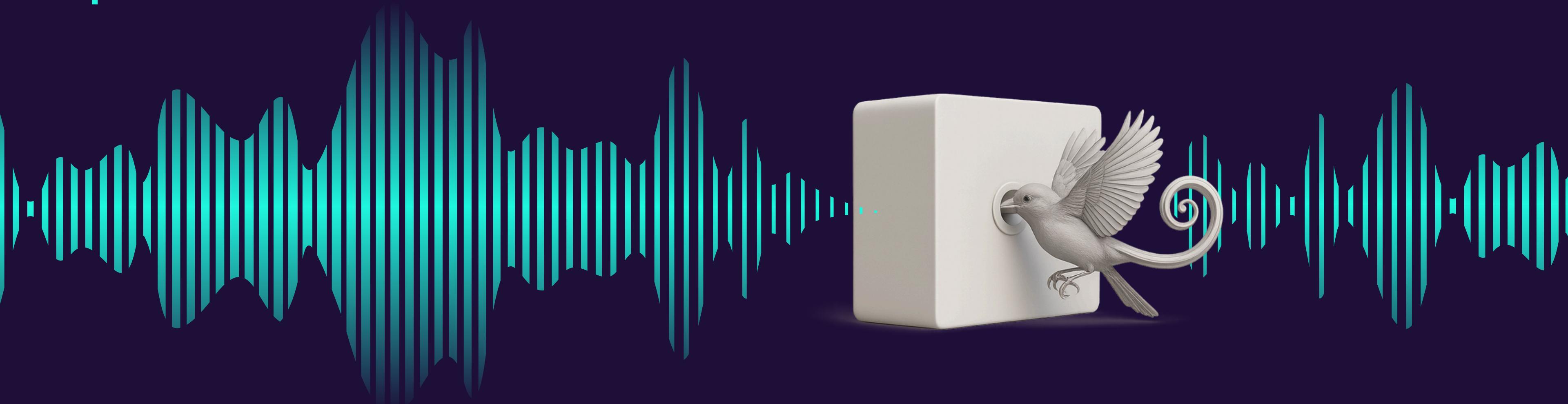


**Spectron-01**



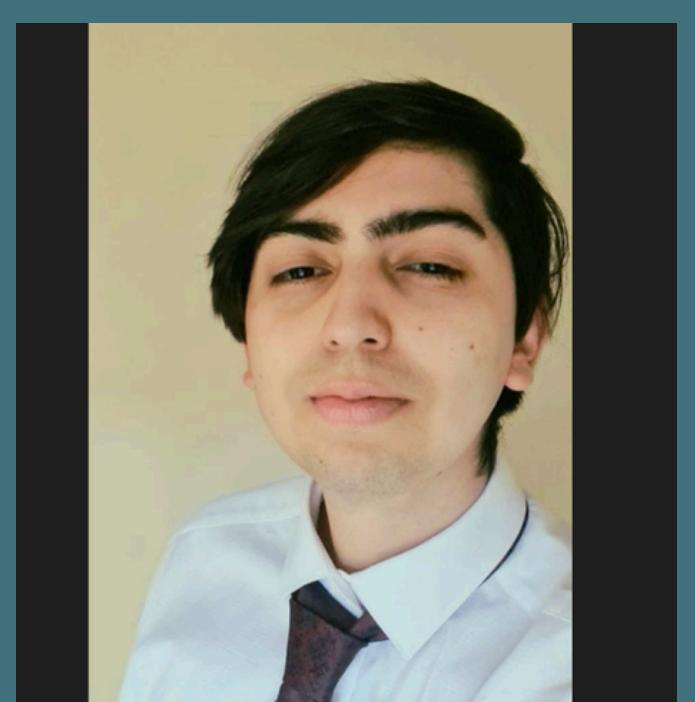
**Simulación acústica  
Convolución**

# Temas principales





**Fernando Castillo**

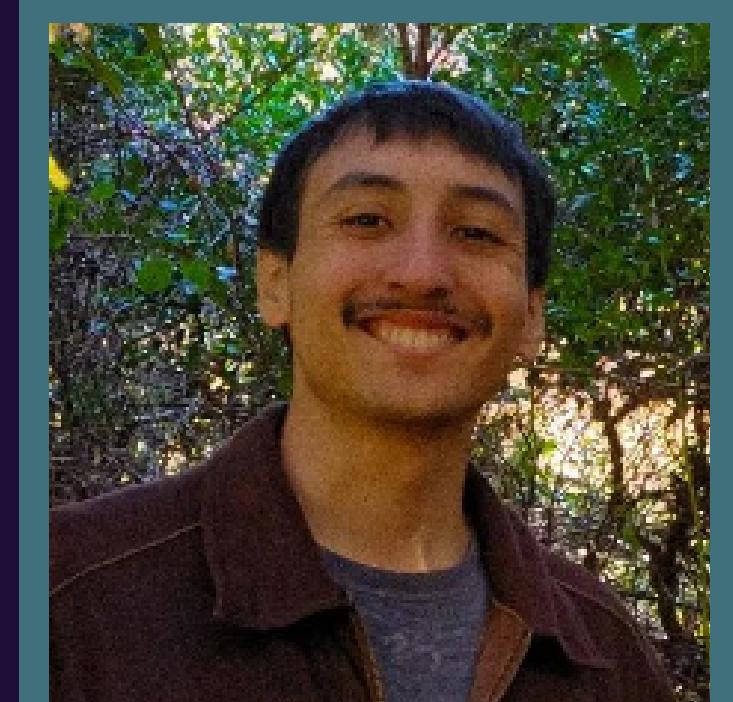


**Vicente Alves**

# Equipo



**Carlos Duarte**



**Antonio Duque**

# Contexto

La Pirámide de Kukulkán en Chichén Itzá produce un fenómeno acústico extraordinario: al aplaudir frente a sus escalinatas, el eco resultante imita el canto del quetzal, el ave sagrada maya.

Estudios con procesamiento digital de señales (DSP) han confirmado que la geometría de los 91 escalones actúa como un filtro natural. Esta estructura dispersa la onda de sonido y, a la vez, refuerza las frecuencias específicas que corresponden al canto del ave, sugiriendo un posible y avanzado conocimiento acústico intencional por parte de los mayas.



