

Psicoacústica en oyentes humanos y artificiales:

Ventajas y precauciones al comparar mediciones  
y simulaciones en paradigmas experimentales de  
detección de sonidos

Alejandro Osses V., PhD

alejandro.osses@ugent.be

# Agenda

- De acústico a psicoacústico
- Qué es psicoacústica
- Psicoacústica en la acústica
  - Modelo de sonoridad
  - Otros indicadores psicoacústicos
- Procedimientos experimentales
  - Paradigmas *m*-AFC
  - Simulación de enmascaramiento
  - Simulación de otros problemas no lineales
- Buenas prácticas para el uso de simulaciones

# De acústico a psicoacústico

2003-2010 Ingeniero civil en sonido y acústica del VIPRO (actual INACAP)

**Tesis:** “Analizador de espectro psicoacústico”

Supervisión: Víctor Espinoza, Hernán Ángel

“Muy buenas influencias”: Rodolfo Venegas, Jaime Undurraga

2010-2012 Consultor acústico en Acustical S.A. y Control Acústico

Participación en congresos nacionales e internacionales, entre ellos, INGEACUS 2011

Christian Gerard, Max Glisser, Ricardo Guzmán, Claudio Albornoz

2011-2012 Catedrático en Universidad Tecnológica de Chile INACAP

“Introducción a la ingeniería en acústica”, “Acústica submarina”

Cristián Jiménez y muchas otras personas

# De acústico a psicoacústico

(Foro por email en temas auditivos: [www.auditory.org](http://www.auditory.org))

2012-2014 Univesidad Católica de Leuven (KUL), Leuven, Bélgica

**Tesis:** “Evaluation of a real-time implementation of an explicit pitch coding strategy for cochlear implants”

Supervisión: Prof. Jan Wouters.

Ciudad de Stella Artois, donde se jugaron los últimos dos partidos de la selección belga de fútbol

2014-2018 Eindhoven University of Technology (TU/e), Eindhoven, Holanda

**Tesis:** “Prediction of perceptual similarity based on time-domain models of auditory perception”. Supervisión: Prof. Armin Kohlrausch.

Ciudad de fundación de Phillips, donde se inventaron los CD y donde juega PSV (Ronaldo, van Nistelrooy, Götze)

2018- Ghent University (UGent), Gante, Bélgica

**Tema:** Simulación de los efectos perceptuales de la pérdida auditiva  
Hearing Technology group (Prof. Sarah Verhulst)

Ciudad donde nació Carlos V (Carlos I de España)

# Psicoacústica

- Estudia cómo los sonidos son percibidos: “Interacción con nuestro entorno”



- El sistema auditivo es muy complejo e interesante:

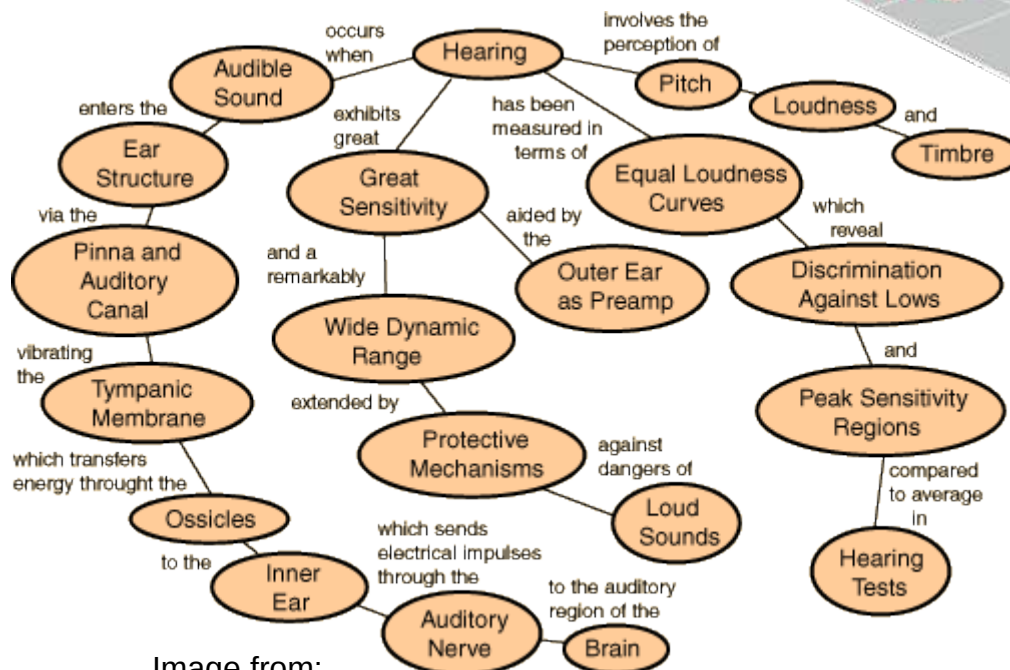


Image from:

[http://www.logtaudio.nl/audio\\_perception/audio\\_perception.htm](http://www.logtaudio.nl/audio_perception/audio_perception.htm)

# Psicoacústica en la acústica

- Somos oyentes humanos: la medición de niveles sonoros debería basarse en criterios psicoacústicos
- De hecho, las curvas de ponderación integran criterios psicoacústicos... Un excelente artículo (Houser et al. 2017, JASA):

## **A review of the history, development and application of auditory weighting functions in humans and marine mammals**

Dorian S. Houser,<sup>1</sup> William Yost,<sup>2</sup> Robert Burkard,<sup>3</sup> James J. Finneran,<sup>4</sup>  
Colleen Reichmuth,<sup>5</sup> and Jason Mulsow<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*National Marine Mammal Foundation, 2240 Shelter Island Drive, Suite 200, San Diego, California 92106, USA*

<sup>2</sup>*Speech and Hearing Science, Arizona State University, Tempe, Arizona 85287, USA*

<sup>3</sup>*Department of Rehabilitation Science, University at Buffalo, 510 Kimball Tower, Buffalo, New York 14214, USA*

<sup>4</sup>*United States Navy Marine Mammal Program, Space and Naval Warfare Systems Center Pacific, Code 71510, 53560 Hull Street, San Diego, California 92152, USA*

<sup>5</sup>*Institute of Marine Sciences, Long Marine Laboratory, University of California Santa Cruz, Santa Cruz, California 95060, USA*

(Received 14 September 2016; revised 29 December 2016; accepted 25 January 2017; published online 2 March 2017)

This document reviews the history, development, and use of auditory weighting functions for noise impact assessment in humans and marine mammals. Advances from the modern era of electroacoustics, psychophysical studies of loudness, and other related hearing studies are reviewed with respect to the development and application of human auditory weighting functions, particularly A-weighting. The use of auditory weighting functions to assess the effects of environmental noise on humans—such as hearing damage-risk criteria—are presented, as well as lower-level effects such as annoyance and masking. The article also reviews marine mammal auditory weighting func-

# Psicoacústica en la Acústica: Normas internacionales

- ISO 532:2017 (Parte 1 y 2) – Methods for calculating loudness
- ISO 12913-1:2014 Acoustics – Soundscape – Part 1: Definition and conceptual framework
- ISO/TS 12913-2:2018 Acoustics – Soundscape – Part 2: Data collection and reporting requirements

