
- Presentamos un modelo de **seguimiento del pulso** de un ritmo basado en agentes llamado **THT**.
  - El model funciona de forma **causal** y provee una métrica sobre la **certeza** del pulso inferido a lo largo del tiempo.
  - La métrica debería ser proxy de la **claridad del pulso** del estímulo.

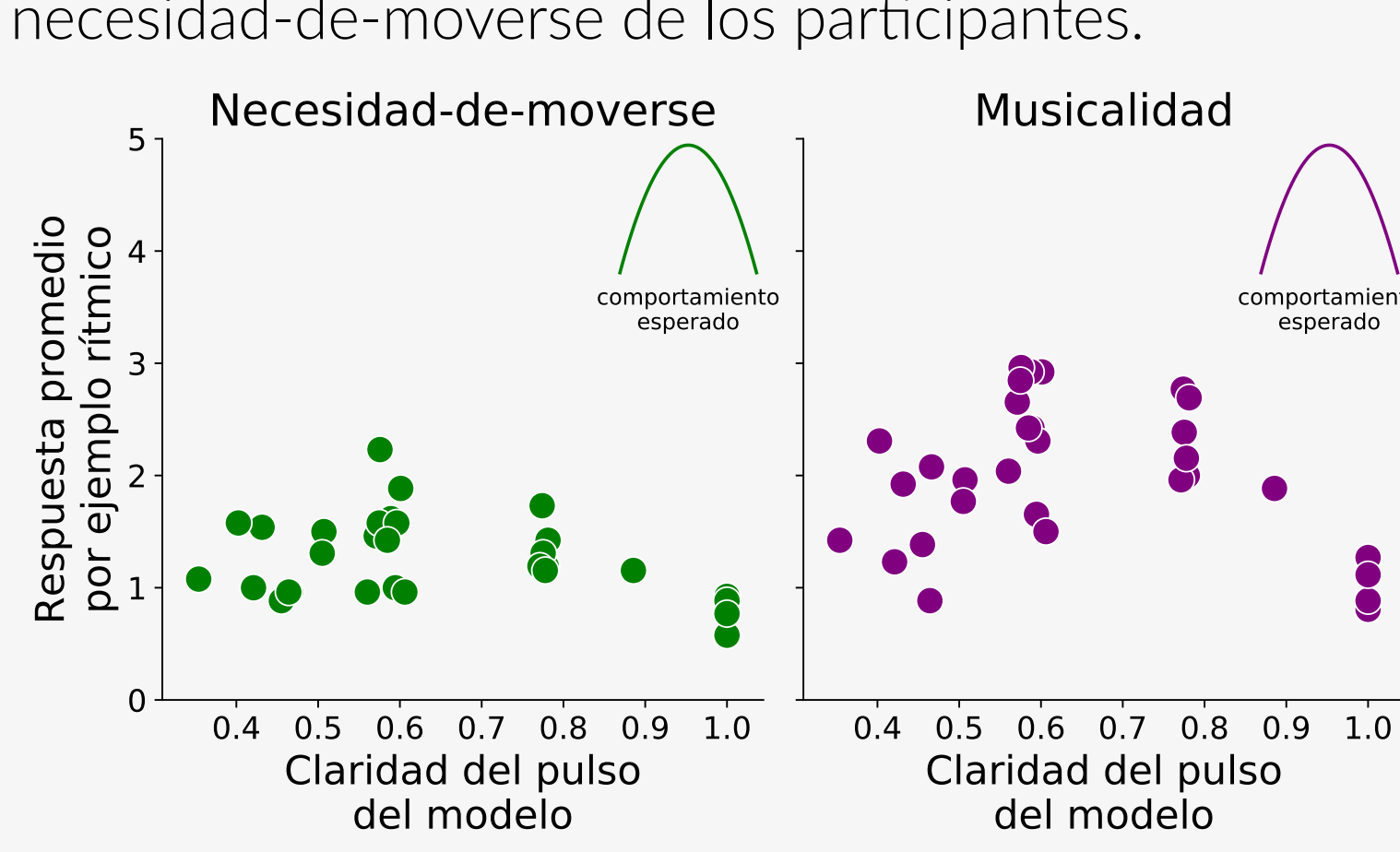