# Convolución

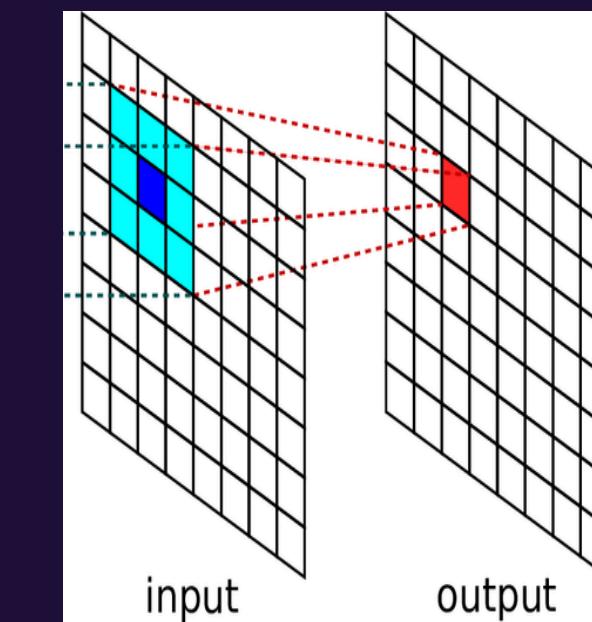
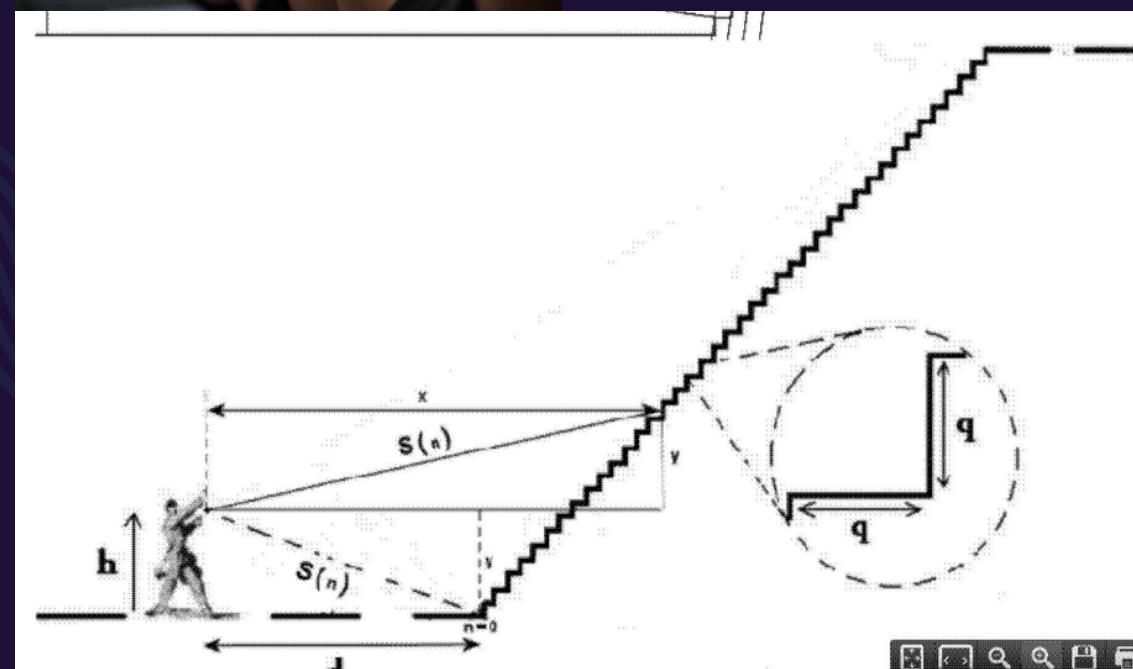
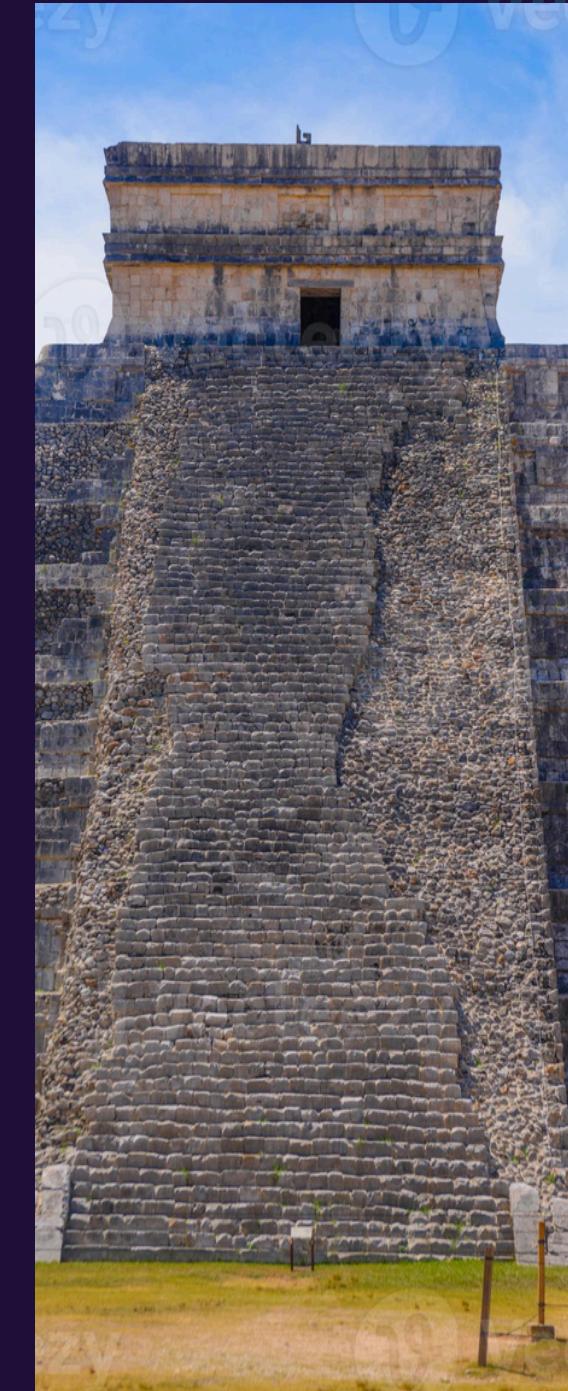