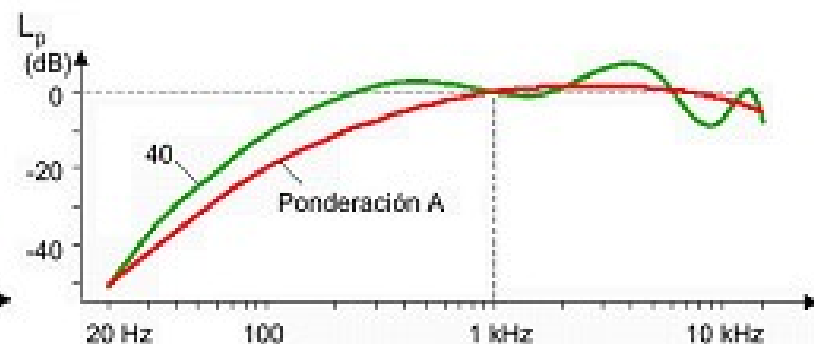
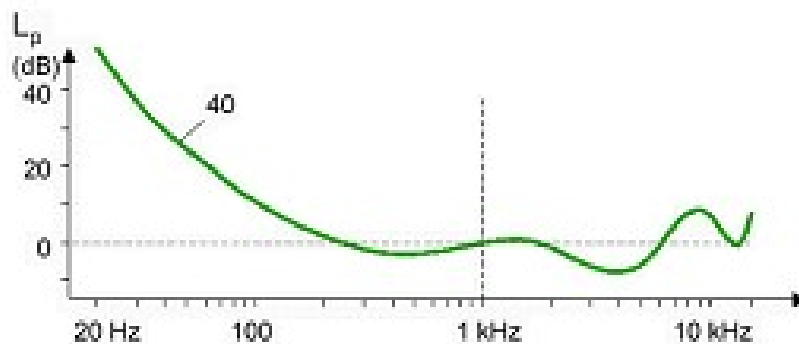
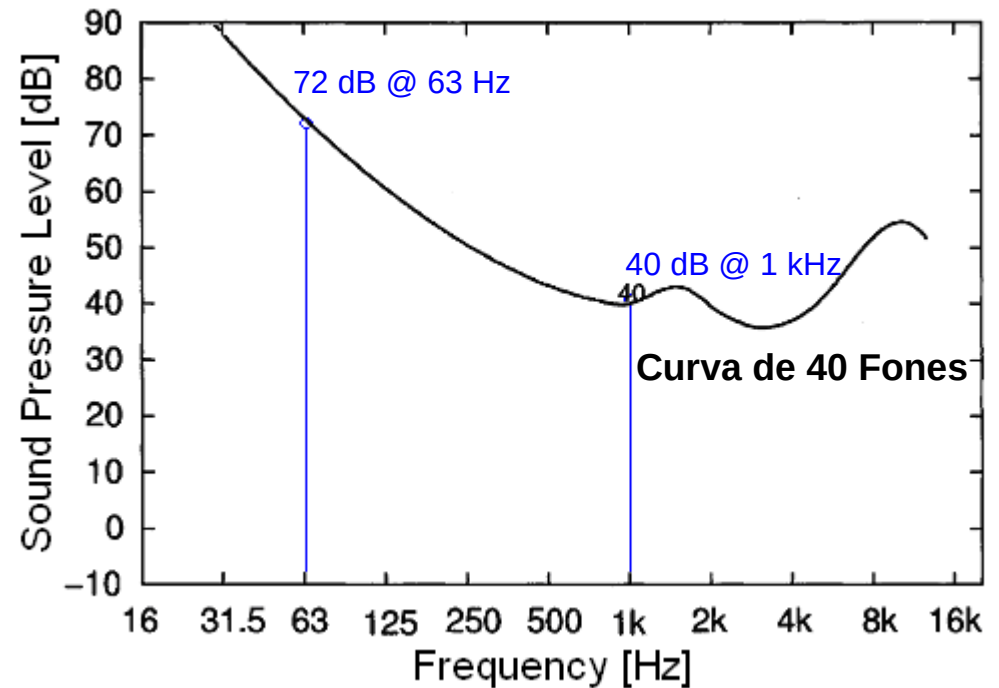
Tabla por Houser et al. (2017, JASA)

TABLE I. A partial list of ANSI, IEC, and ISO standards relevant to human frequency weighting functions.

<p>ANSI S1.1 2013, <i>American National Standard Terminology</i>.</p> <p>ANSI S1.4 2014/Part 1/IEC61672 1:2013, <i>American National Standard Electroacoustics Sound Level Meters Part 1: Specifications</i> (Nationally Adopted International Standard).</p> <p>ANSI S3.4 2007 (R 2012), <i>American National Standard Procedure for the Computation of Loudness of Steady Sounds</i>.</p> <p>ANSI S3.6 2010, <i>American National Standard Specification for Audiometers</i>.</p> <p>ANSI S3.20 1995 (R 2008), <i>American National Standard Bioacoustical Terminology</i>.</p> <p>ANSI S3.44 1996 (R 2006), <i>American National Standard Determination of Noise Exposure and Estimation of Noise-Induced Hearing Impairment</i>.</p> <p>ANSI S12.9 2005/Part 4, <i>American National Standard Quantities and Procedures for Description and Measurement of Environmental Sound—Part 4: Noise Assessment and Prediction of Long-Term Community Response</i>.</p> <p>ANSI 12.9 2008/Part 6, <i>American National Standard Quantities and Procedures for Description and Measurement of Environmental Sound—Part 6: Methods for Estimations of Awakenings Associated with Outdoor Noise Events Heard in Homes</i>.</p> <p>ANSI 12.19 1996 (R 2011), <i>American National Standard Measurement of Occupational Noise Exposure</i>.</p> <p>ISO 226:2003, <i>Acoustics—Normal Equal-Loudness-Level Contours</i>.</p> <p>ISO 389-7:2005, <i>Acoustics—Reference Zero for the Calibration of Audiometric Equipment—Part 7: Reference Threshold of Hearing Under Free-Field and Diffuse-Field Listening Conditions</i>.</p> <p>ISO 389-8:2004, <i>Acoustics—Reference Zero for the Calibration of Audiometric Equipment—Part 8: Reference Equivalent Threshold Sound Pressure Levels for Pure Tones and Circumaural Earphones</i>.</p> <p>ISO 532:1975, <i>Acoustics—Method for Calculating Loudness Level</i>.</p> <p>ISO 9612:2009, <i>Acoustics—Determination of Occupational Noise Exposure—Engineering Method</i>.</p> <p>ISO 13474:2009, <i>Acoustics—Framework for Calculating Distribution of Sound Exposure Levels for Impulsive Sound Events for the Purposes of Environmental Noise Assessment</i>.</p> <p>ISO/TS 15666:2003, <i>Acoustics—Assessment of Noise Annoyance by Means of Social and Socioacoustic Surveys</i>.</p> <p>IEC 616721 Ed. 2.0b: 2013, <i>Electroacoustics Sound Level Meters Part 1: Specifications</i>.</p>
---

