

# Audio 3D: Fundamentos y Aplicaciones

Andrés Pérez López<sup>12</sup>

<sup>1</sup>Music Technology Group  
Universitat Pompeu Fabra  
Barcelona

<sup>2</sup>Unidad de Tecnologías Multimedia  
Eurecat - Centro Tecnológico de Cataluña  
Barcelona

Universidad Austral de Chile  
12 Octubre 2017

# Outline

## Introducción

Presentación

Contexto

## Escucha espacial

Fundamentos de localización

HRTF

## Síntesis de Sonido 3D

Panning de Amplitud

VBAP

Ambisonics

Wave Field Synthesis

Binaural

Transaural

Sumario

## Aplicaciones

Realidad Virtual

Sonido Immersivo

Separación de Fuentes

# Outline

## Introducción

Presentación

Contexto

## Escucha espacial

Fundamentos de localización

HRTF

## Síntesis de Sonido 3D

Panning de Amplitud

VBAP

Ambisonics

Wave Field Synthesis

Binaural

Transaural

Sumario

## Aplicaciones

Realidad Virtual

Sonido Immersivo

Separación de Fuentes

# Presentación

Sobre mí



# Presentación

## Sobre mí



©2019 Google | Términos de uso | Información de la licencia

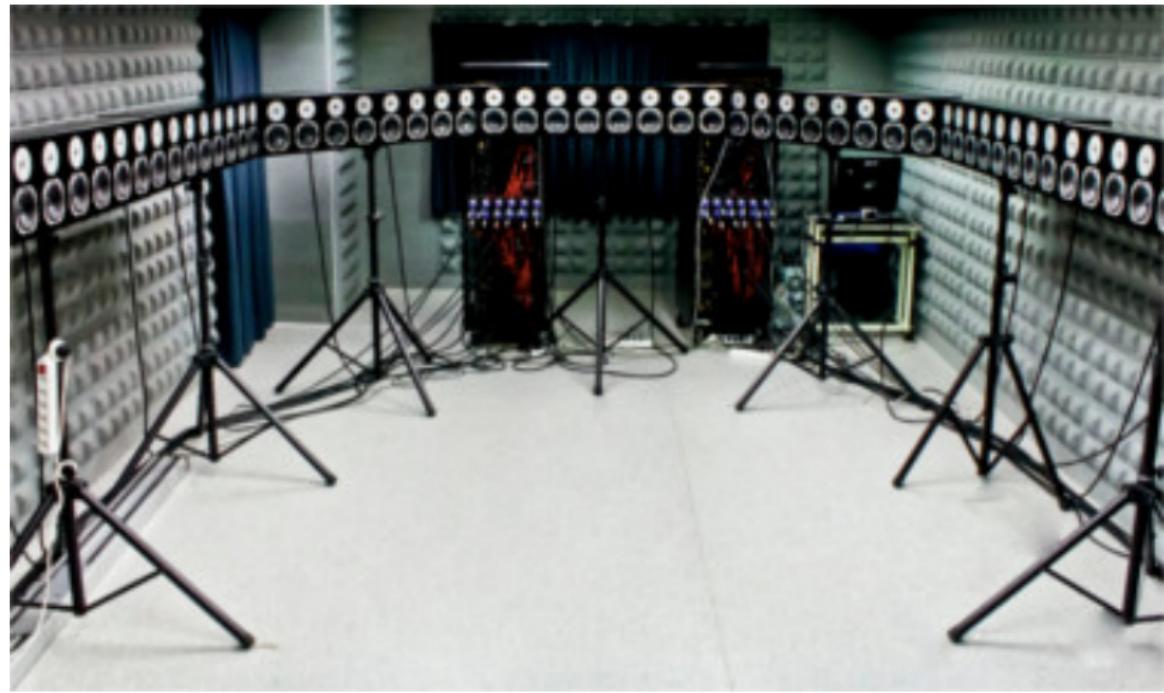
# Presentación

Sobre mí



# Presentación

Sobre mí



# Presentación

## Sobre mí



# Outline

## Introducción

Presentación

## Contexto

### Escucha espacial

Fundamentos de localización

HRTF

### Síntesis de Sonido 3D

Panning de Amplitud

VBAP

Ambisonics

Wave Field Synthesis

Binaural

Transaural

Sumario

## Aplicaciones

Realidad Virtual

Sonido Immersivo

Separación de Fuentes

# Contexto

## Audio 3D - Sonido Espacial

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2 \left( \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