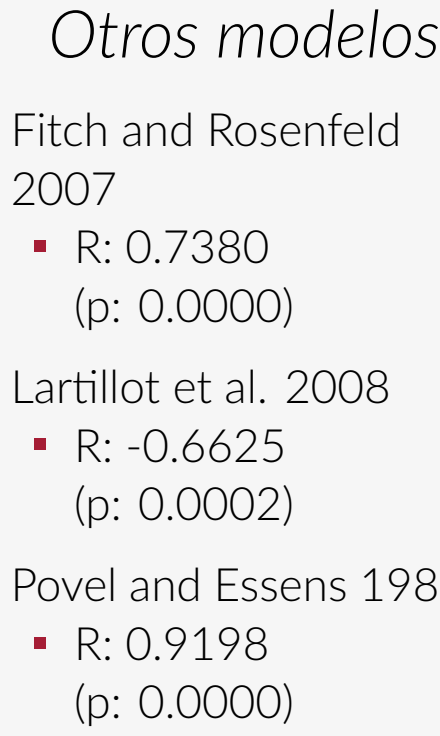
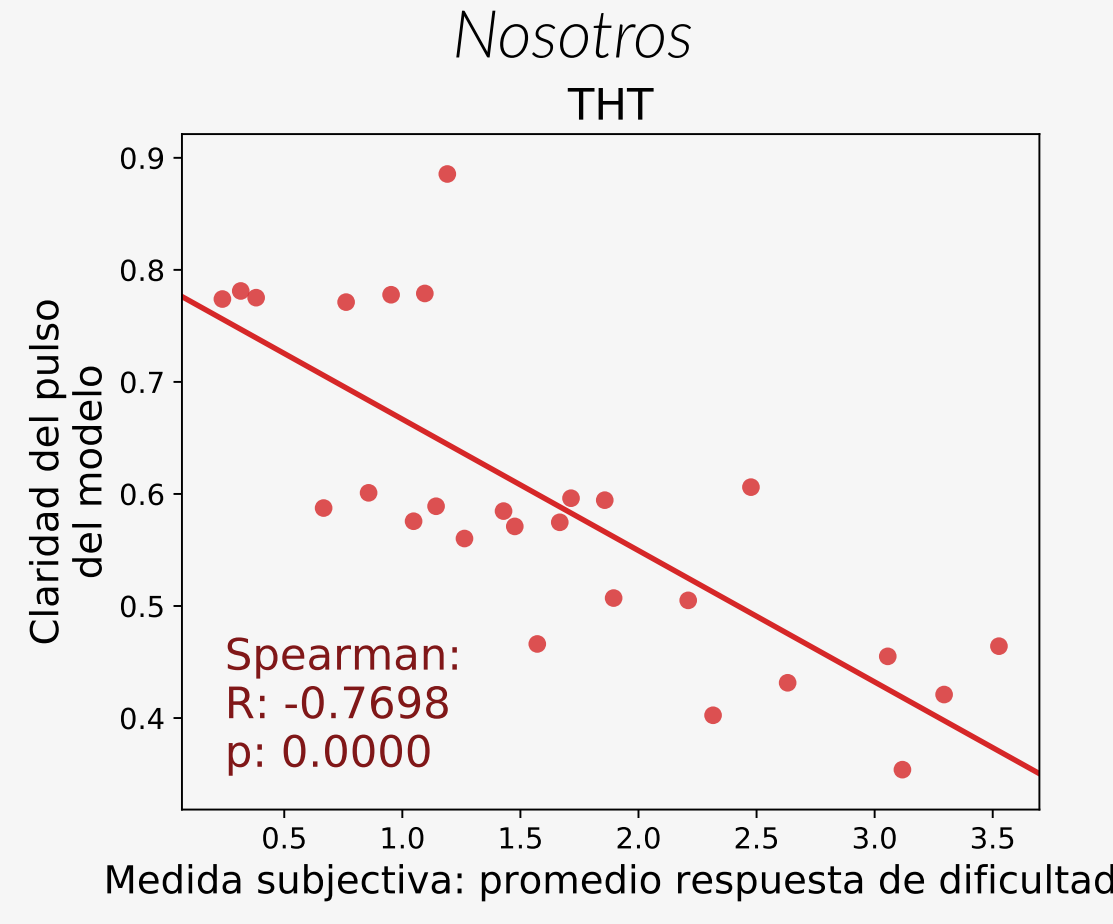
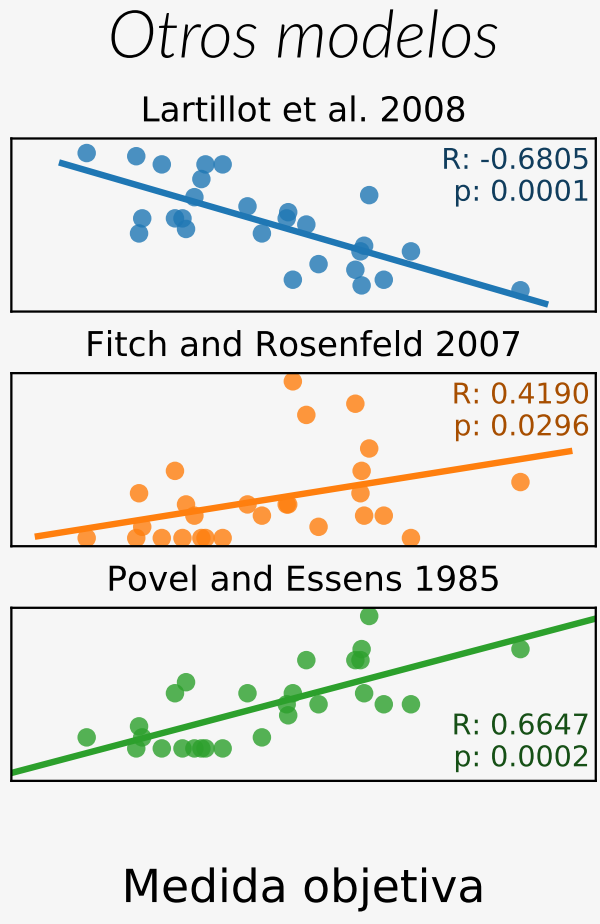
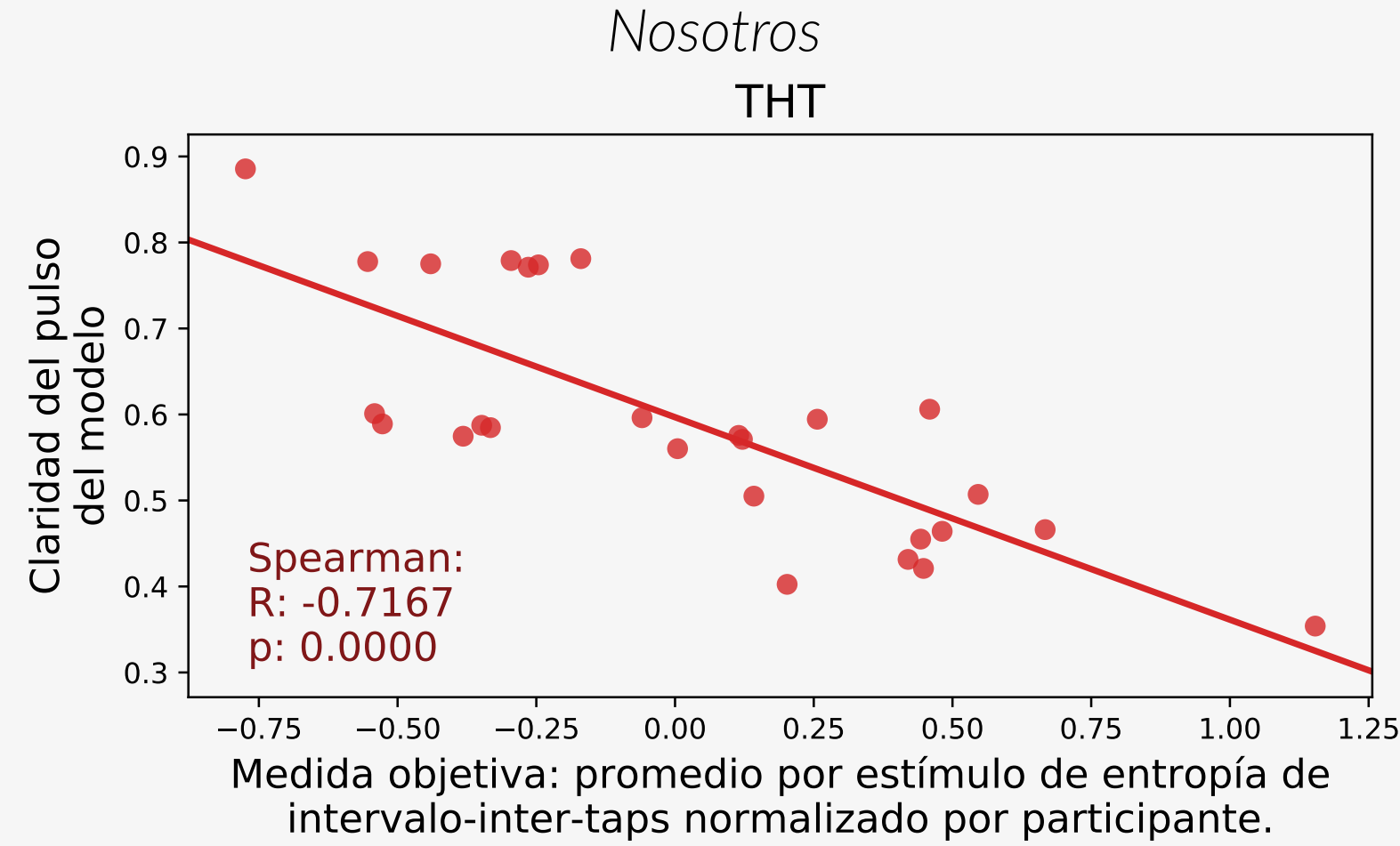
## ¿Anduvo?