# Sonoridad (Loudness)

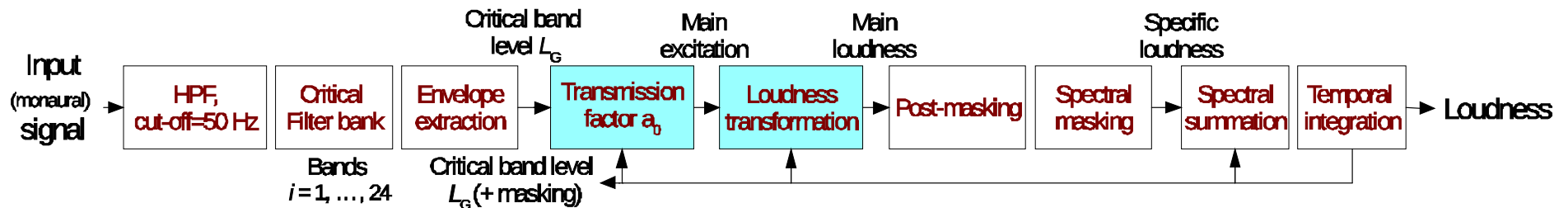
- Medida subjetiva de la intensidad de un sonido
- Dos tonos de igual sonoridad son percibidos a la misma intensidad





# Sonoridad (Loudness)

- Está estandarizado: ISO 532:2017 (Parte 1, 2)
- Los modelos aproximan el procesamiento de sonido en el sistema auditivo:
  - Modelo de sonoridad de Zwicker (base para ISO 532-1):



(Chalupper & Fastl, 2002), Figura de elaboración propia

- Modelo de sonoridad de Glasberg & Moore (base para ISO 532-2):

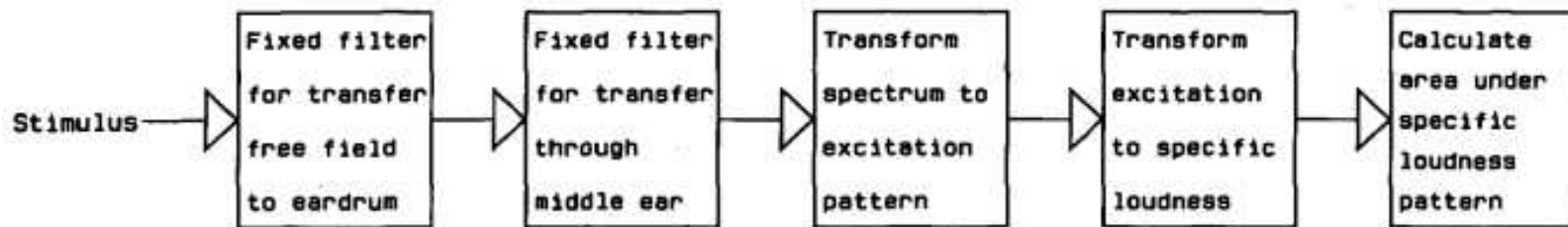
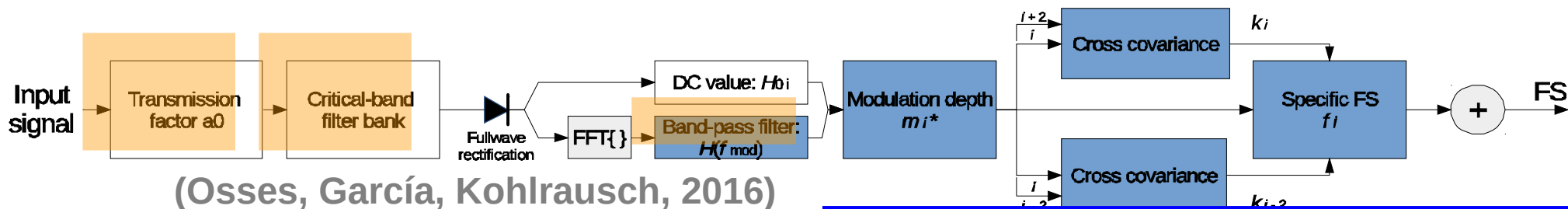
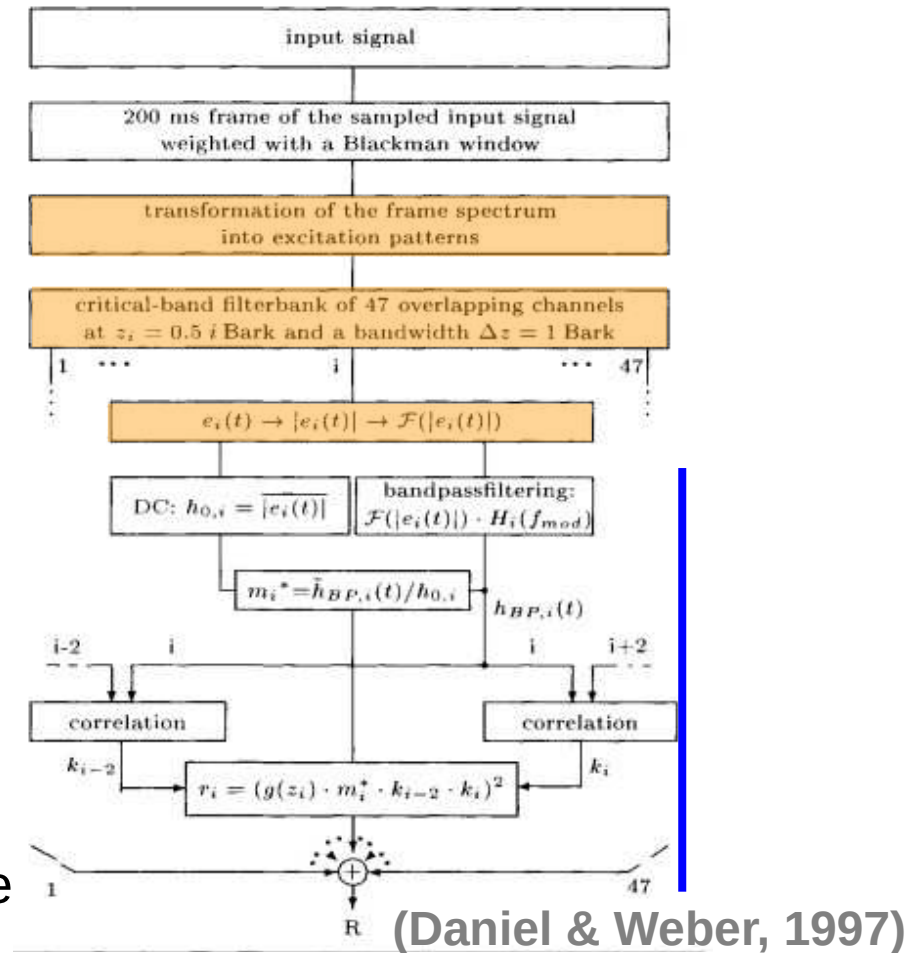


Fig. 1. Block diagram of sequence of stages in model.