# Contexto

## Audio 3D - Sonido Espacial



# Outline

Introducción

Presentación

Contexto

**Escucha espacial**

Fundamentos de localización

HRTF

Síntesis de Sonido 3D

Panning de Amplitud

VBAP

Ambisonics

Wave Field Synthesis

Binaural

Transaural

Sumario

Aplicaciones

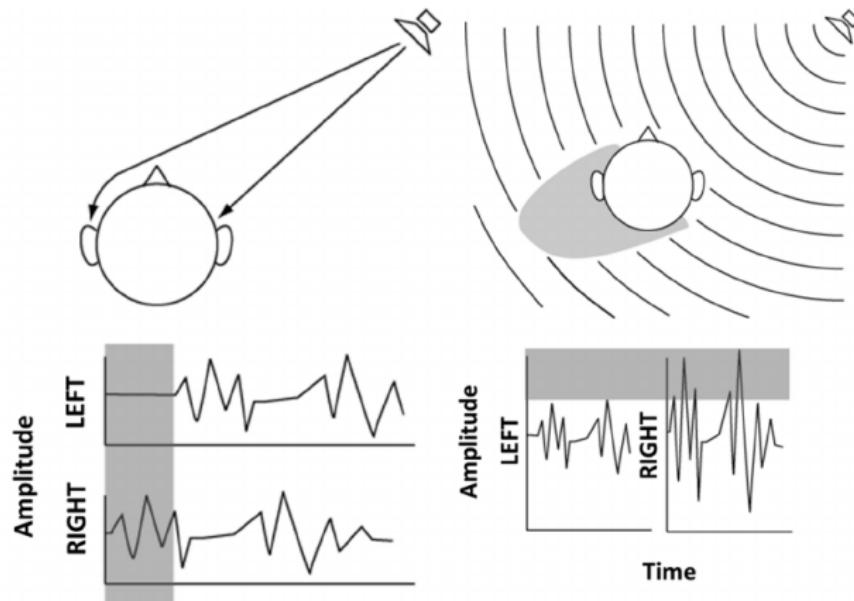
Realidad Virtual

Sonido Immersivo

Separación de Fuentes

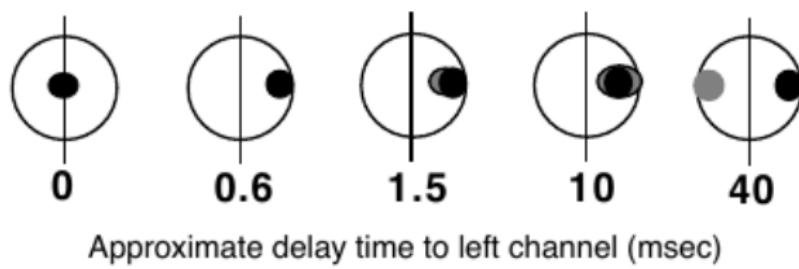
# Fundamentos de localización

ITD & ILD



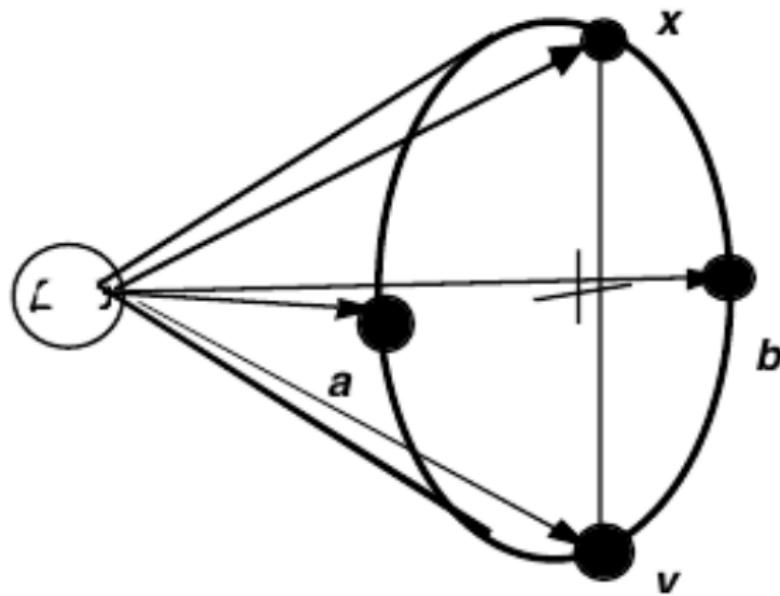
# Fundamentos de localización

## Efecto Haas



# Fundamentos de localización

## Cono de Confusión



# Outline

Introducción

Presentación

Contexto

## Escucha espacial

Fundamentos de localización

HRTF

## Síntesis de Sonido 3D

Panning de Amplitud

VBAP

Ambisonics

Wave Field Synthesis

Binaural

Transaural

Sumario

## Aplicaciones

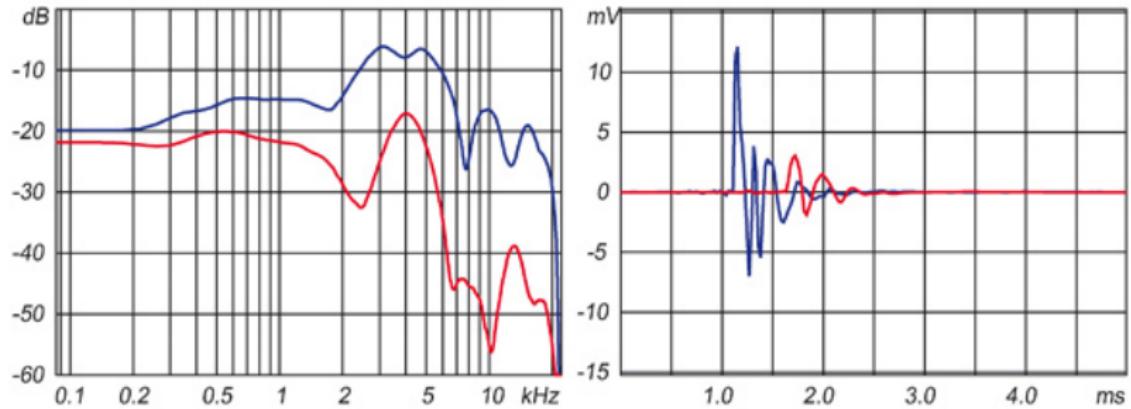
Realidad Virtual

Sonido Immersivo

Separación de Fuentes

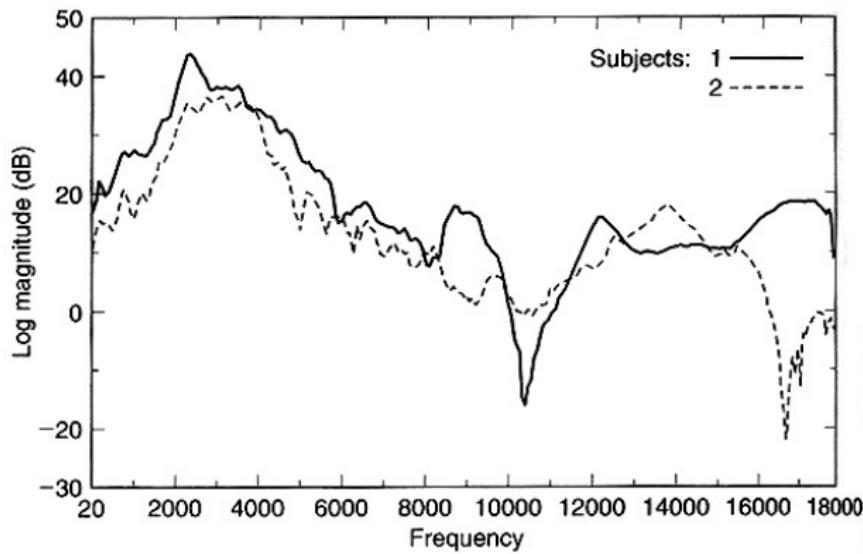
# HRTF

## Head-Related Transfer Functions



# HRTF

## Head-Related Transfer Functions



# HRTF

## Head-Related Transfer Functions

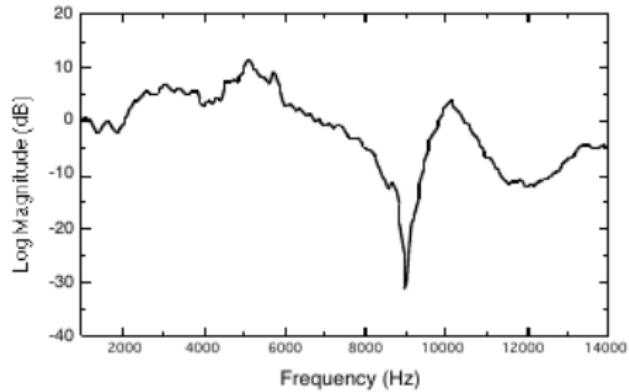


Figure 2.18. Difference in spectra between two front-back source locations on a cone of confusion: 60 and 120 degrees azimuth, 0 degrees elevation.

# HRTF

## Head-Related Transfer Functions

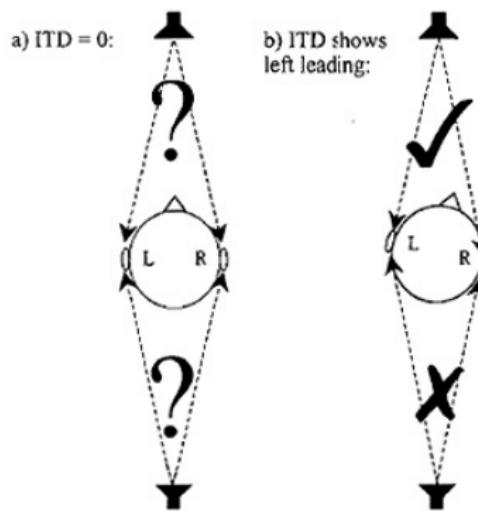
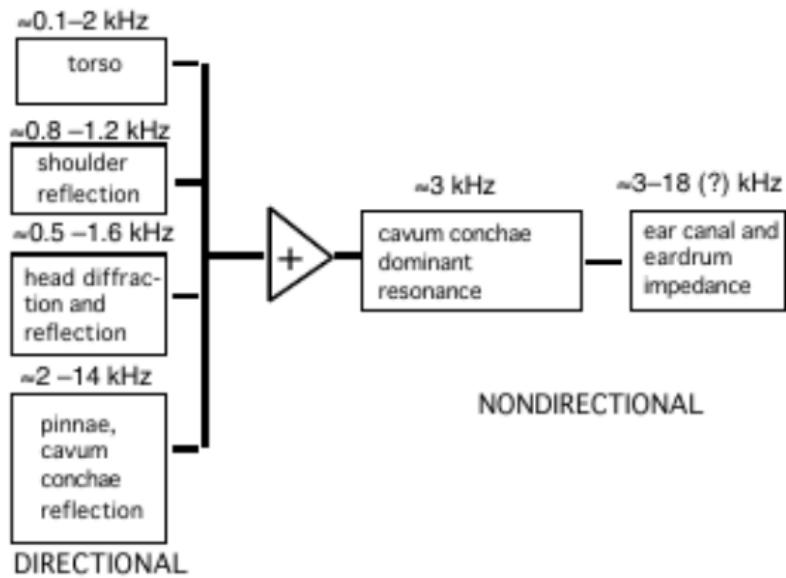


FIG. 9.10. An example of the use of head movements to resolve location ambiguities. A sound directly in front of the listener (a) produces the same interaural time difference and interaural level difference as a sound directly behind. The effect of turning the head on the interaural time difference (b) reveals the true situation.