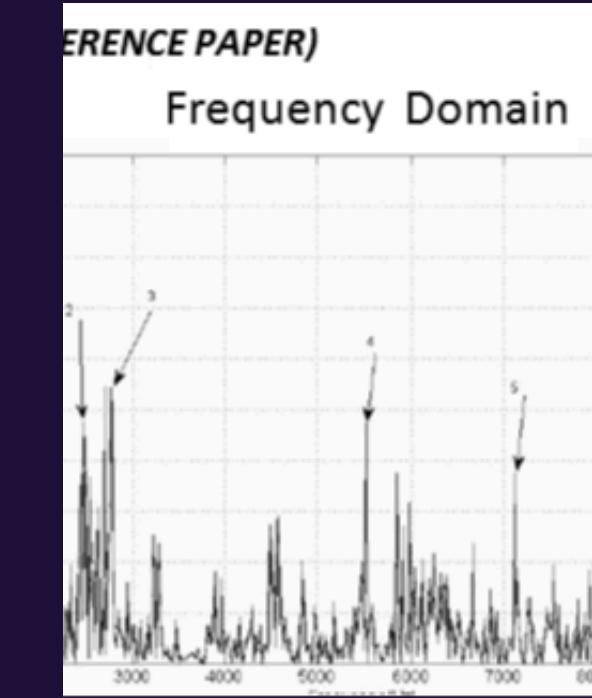
Operación matemática que explica cómo un sistema transforma una señal de entrada.