- Evaluamos claridad del pulso global para poder comparar con otros modelos.
- Realizamos un **experimento** donde participantes marcaban el pulso mientras escuchaban patrones rítmicos.
- Medimos la **dificultad de marcar el pulso** mediante una pregunta (medida **subjetiva**) y analizando la precisión del tapping (medida **objetiva**).
- Nuestra métrica de **claridad del pulso** correlacionó significativamente con los resultados experimentales. Además mostró una relación en **forma de U** con las respuestas respecto de la **musicalidad** de los ejemplos rítmicos.

La medida de claridad de THT correlaciona significativamente con la dificultad de tapping subjetiva.

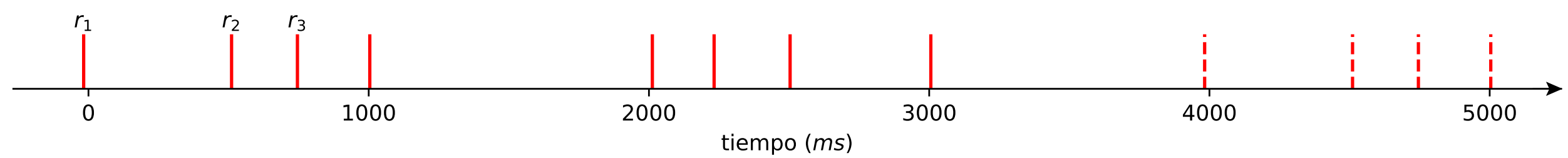
La medida de claridad de THT correlaciona significativamente con la dificultad de tapping objetiva.

La medida de claridad de THT muestra una relación en forma de U con los reportes de musicalidad y la necesidad-de-moverse de los participantes.



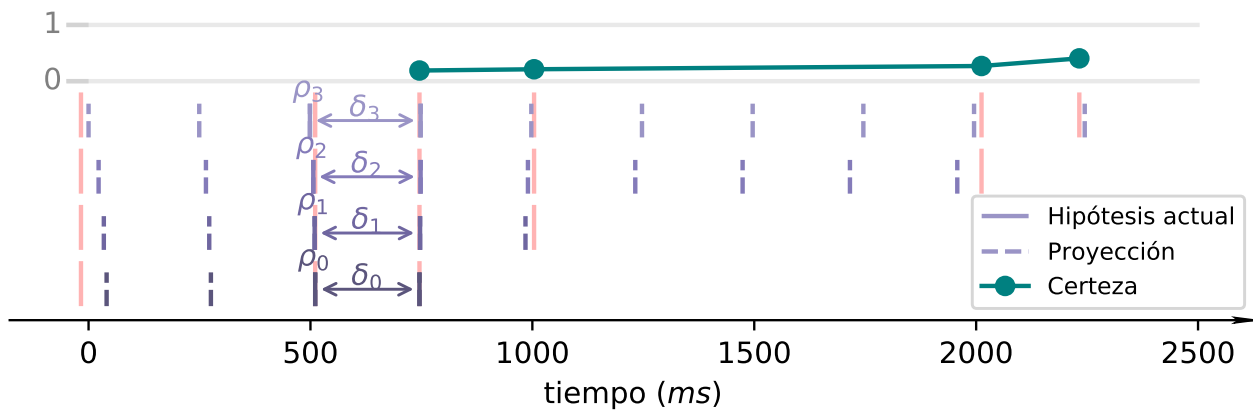
## El Modelo

Entrada:  $(r_{1..N})$  secuencia de eventos en  $ms$



Salida: conjunto  $H = ht_j$  de **hypothesis trackers**

$$ht_j = \left\{ \begin{array}{l} \text{hipótesis actual: } (\rho, \delta) \\ \text{hipótesis históricas: } (\rho_i, \delta_i) \\ \text{puntajes: } (s_i) \end{array} \right\}$$