# HRTF

## Head-Related Transfer Functions



# HRTF

Head-Related Transfer Functions



# HRTF

## Head-Related Transfer Functions

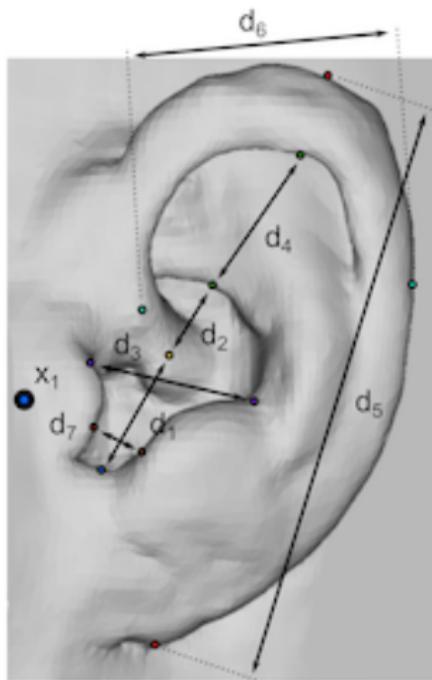


---

The ITA HRTF-database: A high-resolution head-related transfer function (HRTF) and three-dimensional (3D) ear model database

# HRTF

## Head-Related Transfer Functions



# HRTF

Head-Related Transfer Functions

## SOFA

Spatially Oriented Format for Acoustics

[www.sofaconventions.org](http://www.sofaconventions.org)

# Outline

## Introducción

Presentación

Contexto

## Escucha espacial

Fundamentos de localización

HRTF

## Síntesis de Sonido 3D

### Panning de Amplitud

VBAP

Ambisonics

Wave Field Synthesis

Binaural

Transaural

Sumario

## Aplicaciones

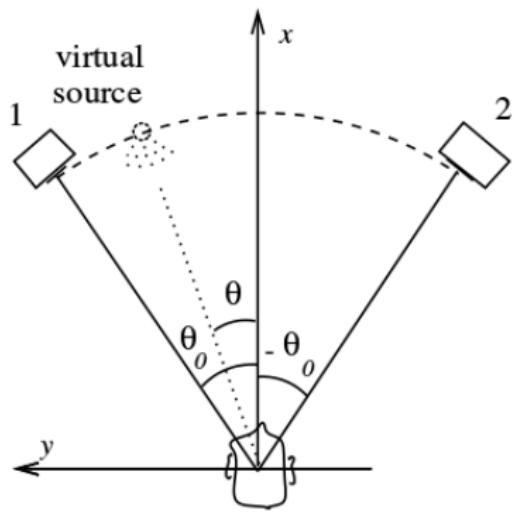
Realidad Virtual

Sonido Immersivo

Separación de Fuentes

# Panning de Amplitud

Estereofonía



# Panning de Amplitud

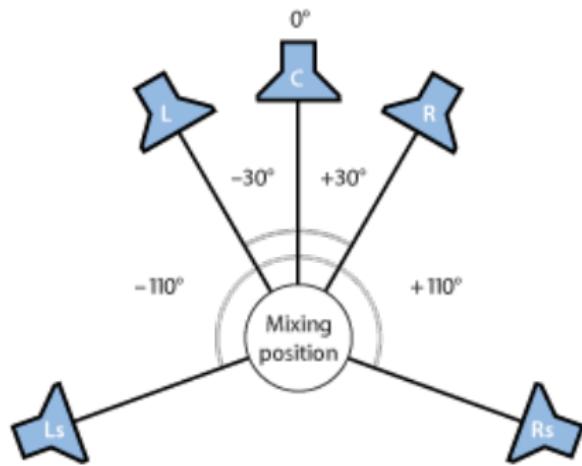
Estereofonía

$$\frac{\tan \theta_T}{\tan \theta_0} = \frac{g_1 - g_2}{g_1 + g_2} \quad (2)$$

$$\sqrt[p]{\sum_{n=1}^{n=N} g_n^p} = 1 \quad (3)$$

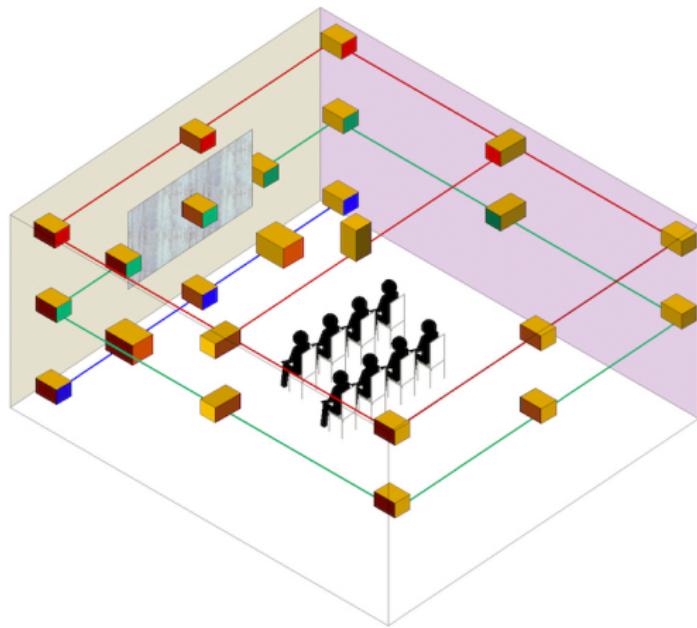
# Panning de Amplitud

5.1 - ITU 775



# Panning de Amplitud

Hamasaki 22.2



# Outline

## Introducción

Presentación

Contexto

## Escucha espacial

Fundamentos de localización

HRTF

## Síntesis de Sonido 3D

Panning de Amplitud

VBAP

Ambisonics

Wave Field Synthesis

Binaural

Transaural

Sumario

## Aplicaciones

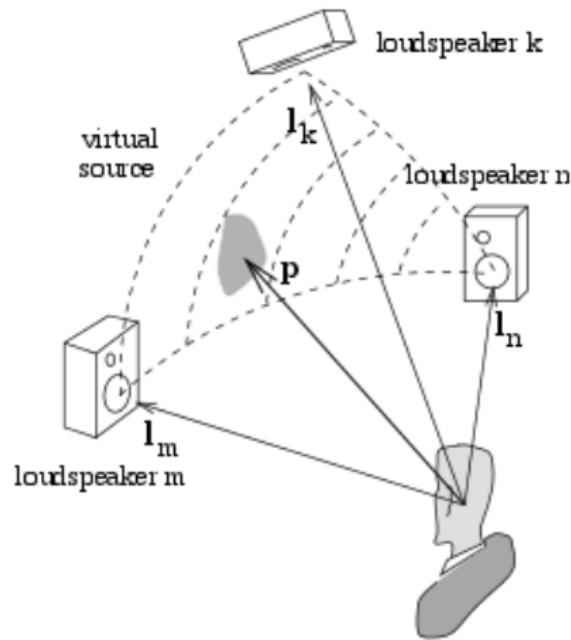
Realidad Virtual

Sonido Immersivo

Separación de Fuentes

# VBAP

## Vector-Based Amplitude Panning



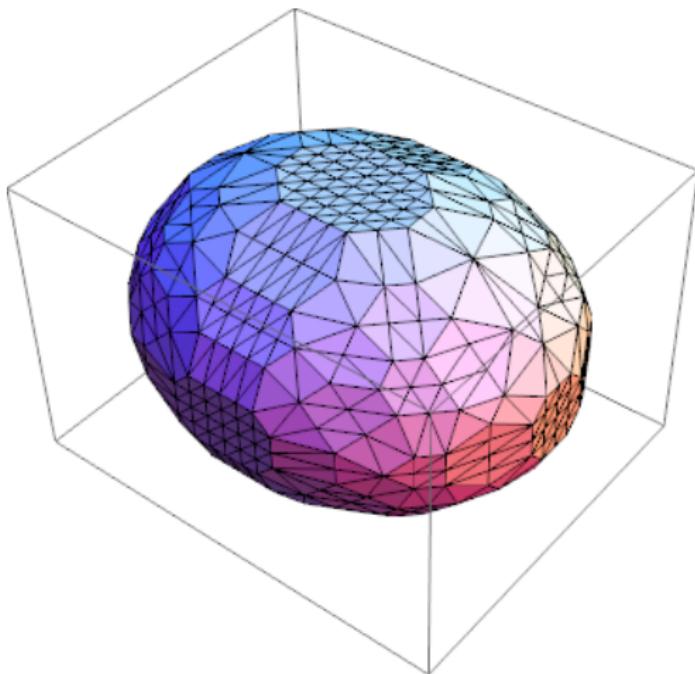
# VBAP

## Vector-Based Amplitude Panning

$$\mathbf{g} = \mathbf{p}^T \mathbf{L}_{nmk}^{-1} = [p_n \quad p_m \quad p_k] \begin{bmatrix} l_{n1} & l_{n2} & l_{n3} \\ l_{m1} & l_{m2} & l_{m3} \\ l_{k1} & l_{k2} & l_{k3} \end{bmatrix}^{-1} \quad (4)$$