Combina la Señal de Entrada (el aplauso) con la Respuesta al Impulso del sistema (la firma acústica de la pirámide, determinada por sus escalones).

Para generar la Señal de Salida (el eco del Quetzal). Es decir, la convolución modela cómo la geometría escalonada actúa como un filtro natural, superponiendo los múltiples pequeños ecos del aplauso para crear la modulación específica del canto del ave.



# Estado del arte



# Estado del arte

Continuos Time

$$x(t) * y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) y(t-\tau) d\tau$$

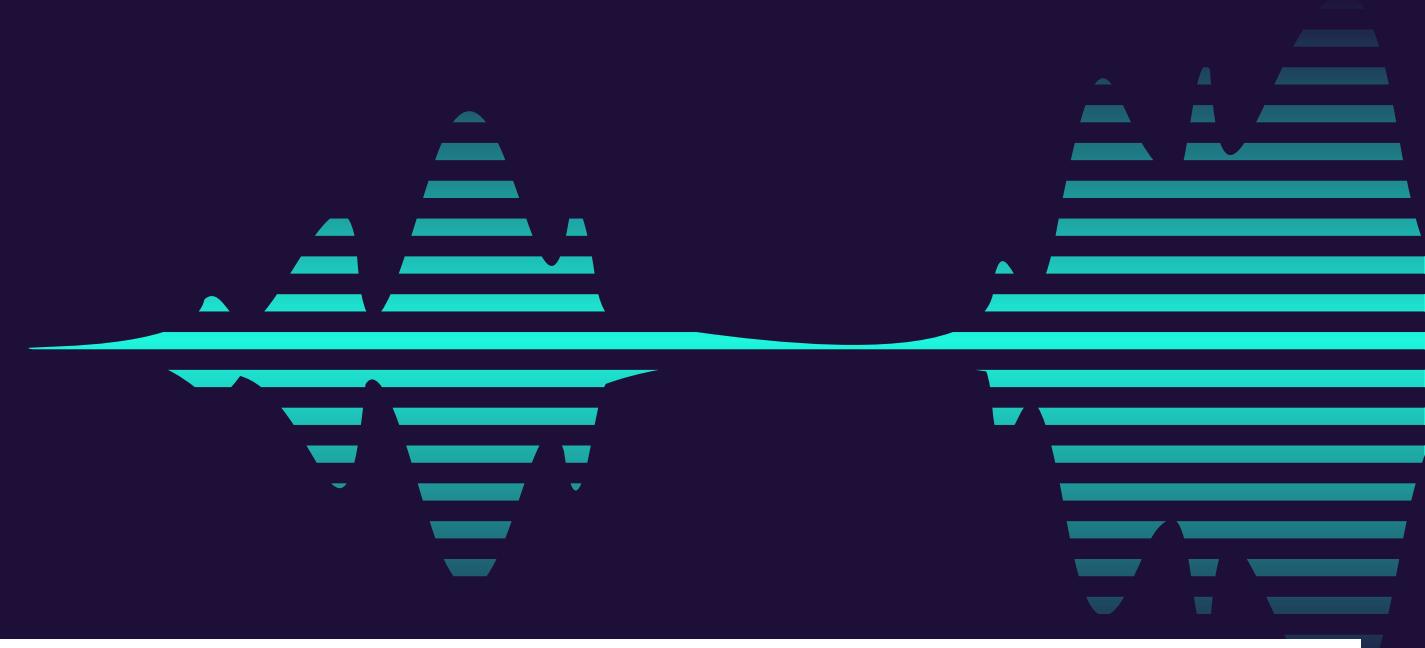
Discrete Time

$$x[n] * y[n] = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x[n] y[n-k]$$

# OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo computacional en Python que utilice la convolución para simular la respuesta acústica de un sonido de entrada, reproduciendo una simulación de salida similar dado cierto material