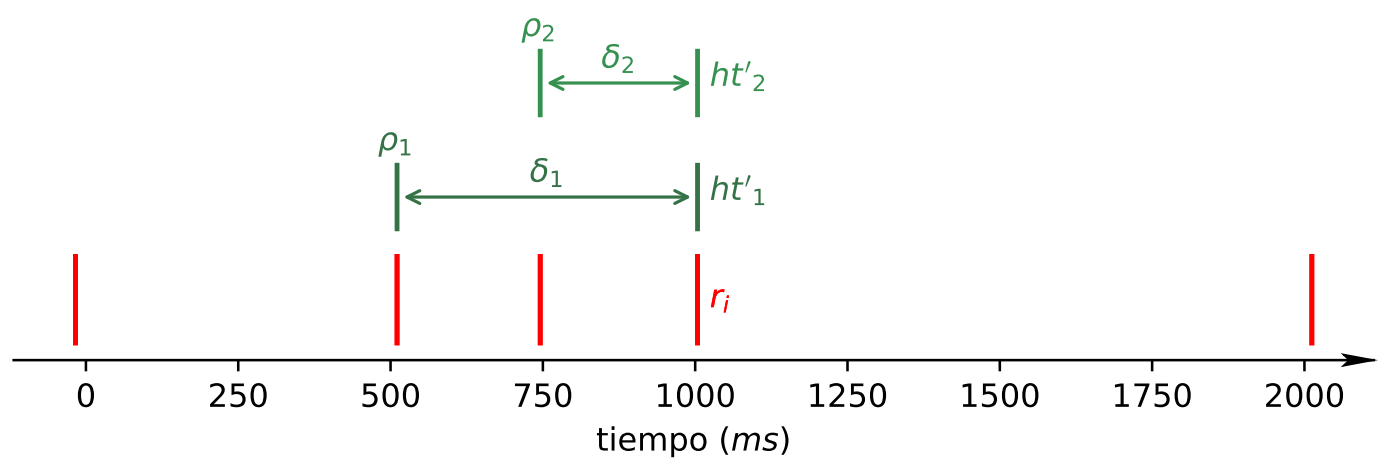


Ciclo Principal

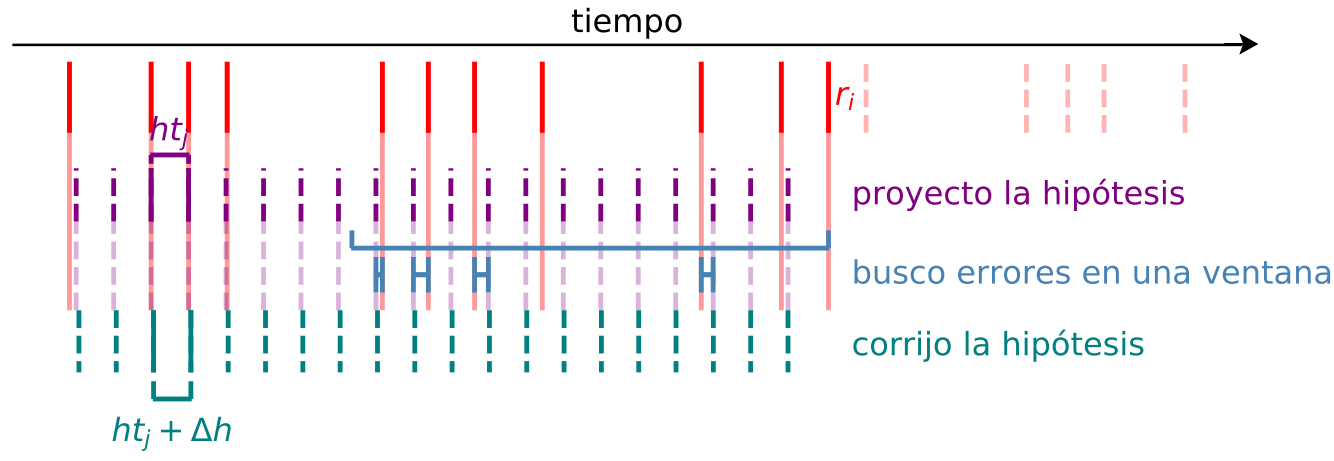
$H = \emptyset$

Para cada evento  $r_i \in (r_{2..N})$ :

$H = H \cup \{ht'_1, ht'_2, \dots\}$  hipótesis nuevas



Corregimos  $ht_j \in H$



Actualizamos los puntajes de  $ht_j \in H$  reflejando la certeza del pulso.