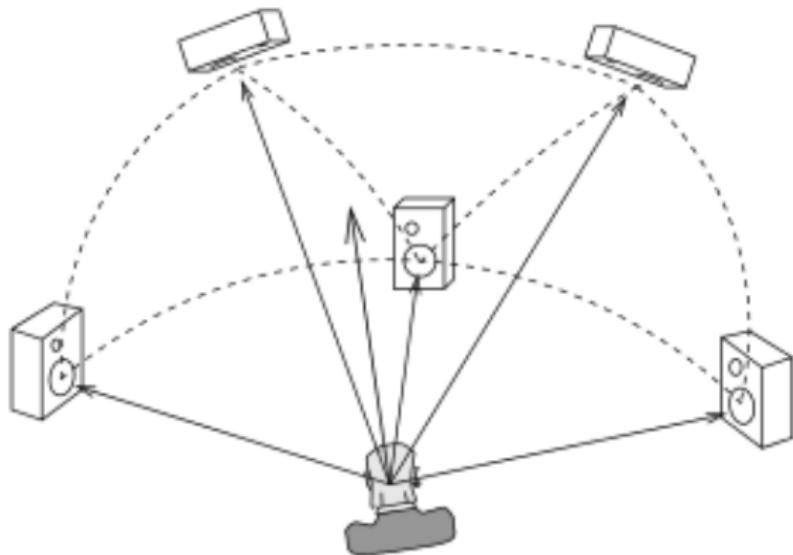
# VBAP

## Convex Hull



# VBAP

Convex Hull



# Outline

## Introducción

Presentación

Contexto

## Escucha espacial

Fundamentos de localización

HRTF

## Síntesis de Sonido 3D

Panning de Amplitud

VBAP

## Ambisonics

Wave Field Synthesis

Binaural

Transaural

Sumario

## Aplicaciones

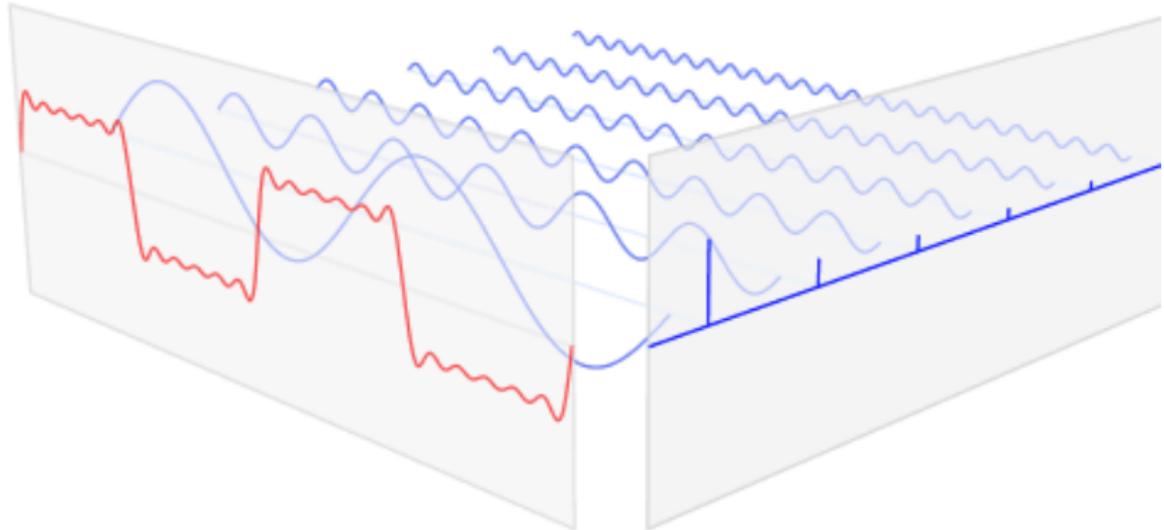
Realidad Virtual

Sonido Immersivo

Separación de Fuentes

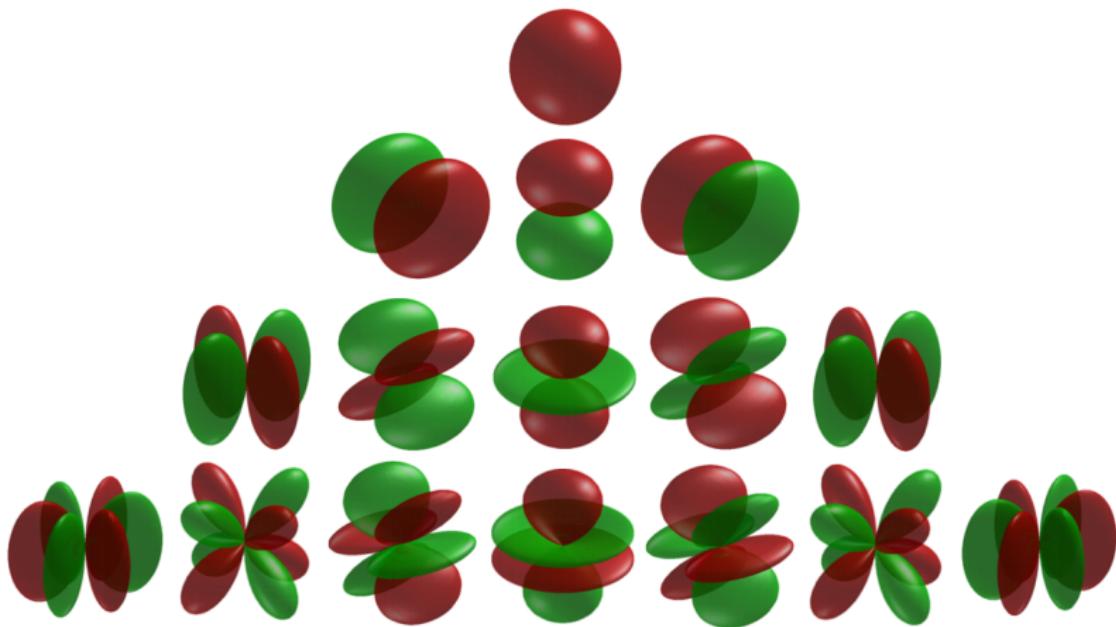
# Ambisonics

## Fundamentos



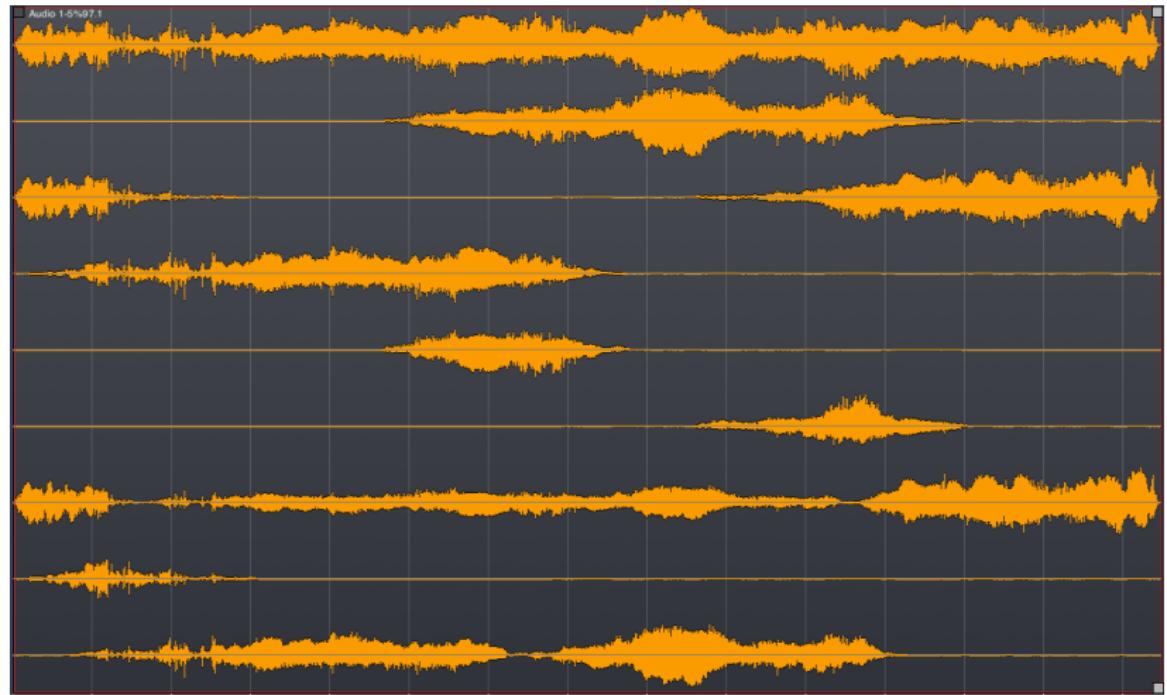
# Ambisonics

## Fundamentos



# Ambisonics

## Fundamentos



# Ambisonics

## Grabación



# Ambisonics

## Grabación

### Réalisation pratique de l'encodage au format B

#### . Encodage direct :

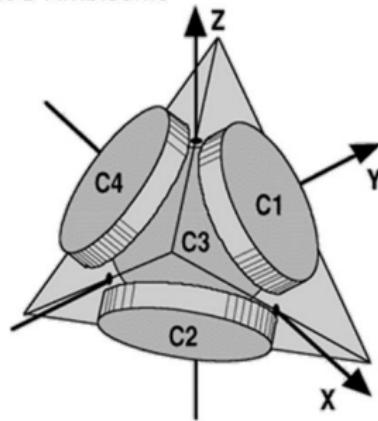
Passage du format A au format B Ambisonic

$$C1 + C2 + C3 + C4 = W$$

$$C1 + C2 - C3 - C4 = X$$

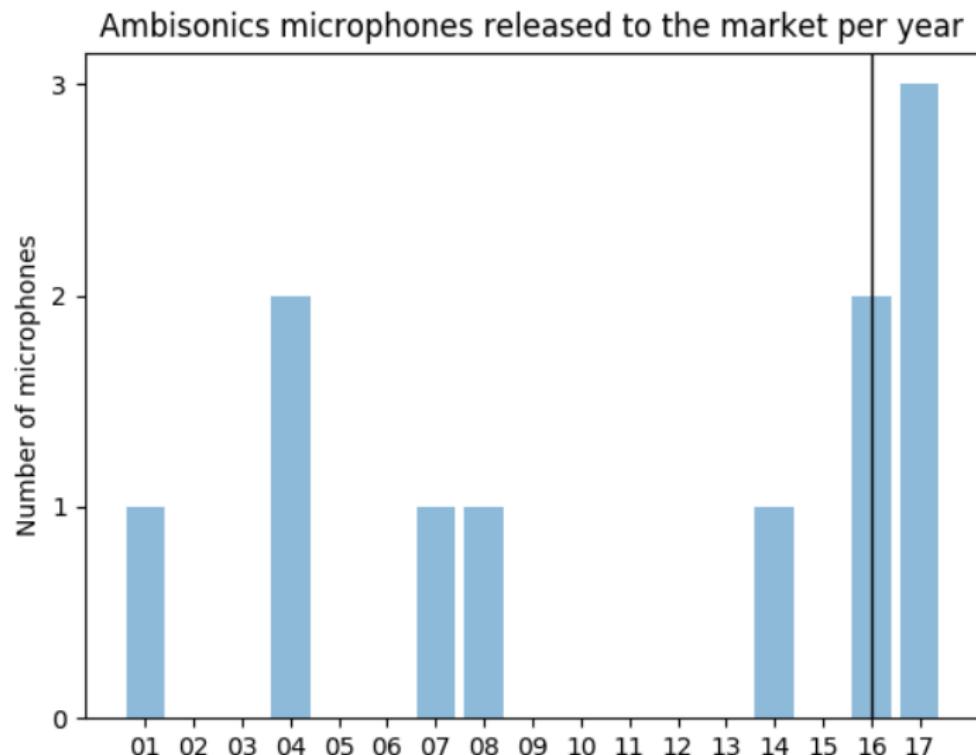
$$C1 - C2 + C3 - C4 = Y$$

$$C1 - C2 - C3 + C4 = Z$$



# Ambisonics

## Grabación



# Ambisonics

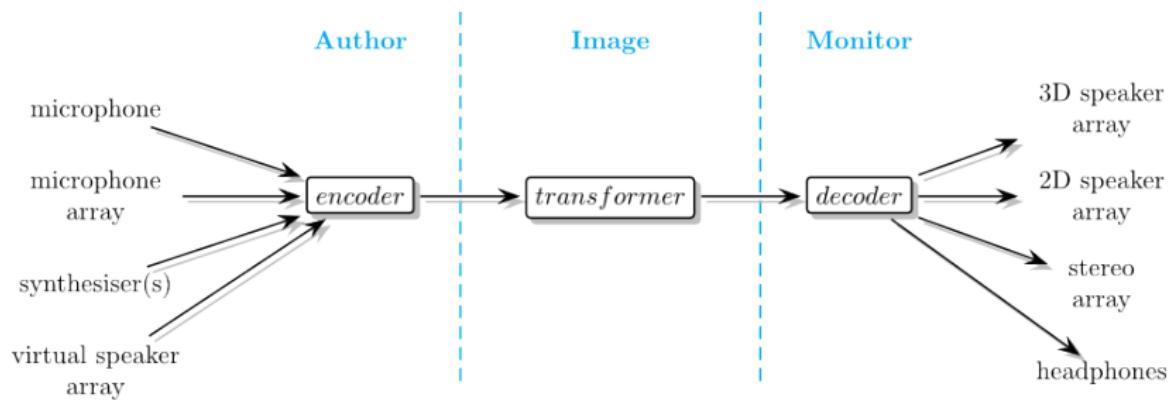