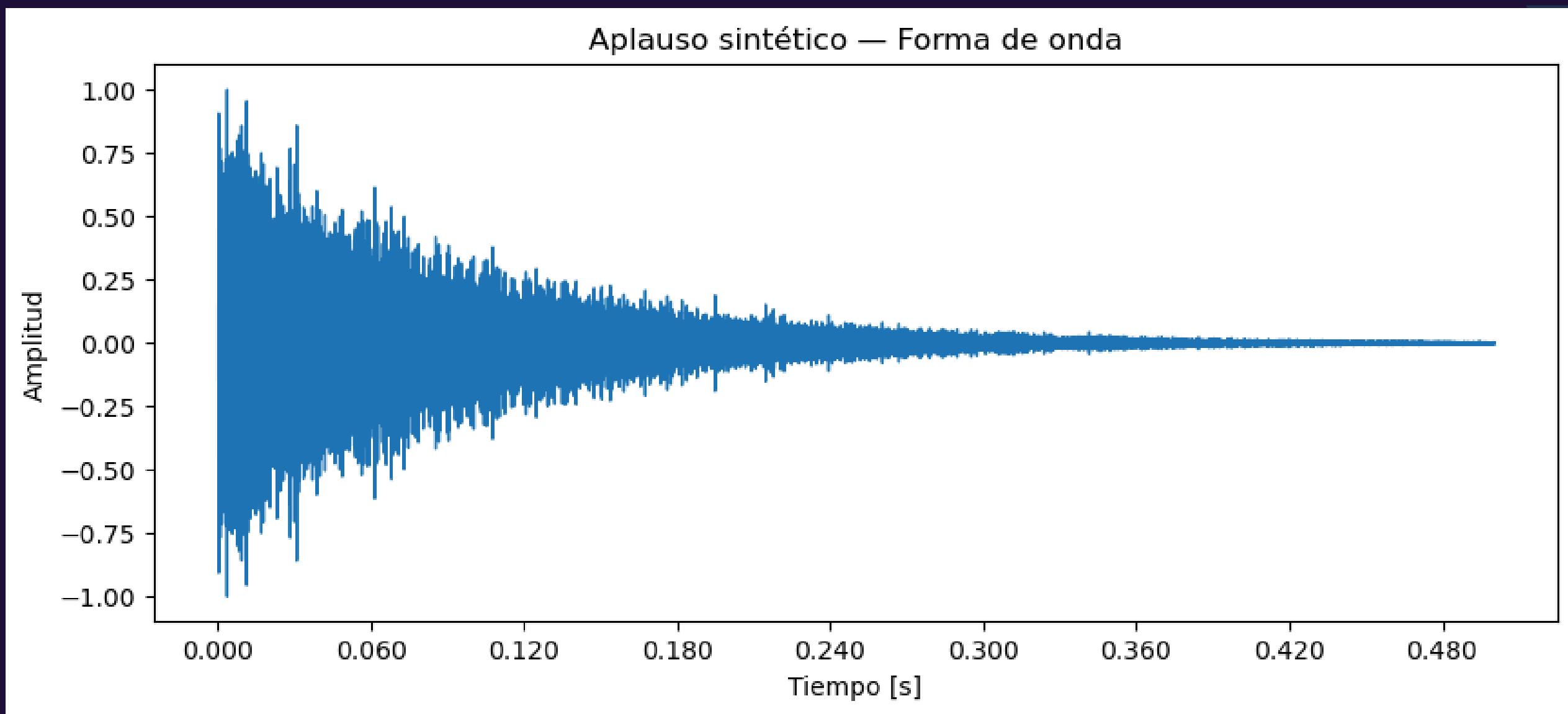
# Metodología



## 1.

### Análisis preliminar

Generación y  
caracterización de  
señales de prueba



# Metodología



## 2.

### Respuesta al impulso

En acústica, representa la