



UNIVERSIDAD DE LEÓN

GRADO EN INGENIERÍA DE DATOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL
SEÑALES Y SISTEMAS

Análisis de Contaminación Acústica



Autores:

Jaime Alvarado Fernández
Miguel Sánchez Rodríguez

Índice

1. Introducción	2
2. Conjunto de datos	2
2.1. Descripción del dataset ESC-50	2
2.2. Selección ejemplos	2
2.3. Preprocesamiento de las señales	2
3. Análisis de las señales acústicas	3
3.1. Análisis en el dominio temporal	3
3.2. Análisis en el dominio frecuencial	4
3.3. Espectrogramas y Transformada de Fourier de Tiempo Corto (STFT)	5
3.4. Espectrogramas en escala Mel	6
4. Métricas acústicas	8
4.1. Energía y nivel de potencia	8
4.2. Análisis espectral y bandas de frecuencia	9
4.3. Comparación entre distintos tipos de ruido	10
5. Reducción de ruido	11
5.1. Filtrado en frecuencia	11
5.2. Análisis comparativo de señales originales y filtradas	11
6. Resultados y discusión	12
7. Bibliografía	13

1. Introducción

El siguiente trabajo aborda el análisis de la contaminación acústica en señales de audio ambiental, una problemática relevante dentro del tratamiento digital de señales y el estudio de entornos urbanos. El objetivo principal es analizar y caracterizar distintos tipos de ruido ambiental presentes en grabaciones reales mediante técnicas de análisis temporal y frecuencial.

Los objetivos específicos del trabajo son:

- Analizar y procesar señales acústicas ambientales procedentes de distintos entornos urbanos.
- Aplicar transformadas y representaciones espectrales para identificar patrones característicos del ruido.
- Calcular y comparar señales mediante métricas acústicas objetivas.
- Estudiar métodos básicos de reducción de ruido mediante filtrado en frecuencia.

2. Conjunto de datos

2.1. Descripción del dataset ESC-50

Se utiliza el conjunto de datos ESC-50, una colección de 2000 grabaciones de audio ambiental organizadas en 50 clases semánticas, con 40 muestras por clase. Cada grabación tiene una duración de 5 segundos y una frecuencia de muestreo de 44.1 kHz. Las clases se agrupan en cinco categorías principales, que son sonidos urbanos, humanos, naturales, animales y domésticos.

2.2. Selección ejemplos

Dado el enfoque del trabajo, se ha seleccionado un subconjunto de diez audios del dataset ESC-50 representativos. Esta selección permite centrar el análisis en un número más reducido de ejemplos y facilitar la comparación entre distintos tipos de ruido ambiental.

2.3. Preprocesamiento de las señales

En el procesamiento de señales de audio ambiental, es fundamental trabajar con una frecuencia de muestreo adecuada que permita capturar la información acústica relevante. En este caso, al utilizar el dataset nombrado cuyas grabaciones están muestreadas a una frecuencia de 44.1 kHz, garantiza una correcta representación del contenido espectral de las señales acústicas, evitando pérdidas de información relevantes en el análisis frecuencial.

Asimismo, todas las grabaciones presentan una duración fija de 5 segundos, lo que simplifica el tratamiento de las señales y facilita la comparación directa entre distintos entornos acústicos sin necesidad de segmentación adicional.

Animals	Natural soundscapes & water sounds	Human, non-speech sounds	Interior/domestic sounds	Exterior/urban noises
Dog	Rain	Crying baby	Door knock	Helicopter
Rooster	Sea waves	Sneezing	Mouse click	Chainsaw
Pig	Crackling fire	Clapping	Keyboard typing	Siren
Cow	Crickets	Breathing	Door, wood creaks	Car horn
Frog	Chirping birds	Coughing	Can opening	Engine
Cat	Water drops	Footsteps	Washing machine	Train
Hen	Wind	Laughing	Vacuum cleaner	Church bells
Insects (flying)	Pouring water	Brushing teeth	Clock alarm	Airplane
Sheep	Toilet flush	Snoring	Clock tick	Fireworks
Crow	Thunderstorm	Drinking, sipping	Glass breaking	Hand saw

Figura 1: Clases del conjunto de datos ESC-50

3. Análisis de las señales acústicas

3.1. Análisis en el dominio temporal

El análisis en el dominio temporal constituye el primer paso para la comprensión de la naturaleza de las señales acústicas. En este apartado se estudia la evolución temporal de un conjunto representativo de señales de audio procedentes de distintos entornos, con el objetivo de observar sus características básicas y su variabilidad.

Para ello, se han seleccionado un total de diez archivos de audio pertenecientes a cinco categorías diferentes del conjunto de datos ESC-50: sonidos urbanos (exterior), sonidos humanos no hablados (persona), sonidos de animales, sonidos domésticos (interior) y sonidos naturales. Cada categoría está representada mediante dos señales distintas, lo que permite analizar tanto la variabilidad entre clases como la variabilidad dentro de una misma clase sonora.