Sacamos similares en  $H$

Puntaje de una hipótesis

- Mide el ajuste de un pulso  $(\rho, \delta)$  al ritmo.
- Está acotado entre 0 y 1.

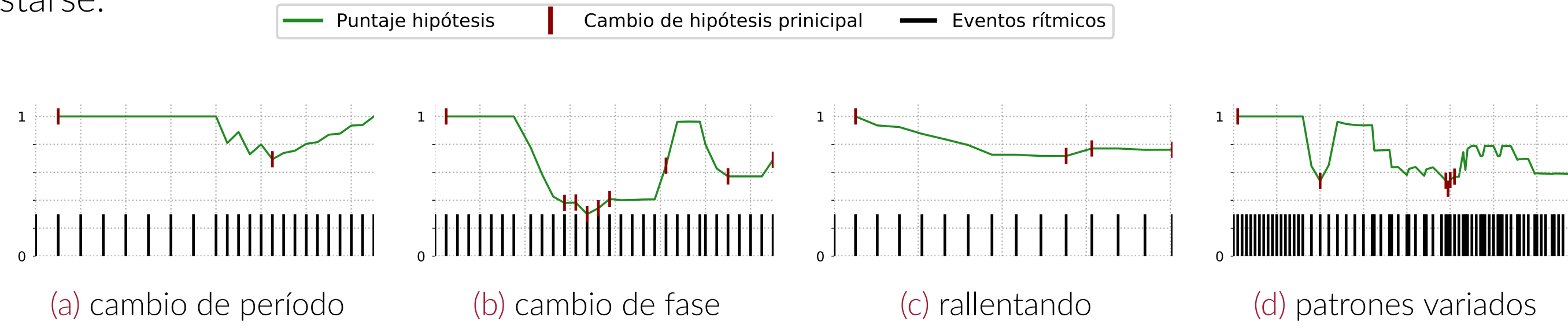
$$\text{conf}((\rho, \delta), (r_i)) = \frac{\text{coincidencia del pulso con la canción}}{\text{cant. repeticiones del pulso}} \times \frac{\text{coincidencia del pulso con la canción}}{\text{cant. eventos de la canción}}$$

## Abstract

Music has a unique capability to evoke emotions. A very interesting one is that of tension. Tension arises in a situation of dissonance and uncertainty that yearns for resolution. This is a kind of affect that develops in time, given that it is dependent on expectations about what will happen next. Specifically in rhythms, two concepts have been explored that relate to the comfort and understanding of music: pulse clarity and rhythm complexity. Several computational models have been introduced to analyze these concepts. In most cases their analysis is static – i.e. full passage is studied – and does not consider how they evolve in time. We present THT, a novel beat tracking model, that given the onset times of a rhythmic passage provides continuous information of which tacti are most reasonable and how salient they are. It works by tracking multiple tactus hypothesis overtime and providing a score designed to reflect confidence on the tactus. In this work we set to evaluate the output of the THT model as a proxy for pulse clarity. The mean of the continuous tactus confidence curve was taken as the pulse clarity score of the model and we performed a beat tapping experiment to evaluate our metric. The experiment consisted of asking participants (N=28) to tap the subjective beat while listening to 33 rhythmic passages. After each trial they were asked about the task's difficulty as a subjective measure of clarity. We also calculated the within-subject tapping clarity as an empirical measurement. The proposed computational metric correlated significantly against both subjective and objective measures (spearman  $r < -0.71$ ,  $p < 0.001$ ). Comparison with other models yielded similar results (Lartillot 2008, Fitch 2007, Povel 1985). This positive result allows us to inspect music emotions that arise from changes in rhythm perception.

## Comportamiento del modelo

El puntaje de la hipótesis principal cae cuando cambia el escenario rítmico y la hipótesis cambia para ajustarse.



Calculamos la **claridad del pulso** como el promedio del puntaje de la mejor hipótesis.