## Codificación

Table 1 Ambisonic B Format Channels to 3<sup>rd</sup>. Order

Order	m,n, $\zeta$	Channel	SN3D definition	FuMa weight
0	0,0,1	W	1	$1/\sqrt{2}$
1	1,1,1	X	$\cos\theta\cos\phi$	1
	1,1,-1	Y	$\sin\theta\cos\phi$	1
	1,0,1	Z	$\sin\phi$	1
2	2,0,1	R	$(3\sin^2\phi - 1)/2$	1
	2,1,1	S	$(\sqrt{3}/2)\cos\theta\sin(2\phi)$	$\sqrt{2}H_3$
	2,1,-1	T	$(\sqrt{3}/2)\sin\theta\sin(2\phi)$	$\sqrt{2}H_3$
	2,2,1	U	$(\sqrt{3}/2)\cos(2\theta)\cos^2\phi$	$\sqrt{2}H_3$
	2,2,-1	V	$(\sqrt{3}/2)\sin(2\theta)\cos^2\phi$	$\sqrt{2}H_3$
3	3,0,1	K	$\sin\phi(5\sin^2\phi - 3)/2$	1
	3,1,1	L	$(\sqrt{3}/8)\cos\theta\cos\phi(5\sin^2\phi - 1)$	$\sqrt{45}/32$
	3,1,-1	M	$(\sqrt{3}/8)\sin\theta\cos\phi(5\sin^2\phi - 1)$	$\sqrt{45}/32$
	3,2,1	N	$(\sqrt{15}/2)\cos(2\theta)\sin\phi\cos^2\phi$	$\sqrt{3}/\sqrt{5}$
	3,2,-1	O	$(\sqrt{15}/2)\sin(2\theta)\sin\phi\cos^2\phi$	$\sqrt{3}/\sqrt{5}$
	3,3,1	P	$(\sqrt{5}/8)\cos(3\theta)\cos^3\phi$	$\sqrt{5}/5$
	3,3,-1	Q	$(\sqrt{5}/8)\sin(3\theta)\cos^3\phi$	$\sqrt{5}/5$