Todas las señales tienen una duración de cinco segundos y han sido normalizadas en amplitud para facilitar su comparación. En estas representaciones se observa claramente cómo la forma de onda varía en función del entorno acústico del que procede la señal.

Los sonidos urbanos y domésticos presentan, en general, eventos impulsivos bien definidos y picos de amplitud asociados a acciones concretas, como golpes o mecanismos mecánicos. En el caso de los sonidos humanos no hablados, se aprecia una combinación de eventos transitorios y regiones de menor energía, reflejando la naturaleza irregular de estos sonidos. Por su parte, las señales de origen animal muestran patrones más estructurados. Finalmente, los sonidos naturales destacan por su carácter más continuo y estocástico, con una energía distribuida de forma más homogénea a lo largo del tiempo.

Este análisis temporal permite identificar de forma cualitativa las diferencias fundamentales entre los distintos tipos de señales acústicas y pone de manifiesto la elevada variabilidad existente incluso dentro de una misma clase sonora. Estas observaciones justifican la necesidad de aplicar posteriormente técnicas de análisis en el dominio frecuencial para una caracterización más completa de las señales.

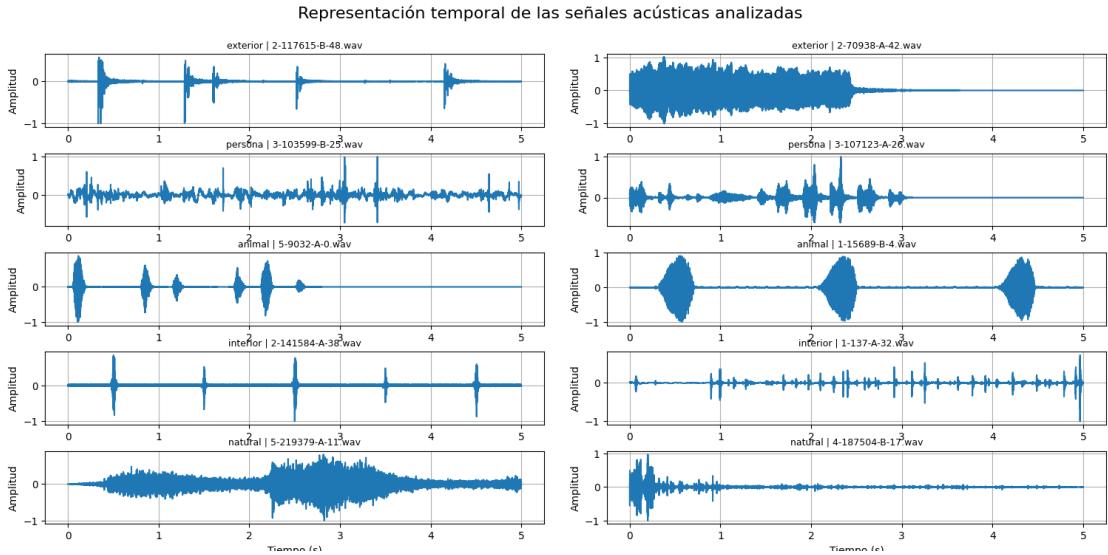


Figura 2: Representación temporal de las señales acústicas analizadas

3.2. Análisis en el dominio frecuencial

El análisis en el dominio frecuencial permite estudiar la distribución de la energía de las señales acústicas en función de la frecuencia, proporcionando información complementaria a la observada en el dominio temporal. Para ello, se ha calculado el espectro de magnitud de las mismas diez señales de audio analizadas previamente mediante la Transformada Discreta de Fourier (DFT).

La Figura 3 muestra los espectros de frecuencia correspondientes a cada una de las señales, representados hasta los 5000 Hz.

En los sonidos procedentes de entornos urbanos exteriores se observa una concentración significativa de energía en bajas y medias frecuencias, asociada principalmente a fuentes mecánicas como motores o tráfico rodado. Este tipo de señales presenta además un espectro relativamente amplio, reflejando la coexistencia de múltiples fuentes sonoras.

Las señales correspondientes a sonidos humanos no hablados muestran una mayor concentración de energía en el rango de frecuencias medias, aproximadamente entre 100 Hz y 3000 Hz. Esta distribuciónpectral es coherente con los mecanismos de producción vocal y con la presencia de formantes característicos del aparato fonador humano.

En el caso de los sonidos de origen animal, el espectro presenta picos bien definidos en determinadas bandas de frecuencia, indicando la existencia de componentes quasi-periódicas. Estas señales muestran una mayor estructura armónica en comparación con los sonidos urbanos o naturales.

Los sonidos domésticos de interior exhiben una distribución espectral mixta, combinando componentes de baja frecuencia asociadas a sistemas mecánicos con un contenido más extendido en frecuencias medias y altas. Esta característica refleja la naturaleza heterogénea de los dispositivos y acciones que generan este tipo de señales.