(Moore, Glasberg & Baer, 1997)

# Otros indicadores psicoacústicos

- Rugosidad
- Fuerza de fluctuación
- Estos modelos tienen en común:
  - Conversión a un valor numérico: “El indicador” - una nueva escala
  - Algún módulo de oído externo / medio
  - Banco de filtros “en bandas críticas”
  - Algún proceso de extracción de envolvente



# Indicadores psicoacústicos

- Cada modelo genera una escala de valores

2 | Perceptual evaluation of instrument sounds using classic psychoacoustic descriptors

Table 2.1: Summary of the psychoacoustic descriptors used in this chapter. Further details are given in the text. The range of values were taken from the literature. The **JND** values are related to the noticeable differences of the attributes in the range of the reference value. The **JND** for loudness was estimated considering an intensity-**JND** ( $\Delta I$ ) of 1 dB for a 1-kHz pure tone of 36 dB, as reported by [Rabinowitz \(1970\)](#). The **JNDs** for Roughness and Fluctuation strength were taken from [Fastl and Zwicker \(2007, their Chapters 10 and 11\)](#). The maximum values for fluctuation strength and loudness were taken from [Fastl and Zwicker \(2007, their Figures 10.2a and 16.1\)](#), and for roughness from [Daniel and Weber \(1997, their Figure 9\)](#).

Descriptor	unit	range	reference	<b>JND</b>
Loudness ( <b>N</b> )	sone	0 – 120	1 sone	0.07 sone ( $\Delta N = 7\%$ )
Loudness fluctuation ( $L_G$ )	dB			$\Delta L_G \approx 1 \text{ dB}^*$
Roughness ( <b>R</b> )	asper	0 – 3.2	1 asper	0.17 asper ( $\Delta R = 17\%$ )
Fluctuation strength ( <b>FS</b> )	vacil	0 – 3	1 vacil	0.10 vacil ( $\Delta FS = 10\%$ )
Fundamental frequency ( <b>F0</b> )	Hz		$f_n$ Hz	$\Delta F0 \approx 0.4\%$

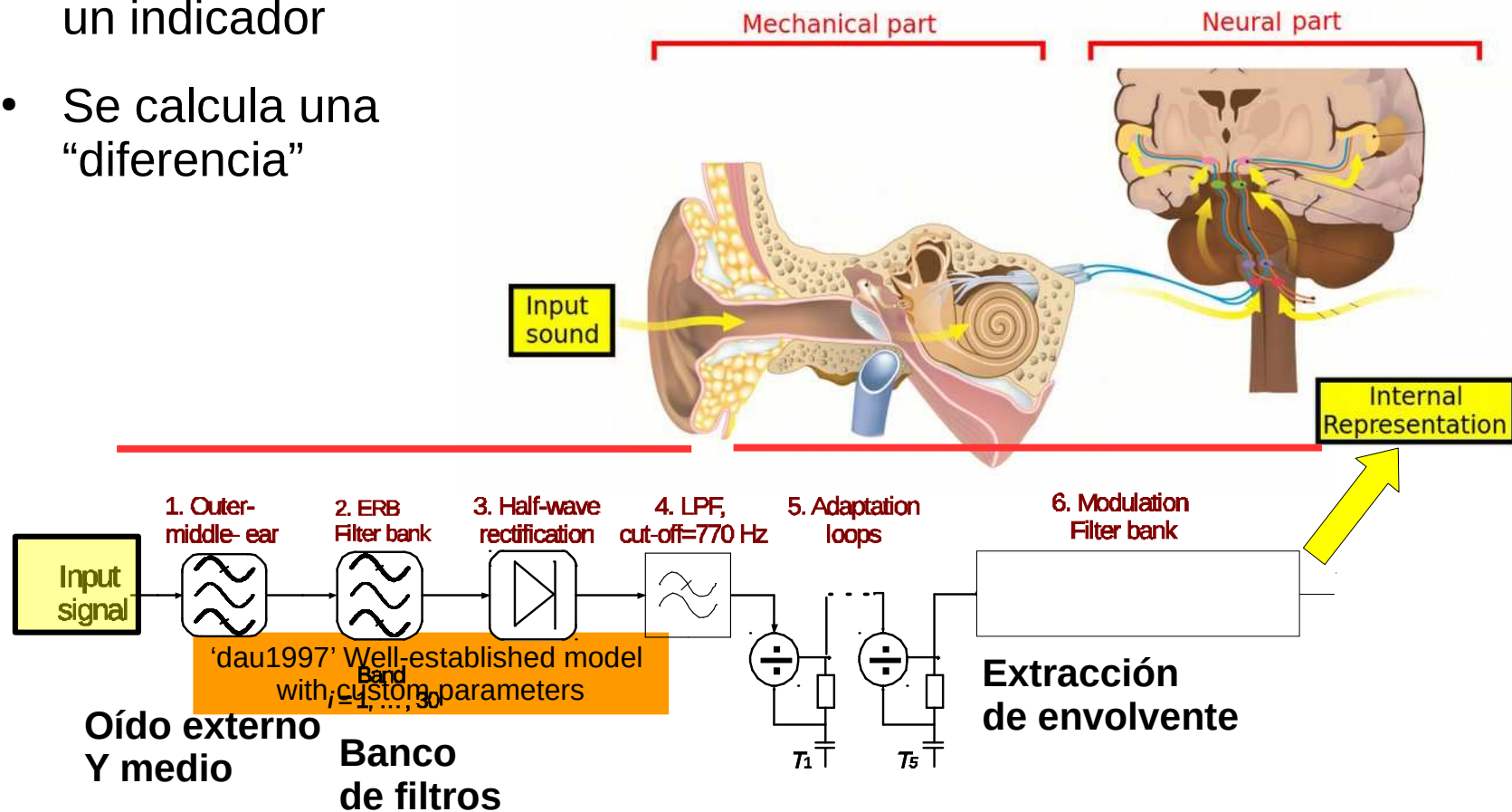
(\*)In this chapter we assumed that a difference of 1 dB at each critical-band level  $L_G$  as a function of frequency can be used as an estimate of the **JND** for loudness fluctuations.

Tabla en mi tesis (Osses, 2018)

- Algo importante: Los modelos son validados para ciertos tipos de sonido...

# El proceso auditivo en un modelo “más general”

- No se calcula un indicador
- Se calcula una “diferencia”



# Psicoacústica: Procedimientos experimentales

- Una excelente revisión de métodos puede encontrarse en los libros de McAdams & Bigand (1993, Cap. 6), y de Kingdom & Prins (2016).
- Experimentos de:

- Detección
- Discriminación
- Identificación
- Clasificación

## Desarrollo de descriptores:

- Sonoridad (Loudness)
- Rugosidad (Roughness)
- Sharpness
- Fuerza de fluctuación (Fluctuation strength)