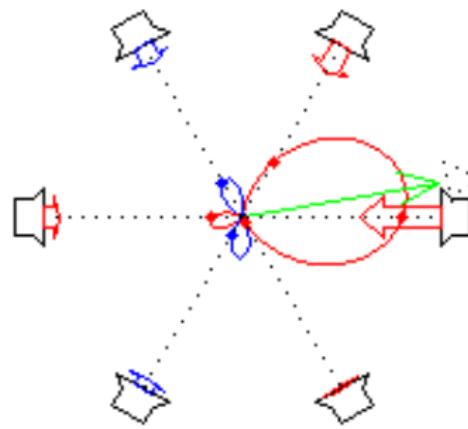
# Ambisonics

## Workflow



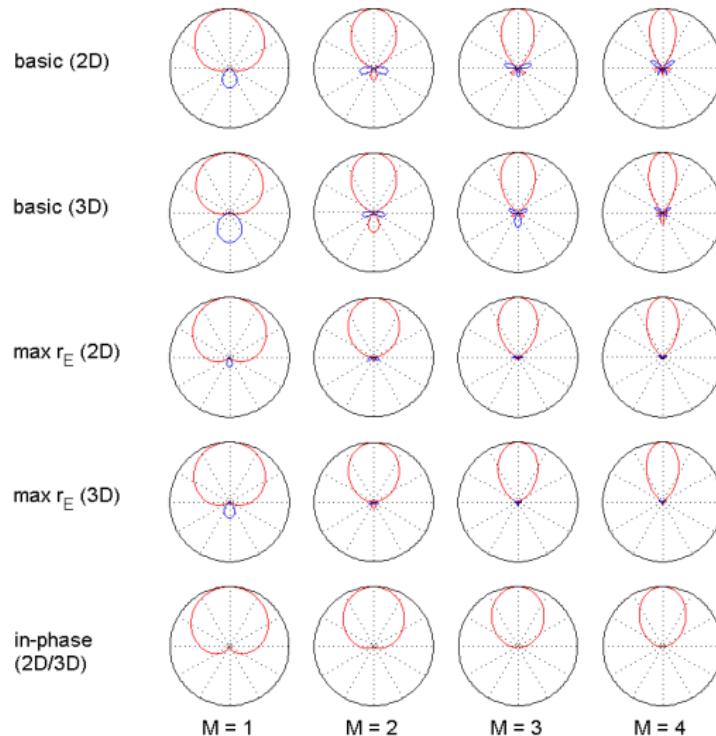
# Ambisonics

## Decodificación



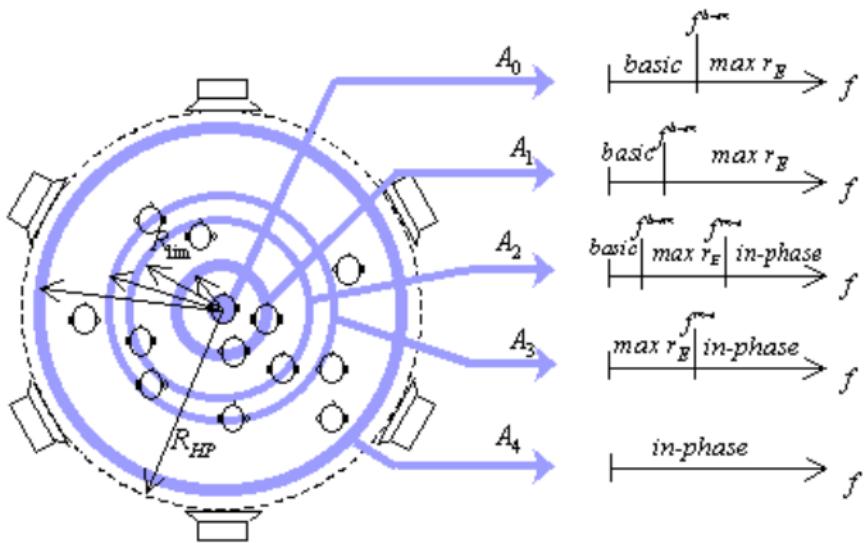
# Ambisonics

## Decodificación



# Ambisonics

## Decodificación



# Outline

## Introducción

Presentación

Contexto

## Escucha espacial

Fundamentos de localización

HRTF

## Síntesis de Sonido 3D

Panning de Amplitud

VBAP

Ambisonics

## Wave Field Synthesis

Binaural

Transaural

Sumario

## Aplicaciones

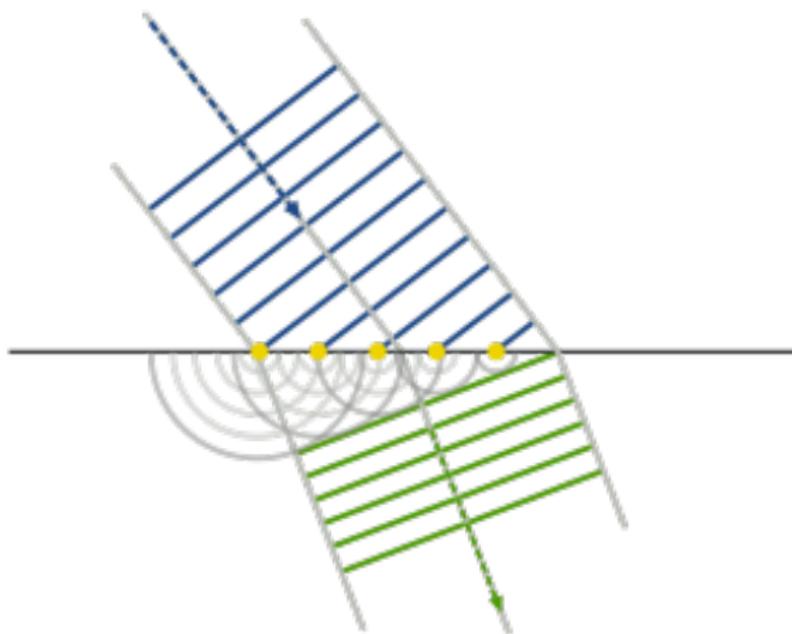
Realidad Virtual

Sonido Immersivo

Separación de Fuentes

# Wave Field Synthesis

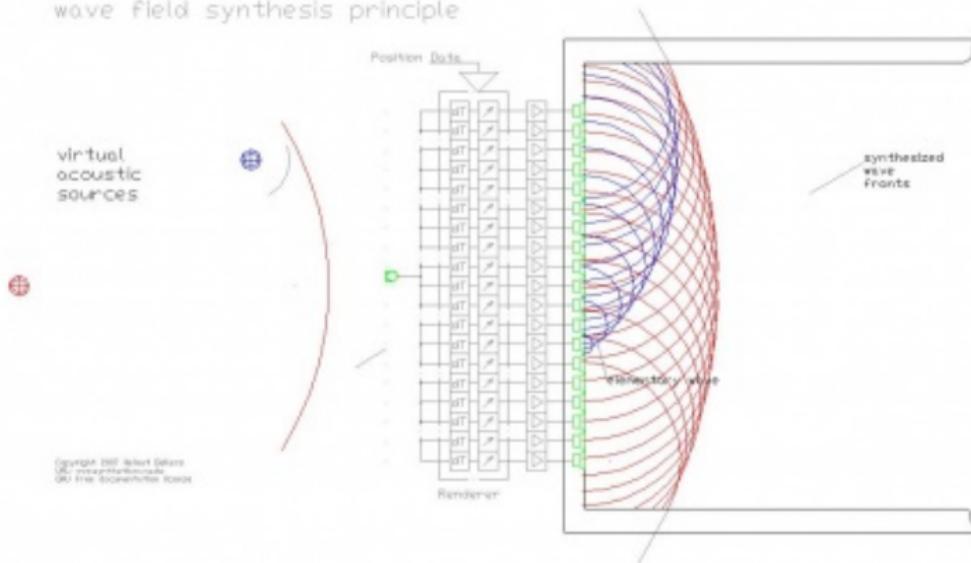
## Principio de Huygens



# Wave Field Synthesis

## Wave Field Synthesis

wave field synthesis principle



# Wave Field Synthesis

Game of Life



# Outline

## Introducción

Presentación

Contexto

## Escucha espacial

Fundamentos de localización

HRTF

## Síntesis de Sonido 3D

Panning de Amplitud

VBAP

Ambisonics

Wave Field Synthesis

Binaural

Transaural

Sumario