caracterización completa de un espacio o sistema acústico lineal.

#### IR de salas simuladas (pyroomacoustics):

Sala pequeña:  $5 \times 4 \times 3$  m

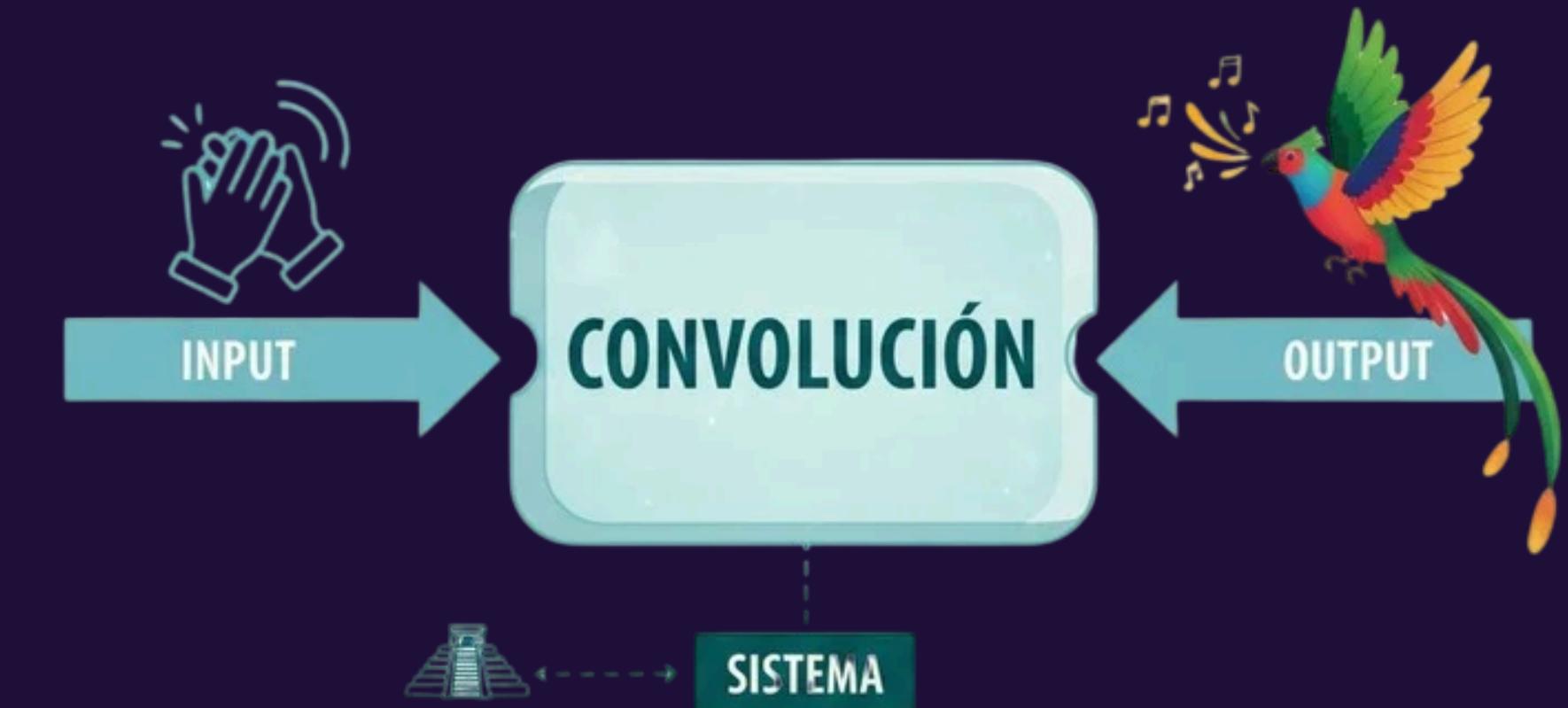
Sala mediana:  $10 \times 8 \times 4$  m