Evaluaciones de molestia

Paisajes sonoros

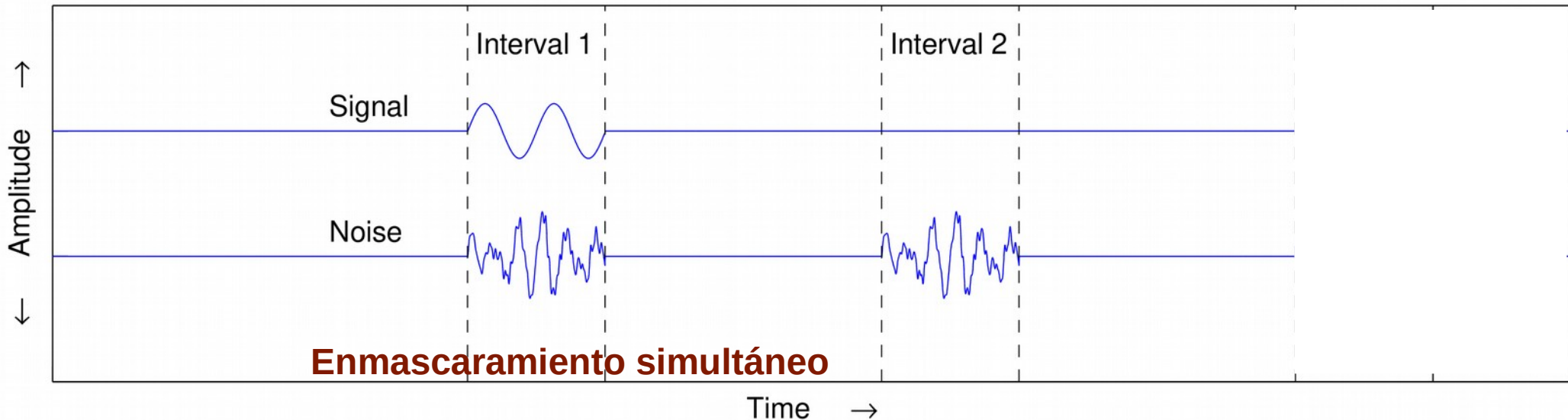
Producción musical

→ Estudios de calidad sonora, timbre

Estudios en inteligibilidad del habla

# Paradigma de elección forzada (m-AFC)

- Hay  $m$  sonidos el participante debe elegir uno de ellos:

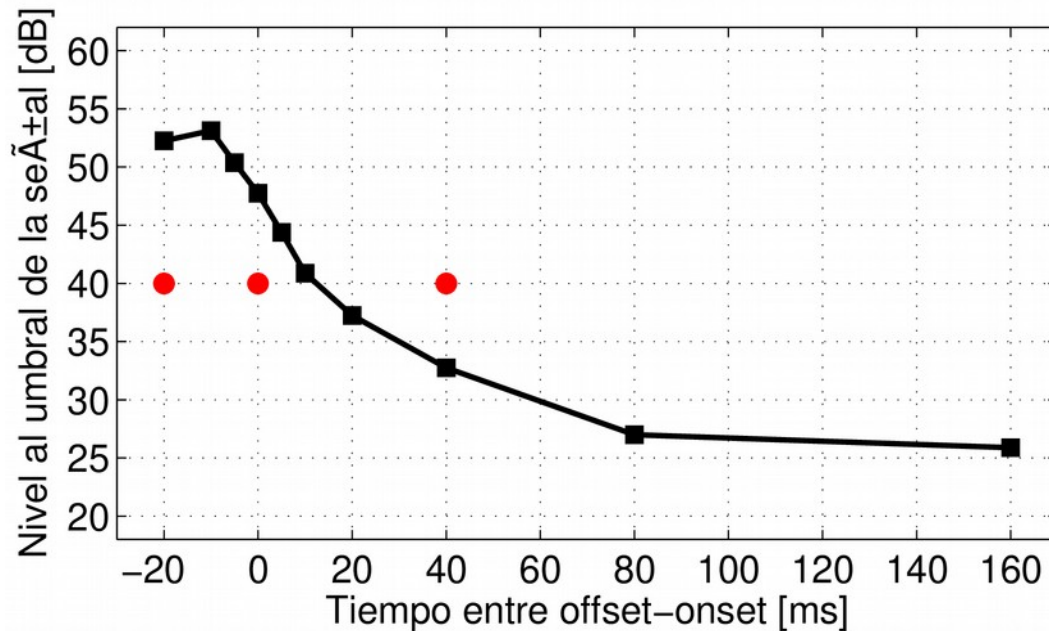
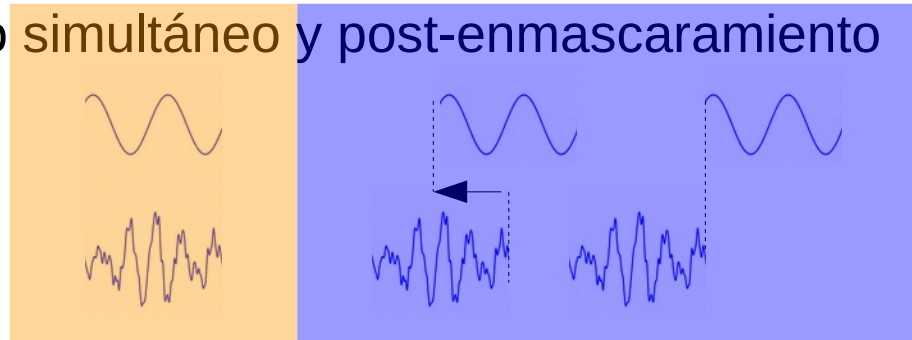


- Dos sonidos (2-AFC): dónde está el sonido presente?
  - En otros contextos:
    - Sonoridad – qué sonido es más intenso?
    - Rugosidad – qué sonido es más rugoso? (entiendes lo que es “rugosidad”?)
- Si hay tres sonidos (3-AFC), no necesito preguntar algo específico, sólo:  
Cuál sonido es diferente de los otros dos?

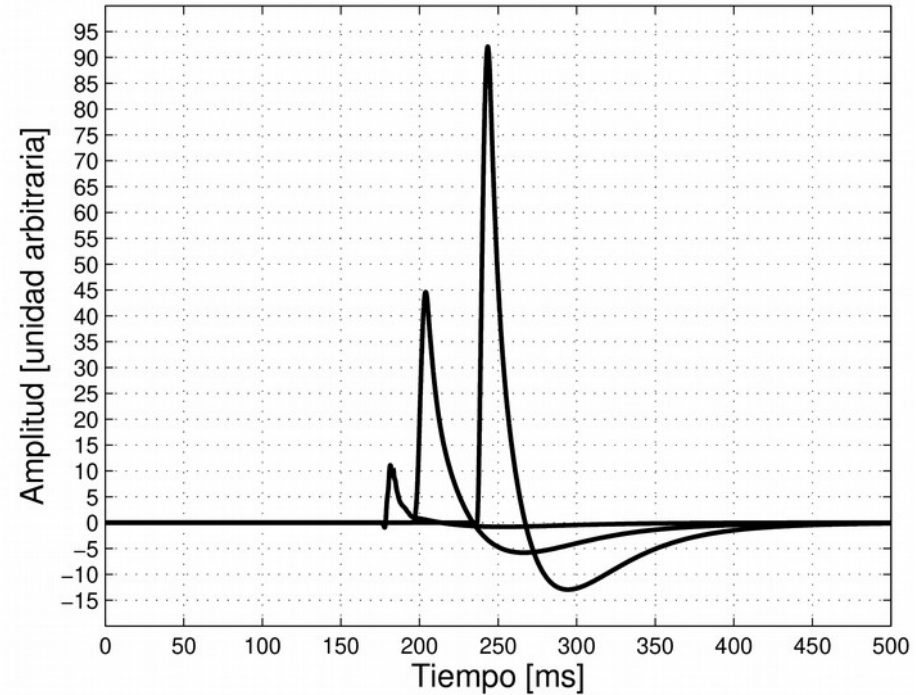
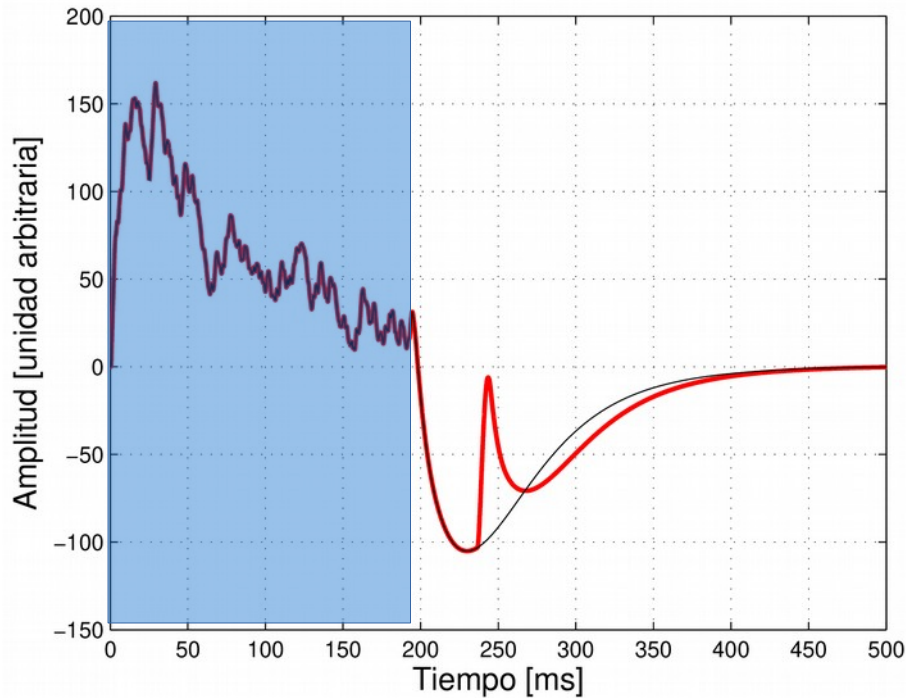
# Paradigma de elección forzada (m-AFC) para uno de los problemas no lineales