Comparamos la capacidad de seguir el pulso de THT con otro modelo reconocido en el dataset de entrenamiento MIREX.

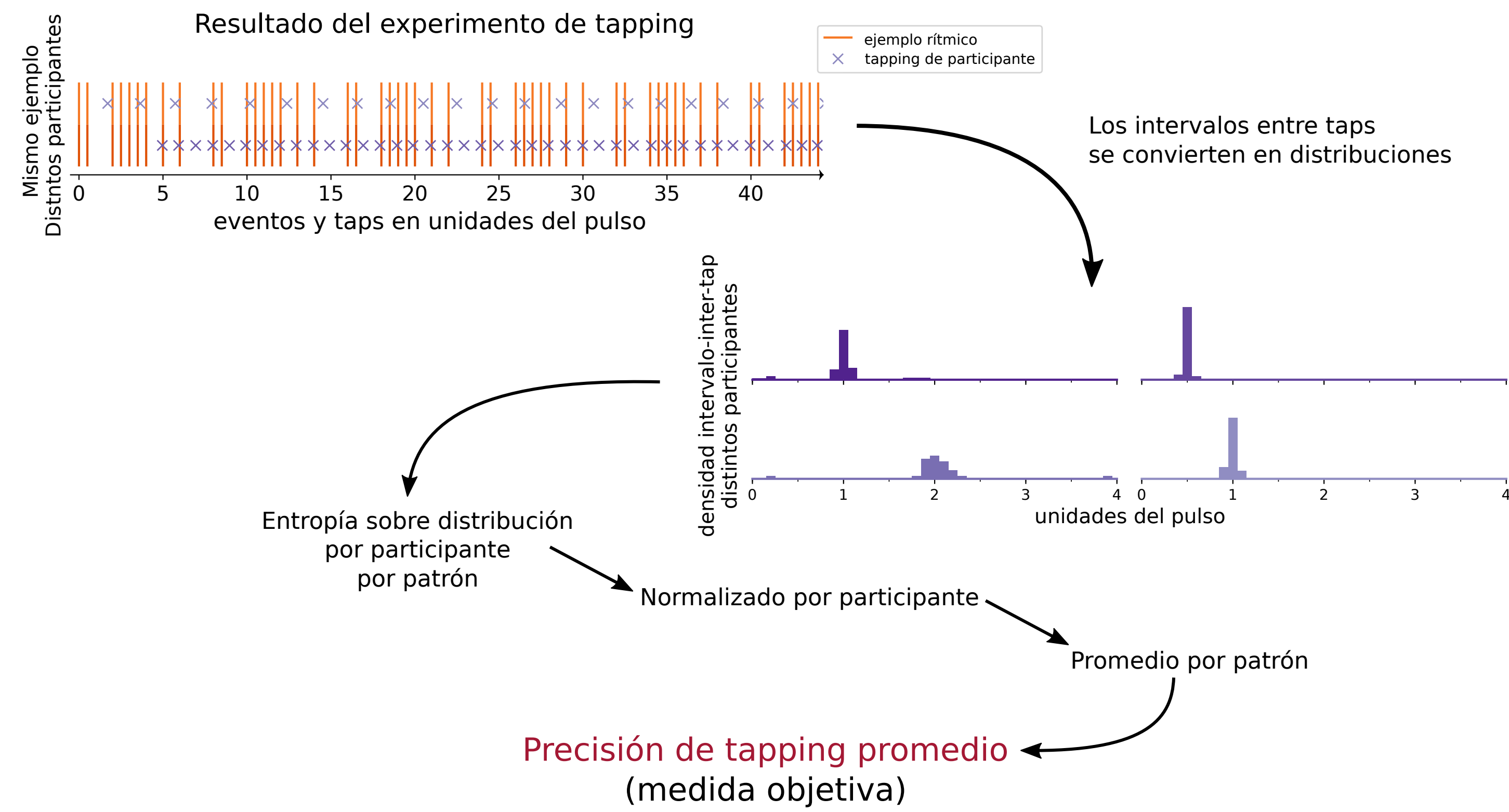
| Métricas/Modelos         | THT    | Dixon 2007 |
|--------------------------|--------|------------|
| Cemgil                   | 0.3231 | 0.3910     |
| Cemgil Best Metric Level | 0.4500 | 0.4695     |
| P-score                  | 0.4661 | 0.5725     |

- Los puntajes se asemejan aunque son inferiores.
- El modelo comparado no es causal (mira el futuro).
- Una de las principales diferencias es la elección de nivel del pulso de THT.