## Aplicaciones

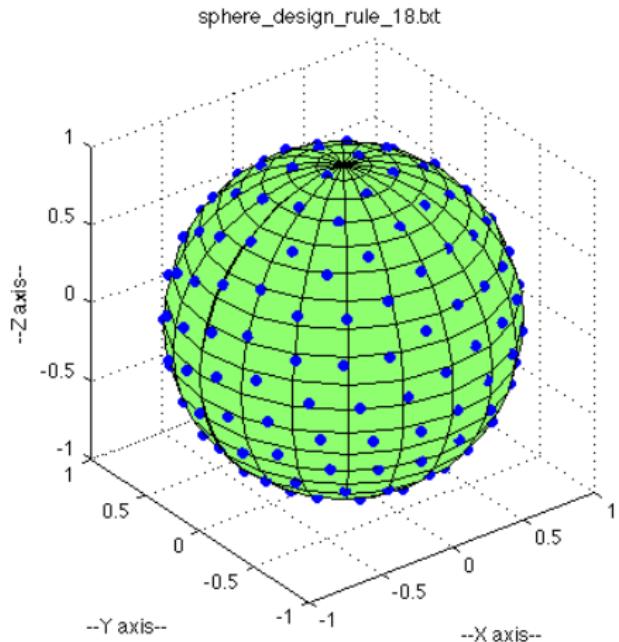
Realidad Virtual

Sonido Immersivo

Separación de Fuentes

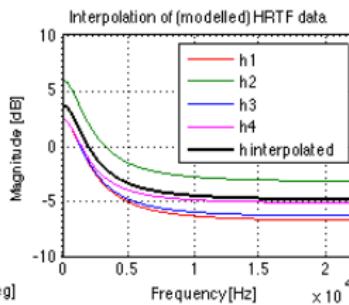
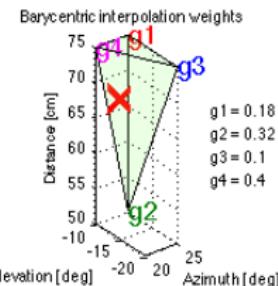
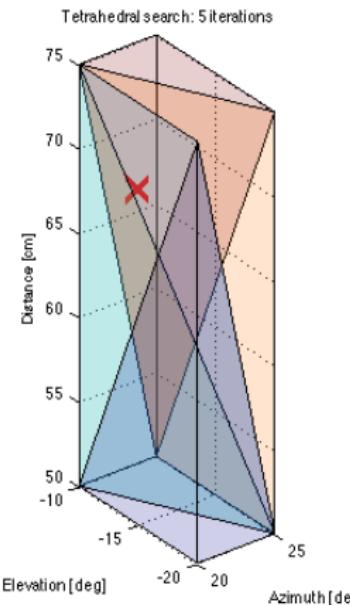
# Binaural

## Muestreo de la esfera



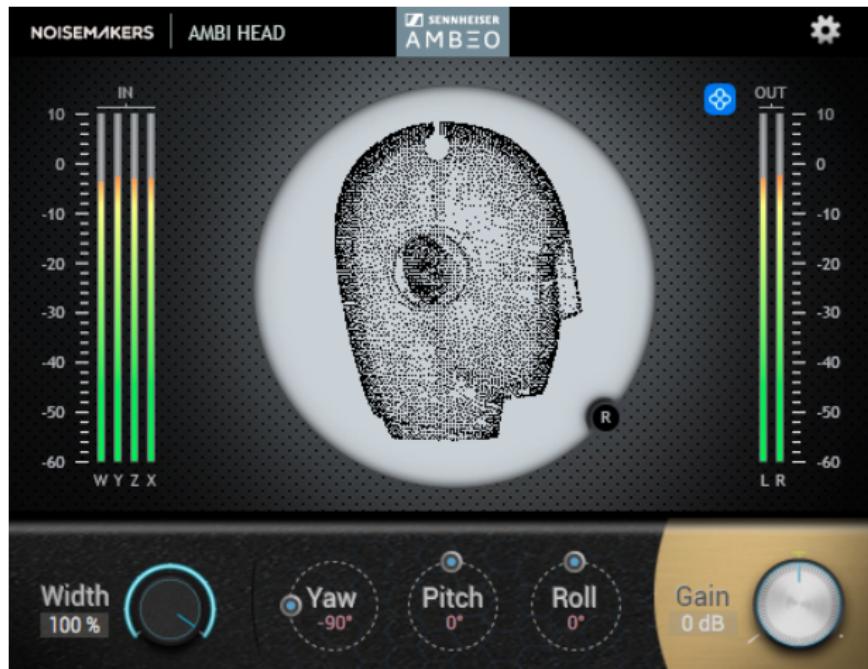
# Binaural

## Interpolación de HRTFs



# Binaural

## Ambisonics - Binaural



# Outline

## Introducción

Presentación

Contexto

## Escucha espacial

Fundamentos de localización

HRTF

## Síntesis de Sonido 3D

Panning de Amplitud

VBAP

Ambisonics

Wave Field Synthesis

Binaural

## Transaural

Sumario

## Aplicaciones

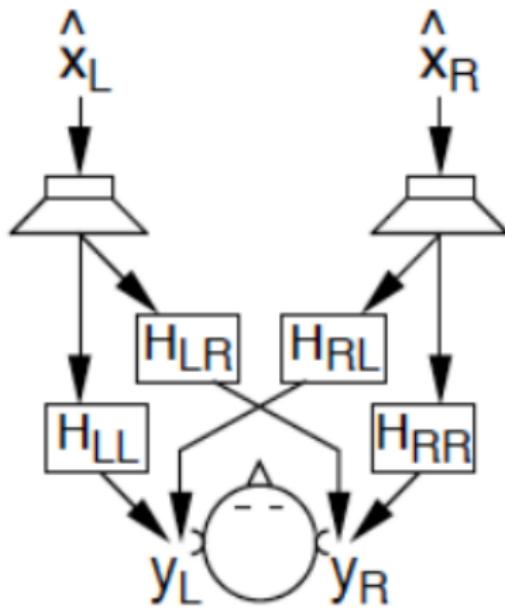
Realidad Virtual

Sonido Immersivo

Separación de Fuentes

# Transaural

Binaural sobre altavoces



# Transaural

Binaural sobre altavoces

$$\mathbf{e} = \mathbf{H}\mathbf{Cx} \quad (5)$$

$$\mathbf{C} = \mathbf{H}^{-1} = \frac{1}{D} \begin{bmatrix} H_{RR} & -H_{RL} \\ -H_{LR} & H_{LL} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$D = H_{LL}H_{RR} - H_{LR}H_{RL} \quad (7)$$