Sala grande:  $20 \times 15 \times 8$  m,

# Metodología

## 3. Convolución

La convolución es la operación matemática que combina dos señales para producir una tercera.



$$\text{Señal auralizada} = \text{Señal Seca} * \text{Respuesta al impulso}$$

Aplicar esa acústica a la señal seca

Señal original sin efectos

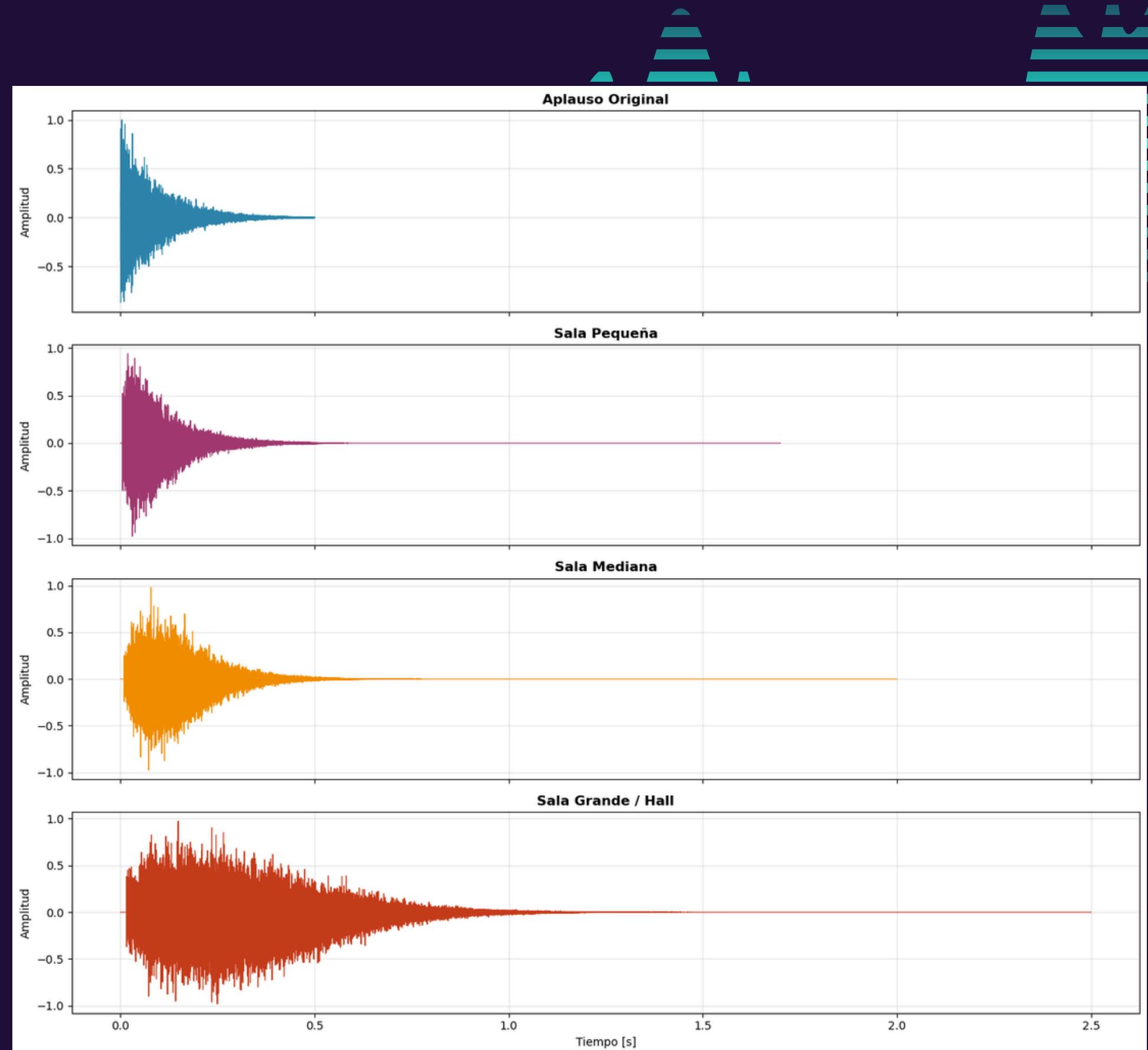
Describe cómo suena un espacio

# Metodología

## 4.

### Implementación

- Procesamiento:  
convolución
- Salida: reproductor  
de audio, forma de  
onda, espectrograma



# ¿Que se busca con este análisis?

## AURALIZACIÓN

Simular cómo sonaría una fuente en un espacio específico

## ANÁLISIS DE ESPACIOS

Entender características acústicas mediante visualización de IR

## VALIDACIÓN DEL MODELO

Comparar audio simulado con grabaciones reales

## DISEÑO ACÚSTICO

Experimentar con diferentes geometrías y materiales

# Avance Hito 3

Validación del modelo escalonado vs. grabaciones reales del efecto Quetzal.

IRs pirámide

Sintéticas para mayor realismo y precisión.

Documentación final y limpieza del código.