- Fenómeno de enmascaramiento **simultáneo** y **post-enmascaramiento**

- **Sonido 1: Tono + ruido**
- **Sonido 2: Ruido solo**

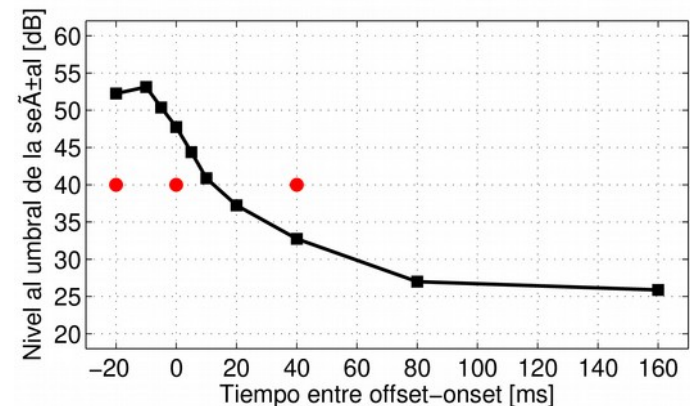
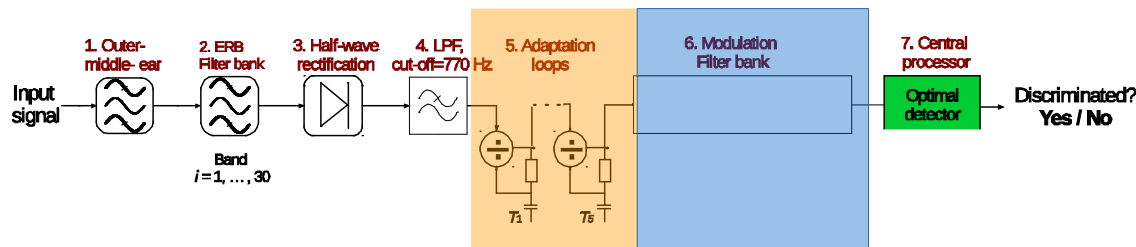


# Paradigma de elección forzada (m-AFC) para uno de los problemas no lineales



El ruido es de banda ancha (20- 8000 Hz), a un NPS de 60 dB

El tono tiene una frecuencia de 4000 Hz y es de 10 ms de duración





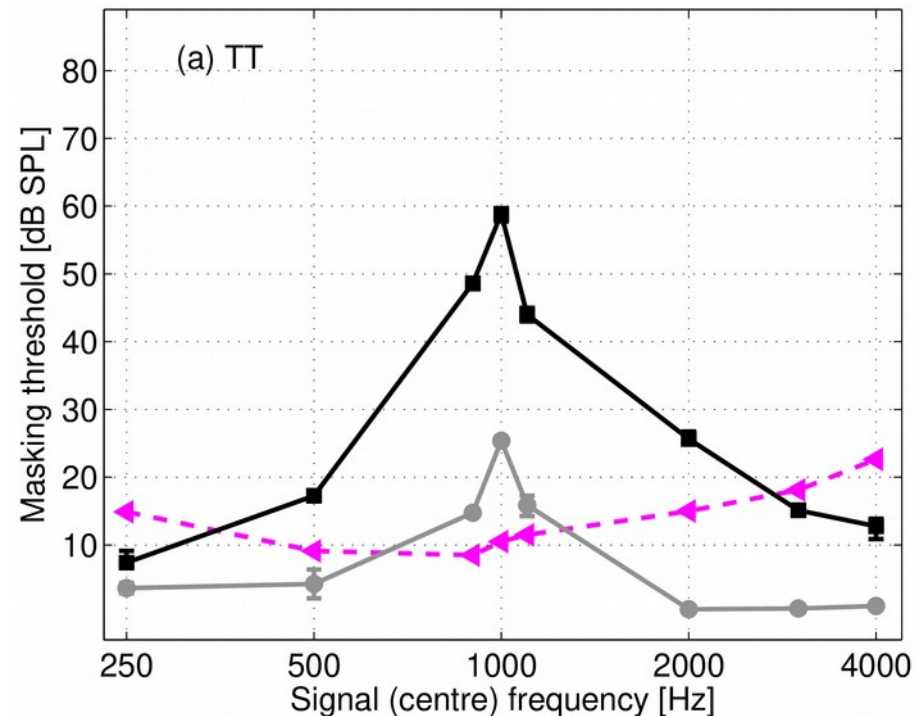
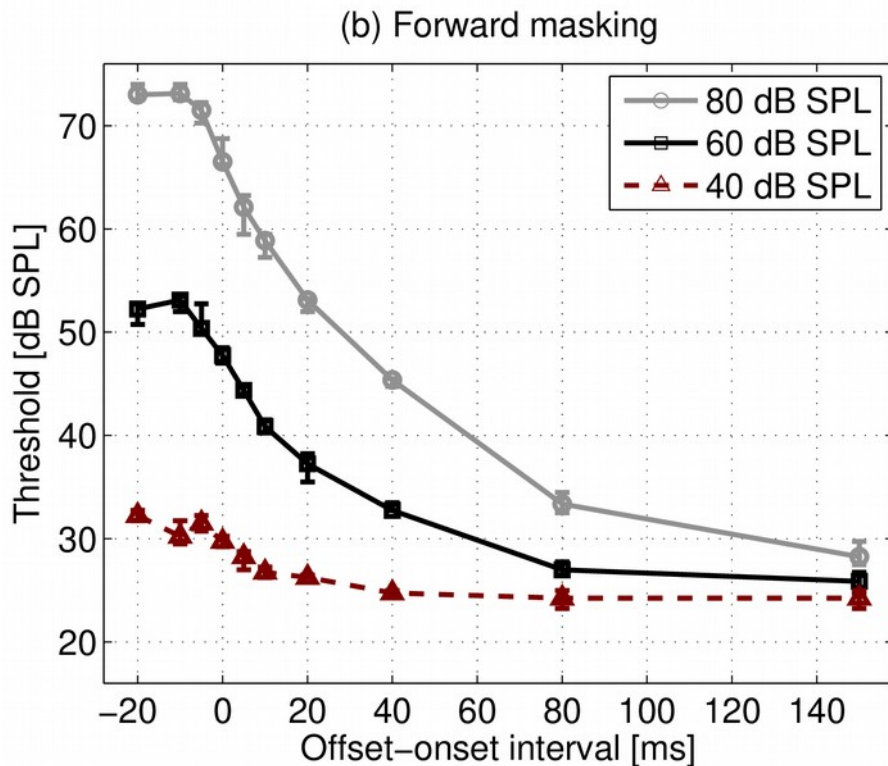
# Simulación de otros problemas no lineales...