# Outline

## Introducción

Presentación

Contexto

## Escucha espacial

Fundamentos de localización

HRTF

## Síntesis de Sonido 3D

Panning de Amplitud

VBAP

Ambisonics

Wave Field Synthesis

Binaural

Transaural

## Sumario

## Aplicaciones

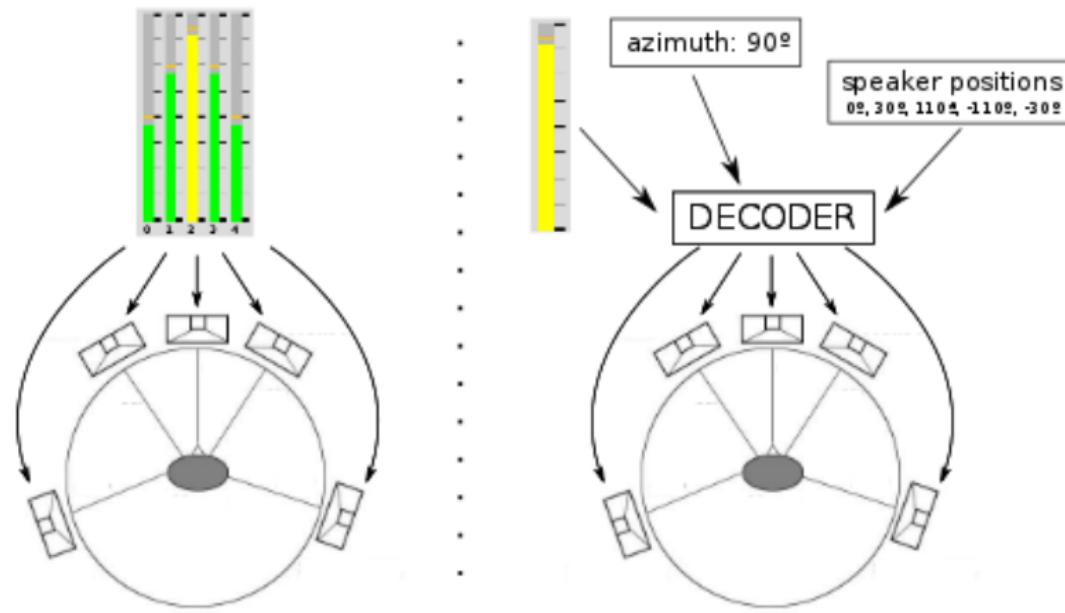
Realidad Virtual

Sonido Immersivo

Separación de Fuentes

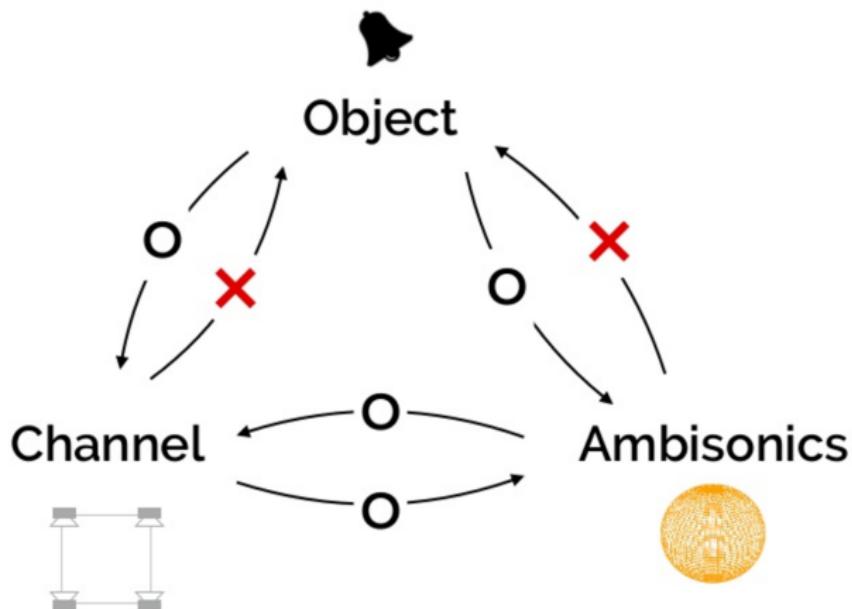
# Sumario

## Channel-Based vs. Object-Based



# Sumario

## Tipología de Formatos Espaciales



# Comparación

## VBAP

- + Simple
- + Sweet Spot grande
- Tamaño de fuente variable
- Carga computacional (búsqueda de triángulos)

# Comparación

## Ambisonics

- + Representación intermedia
- + Conversión a binaural
- Orden alto para buen sweet spot y directividad
- Necesidad de decodificación

# Comparación

## WFS

- + Sweet Spot máximo
- + Sonido dentro del Sweet Spot
- Sólo horizontal
- Carga computacional

# Outline

## Introducción

Presentación

Contexto

## Escucha espacial

Fundamentos de localización

HRTF

## Síntesis de Sonido 3D

Panning de Amplitud

VBAP

Ambisonics

Wave Field Synthesis

Binaural

Transaural

Sumario

## Aplicaciones

Realidad Virtual

Sonido Immersivo

Separación de Fuentes

# Realidad Virtual



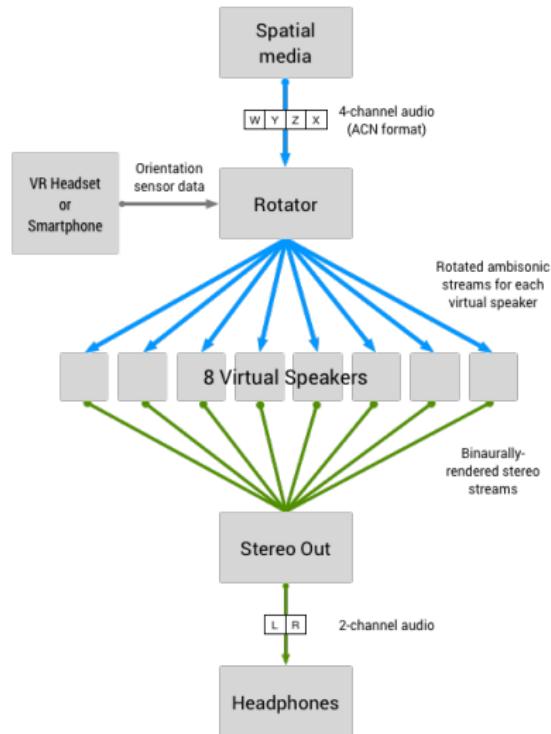
# Ambisonics y Realidad Virtual

- ▶ Representación intermedia es channel-based:
  - ▶ Formato consistente
- ▶ Transformaciones geométricas
  - ▶ Directional Loudness
  - ▶ Warping
  - ▶ **Rotación: Head-Tracking**

# Realidad Virtual



# Realidad Virtual



# Outline

## Introducción

Presentación

Contexto

## Escucha espacial

Fundamentos de localización

HRTF

## Síntesis de Sonido 3D

Panning de Amplitud

VBAP

Ambisonics

Wave Field Synthesis

Binaural

Transaural

Sumario

## Aplicaciones

Realidad Virtual

**Sonido Immersivo**

Separación de Fuentes

# Sonido Immersivo

Dolby Atmos



# Sonido Immersivo

Sfear Dome



# Outline

## Introducción

Presentación

Contexto

## Escucha espacial

Fundamentos de localización

HRTF

## Síntesis de Sonido 3D

Panning de Amplitud

VBAP

Ambisonics

Wave Field Synthesis

Binaural

Transaural

Sumario

## Aplicaciones

Realidad Virtual

Sonido Immersivo

## Separación de Fuentes

# Separación de Fuentes

## Efecto Cocktail-Party

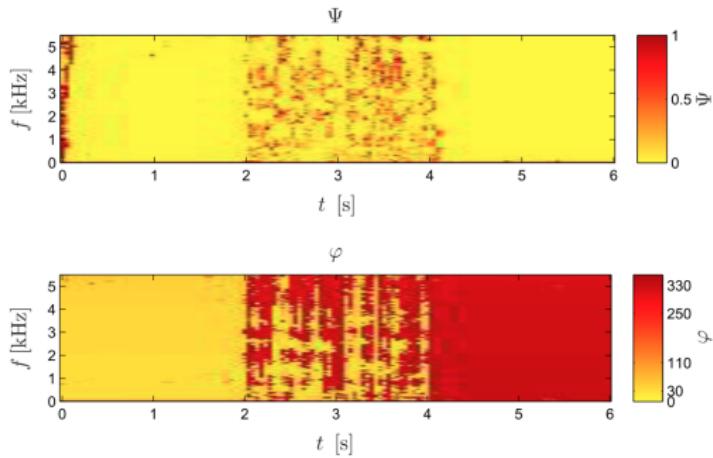


# Separación de Fuentes

## Análisis del Vector Intensidad

$$\Psi(k, n) = 1 - \frac{\| \langle I_a(k, n) \rangle_t \|}{\langle \| I_a(k, n) \| \rangle_t}$$

$$I_a(k, n) = \frac{1}{2} \Re \left\{ P(k, n) \cdot \overline{U(k, n)} \right\}$$



¡Gracias!  
¿Preguntas?