## El Experimento

Tarea: marcar el pulso libremente escuchando ejemplos rítmicos de dificultad variada.

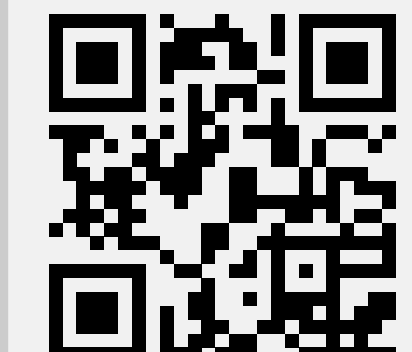
- 28 participantes (8 mujeres)
- 28.5 años de edad promedio (8.15 sd)
- 4.43 años de entrenamiento musical promedio (3.81 sd)
- 33 estímulos rítmicos



## References

- S. Dixon. Evaluation of the audio beat tracking system beatroot. **Journal of New Music Research**, 36(1):39–50, 2007.
- W. T. Fitch and A. J. Rosenfeld. Perception and production of syncopated rhythms. **Music Perception: An Interdisciplinary Journal**, 25(1):43–58, 2007.
- D. B. Huron. **Sweet anticipation: Music and the psychology of expectation**. MIT press, 2006.
- O. Lartillot, T. Eerola, P. Toiviainen, and J. Fornari. Multi-feature modeling of pulse clarity: Design, validation and optimization. In **ISMIR**, pages 521–526. Citeseer, 2008.
- L. B. Meyer. Emotion and meaning in music. 1956. **for an important attempt to distinguish image processes, connotations, moods, and affective experience in the apprehension of musical phenomena**, pages 256–272, 1956.
- D.-J. Povel and P. Essens. Perception of temporal patterns. **Music Perception: An Interdisciplinary Journal**, 2(4):411–440, 1985.
- W. Trost, S. Fröhholz, T. Cochrane, Y. Cojan, and P. Vuilleumier. Temporal dynamics of musical emotions examined through intersubject synchrony of brain activity. **Social cognitive and affective neuroscience**, 10(12):1705–1721, 2015.
- M. A. Witek, E. F. Clarke, M. Wallentin, M. L. Ringelbach, and P. Vuust. Syncopation, body-movement and pleasure in groove music. **PLoS one**, 9(4):e94446, 2014.

## Poster en una foto

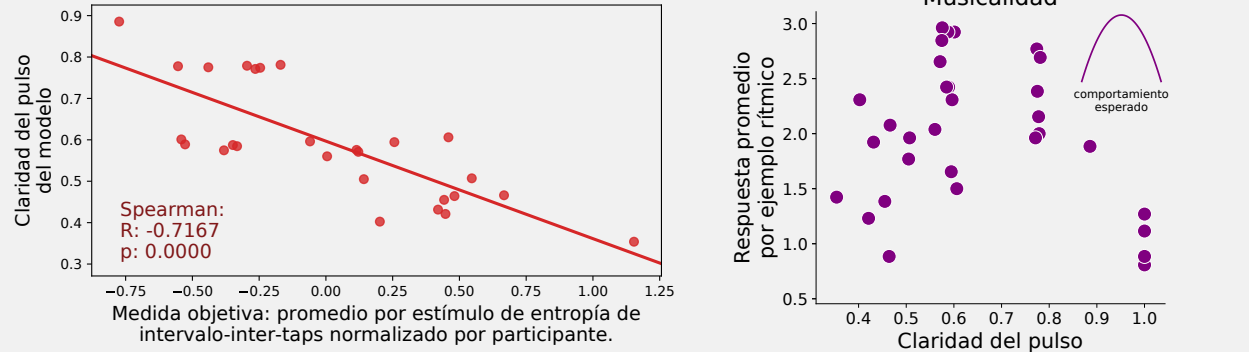


Un modelo de complejidad rítmica en el tiempo

Presentamos un modelo de seguimiento de pulso - THT - que produce una métrica de **claridad de pulso** en el tiempo. La métrica correlaciona con **dificultad de tapping** experimental y presenta una relación en **forma de U** con **musicalidad del ritmo**.

[http://cor.to/mmiguel\\_eci2019](http://cor.to/mmiguel_eci2019)

Principales Resultados



Martin Miguel - ECI 2019 - mmiguel@dc.uba.ar