- Este modelo no lo desarrollé yo: lo hizo Torsten Dau y colegas (Dau et al. 1997)
- Ellos validaron el modelo para:

- Medición de umbrales de audición
- Enmascaramiento simultáneo

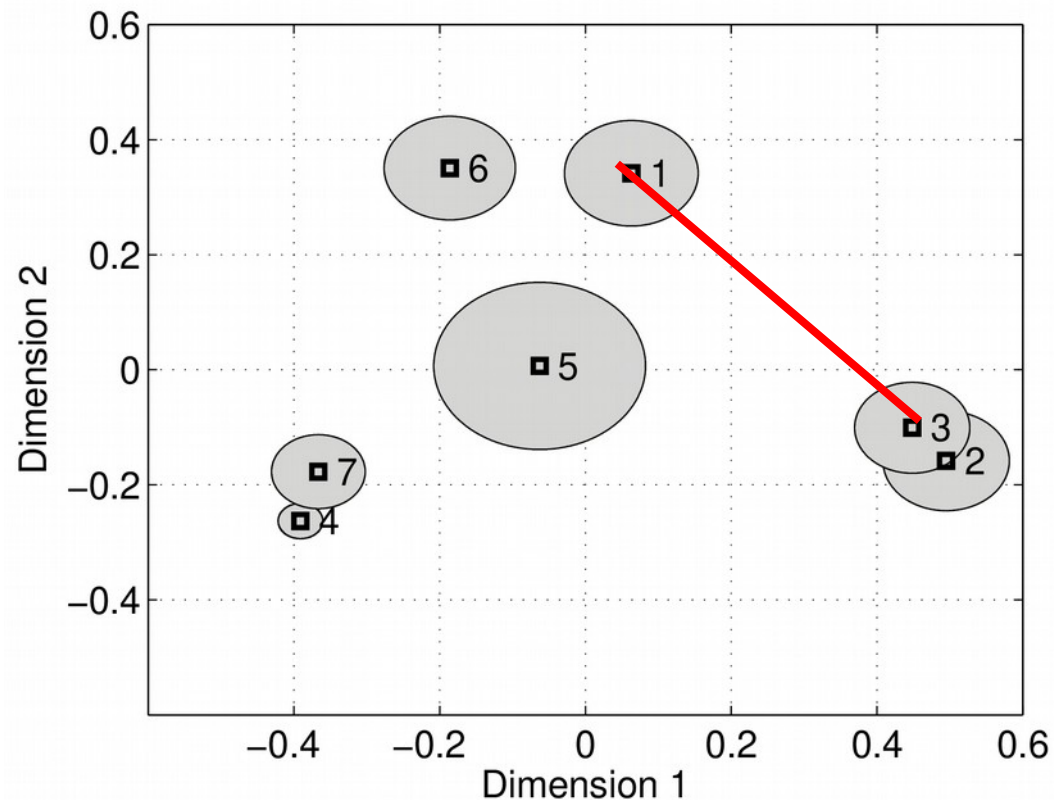
Los repliqué en mi tesis

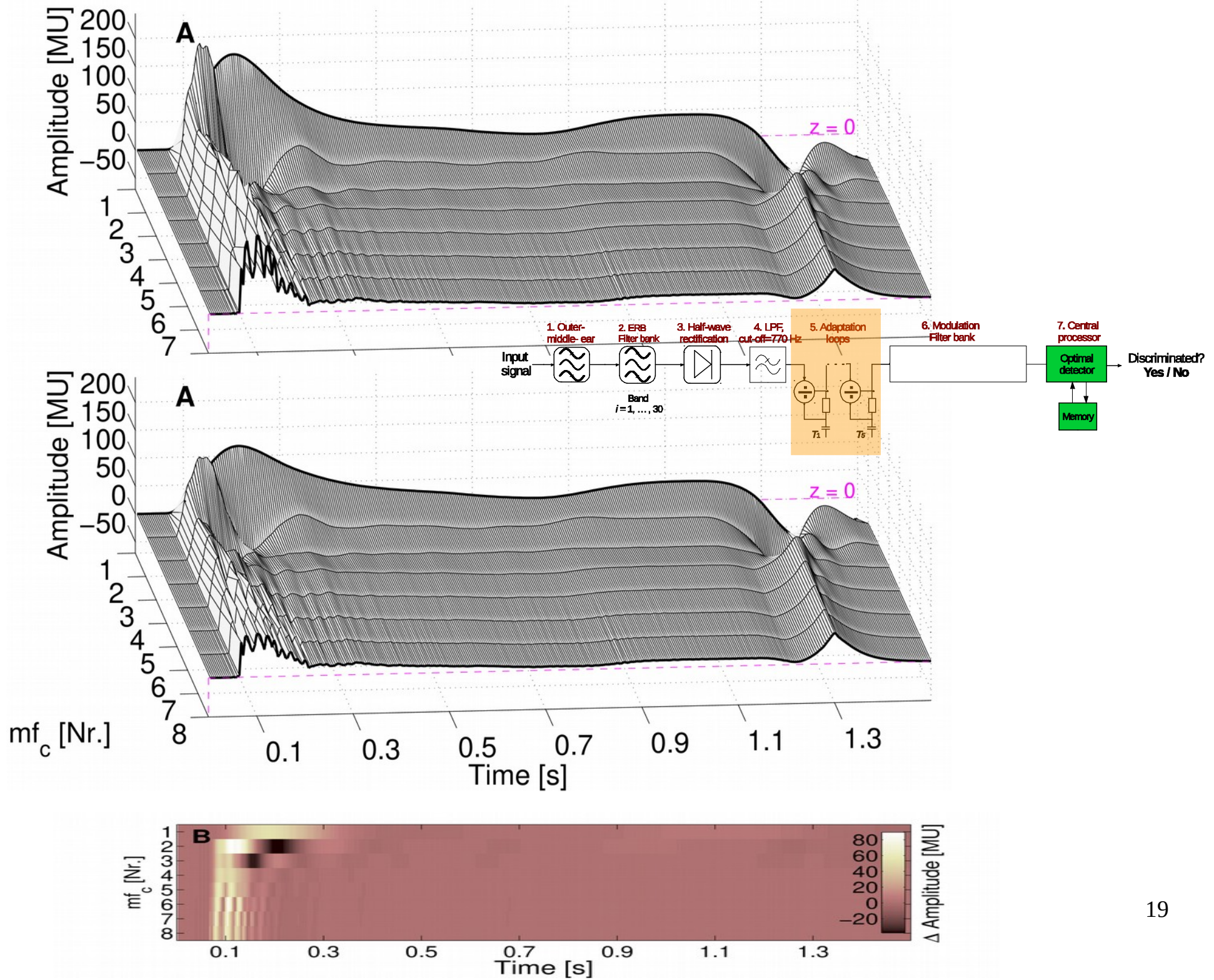
- Detección de tonos y ruidos modulados en amplitud