# Modelo interactivo

**Hito 2 · Prototipo de Convolución**

Explora el fenómeno del "eco del quetzal" y tres presets de salas. Configura la señal de entrada (duración del aplauso o barrido), selecciona la IR y aplica filtros sencillos.

**Frecuencia de muestreo**  
48000

**Señal de entrada**  
Aplauso sintético

**Duración aplauso sintético [s]**  
0.05 - 0.5 (0.14)

**Duración barrido senoidal [s]**  
0.5 - 5 (2)

**Audio personalizado (usa esta entrada cuando selecciones 'Subir un audio')**  
Coloque el audio aquí  
- O -  
Haga clic para cargar

**Respuesta al impulso**  
Sala mediana  
 Normalizar salida

**Filtro posterior**  
Ninguno

**Frecuencia baja [Hz]**  
20 - 5000 (200)

**Señal de entrada**  
Señal de entrada

**Respuesta al impulso**  
Respuesta al impulso

**Auralización (salida)**  
Auralización (salida)

**Forma de onda**  
Forma de onda

**Espectrograma**  
Espectrograma

The background of the image features two sets of abstract, wavy blue lines. One set of lines originates from the left edge and curves upwards towards the center. The other set originates from the right edge and curves downwards towards the center. These lines are composed of multiple thin, overlapping curves, creating a sense of depth and motion.

**Gracias**  
**Spectron-01**