# Simulación de otros problemas no lineales...

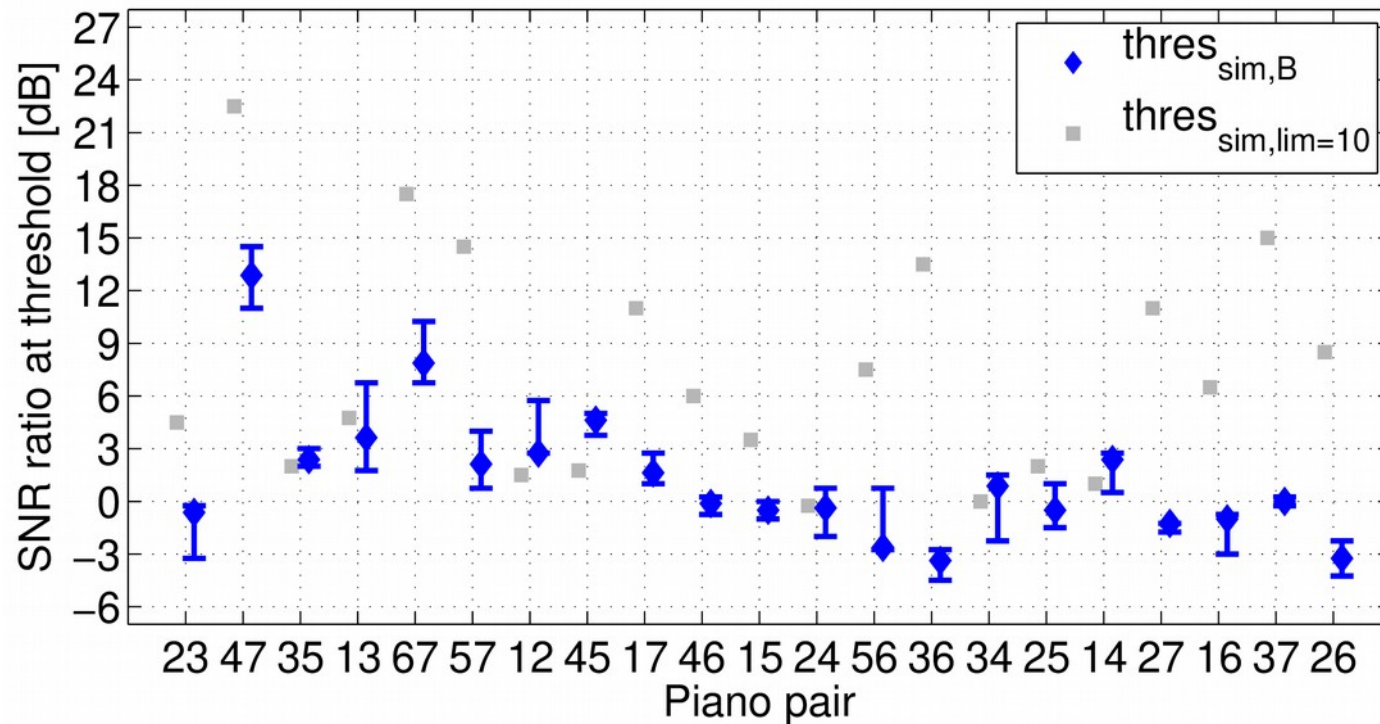
- Pero qué pasa si quiero simular un nuevo problema?
  - Discriminación entre dos sonidos de piano?
  - En mi tesis: 7 pianos, cuya distancia perceptual es...





# Simulación de otros problemas no lineales...

- Antes/después del cambio: Las simulaciones no/sí estaban correlacionadas con los resultados experimentales



- Pero qué hay de las simulaciones anteriores?

# Simulaciones: Buenas prácticas

- Cualquier modificación a un modelo debe ser investigada con respecto a resultados anteriores: Backward compatibility
- Hay que tener un respaldo accesible de cada versión del modelo
  - Opciones: Usar algún sistema de control de versiones (por ejemplo: GitHub)
  - Usar el “Auditory modelling toolbox” (<http://amtoolbox.sourceforge.net/>):
    - Colección de modelos auditivos monaurales y binaurales
    - Distintas configuraciones usando diferentes parámetros de entrada
      - dau1997(input, fs)** – configuración por omisión
      - dau1997(input, fs, ‘adt\_osses2020’)** - configuración con mi modificación de parámetros
- Si es posible, recomiendo que los sonidos usados para validar el modelo se guarden como archivos de audio
- Si usan sonidos no previamente validados: Sean muy cuidadosos con cómo interpretan sus resultados

## Referencias

- Chalupper, J., & Fastl, H. (2002). Dynamic loudness model (DLM) for normal and hearing-impaired listeners. *Acta Acust. United Ac.*, *88*, 378–386.
- Daniel, P., & Weber, R. (1997). Psychoacoustical roughness: Implementation of an optimized model. *Acustica - Acta Acustica*, *83*, 113–123.
- Dau, T., Kollmeier, B., & Kohlrausch, A. (1997). Modeling auditory processing of amplitude modulation. I. Detection and masking with narrow-band carriers. *J. Acoust. Soc. Am.*, *102*, 2892–2905. doi:[10.1121/1.420344](https://doi.org/10.1121/1.420344)
- Houser, D., Yost, W., Burkard, R., Finneran, J., Reichmuth, C., & Mulsow, J. (2017). A review of the history, development and application of auditory weighting functions in humans and marine mammals. *J. Acoust. Soc. Am.*, *141*, 1371–1413. doi:[10.1121/1.4976086](https://doi.org/10.1121/1.4976086)
- Kingdom, F., & Prins, N. (2016). *Psychophysics: A practical introduction* (2nd ed.). Elsevier.
- McAdams, S., & Bigand, E. (Eds.). (1993). *Thinking in Sound: The Cognitive Psychology of Human Audition*. Oxford University Press.
- Moore, B., Glasberg, B., & Baer, T. (1997). A model for the prediction of thresholds, loudness and partial loudness. *J Audio Eng Soc*, *45*, 224–240.
- Osses, A. (2018). *Prediction of perceptual similarity based on time-domain models of auditory perception*. Ph.D. thesis, Technische Universiteit Eindhoven. (hal:[tel-03871102](https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03871102))
- Osses, A., García, R., & Kohlrausch, A. (2016). Modelling the sensation of fluctuation strength. *Proc Mtgs Acoust*, *28*(050005), 1–8. doi:[10.1121/2.0000410](https://doi.org/10.1121/2.0000410)