Finalmente, las señales de origen natural se caracterizan por un espectro más continuo y menos estructurado, con una energía distribuida de forma más uniforme en un amplio rango de frecuencias. Este comportamiento es típico de señales

de carácter estocástico, como en este caso, y contrasta con la presencia de picos espectrales observada en otras categorías.

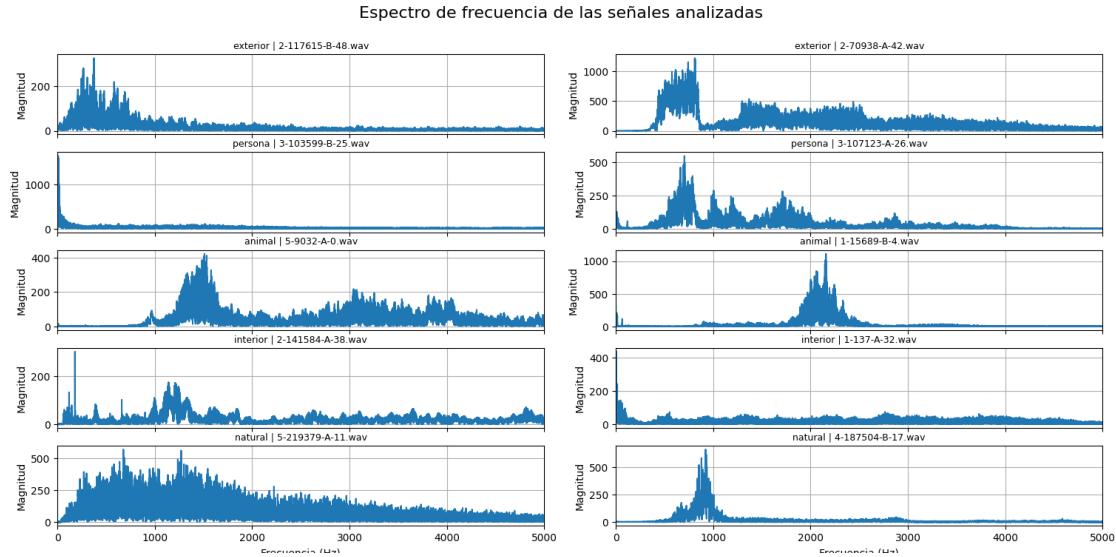


Figura 3: Espectro de frecuencia de las señales acústicas analizadas

3.3. Espectrogramas y Transformada de Fourier de Tiempo Corto (STFT)

El análisis en el dominio temporal y en el dominio frecuencial proporciona información relevante sobre las señales acústicas, pero resulta insuficiente cuando las propiedades espectrales de la señal varían con el tiempo. Dado que muchas señales acústicas ambientales son inherentemente no estacionarias, es necesario emplear herramientas que permitan analizar de forma conjunta la evolución temporal y frecuencial de la señal.

Con este objetivo, se ha utilizado la Transformada de Fourier de Tiempo Corto (Short-Time Fourier Transform, STFT). De este modo, se obtiene una representación tiempo-frecuencia que permite observar cómo se distribuye la energía espectral a lo largo del tiempo. Matemáticamente, la STFT de una señal discreta $x[n]$ se define como:

$$\text{STFT}\{x[n]\}(m, \omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] w[n - m] e^{-j\omega n},$$

donde $w[n]$ es la ventana de análisis centrada en el instante temporal m .

La representación gráfica del módulo de la STFT da lugar al spectrograma, en el que el eje horizontal corresponde al tiempo, el eje vertical a la frecuencia y el color indica la magnitud o energía de la señal en cada instante y banda de frecuencia. Esta representación resulta especialmente adecuada para el estudio de señales acústicas complejas y no estacionarias.

La Figura 4 muestra los spectrogramas correspondientes a las diez señales analizadas.

En los sonidos urbanos exteriores se observa una presencia variaciones temporales asociadas a eventos mecánicos o al movimiento de la fuente sonora. Las señales

humanas no habladas presentan estructuras espectrales más definidas y transitórias, con bandas de energía que aparecen y desaparecen en el tiempo, reflejando la naturaleza dinámica de la actividad corporal.

En el caso de los sonidos de origen animal, los espectrogramas muestran patrones claramente estructurados, con bandas de frecuencia bien delimitadas que se repiten en el tiempo, indicando la existencia de componentes cuasi-periódicas. Por su parte, los sonidos domésticos de interior presentan una combinación de eventos impulsivos y regiones de energía más continua, mientras que los sonidos naturales se caracterizan por una distribución más homogénea de la energía en el plano tiempo-frecuencia.

El análisis mediante espectrogramas pone de manifiesto la elevada variabilidad temporal y espectral de las señales acústicas ambientales y permite identificar patrones característicos de cada entorno. Esta información resulta fundamental para la posterior extracción de métricas acústicas y para el diseño de técnicas de procesado y reducción de ruido basadas en el contenido tiempo-frecuencial de la señal.

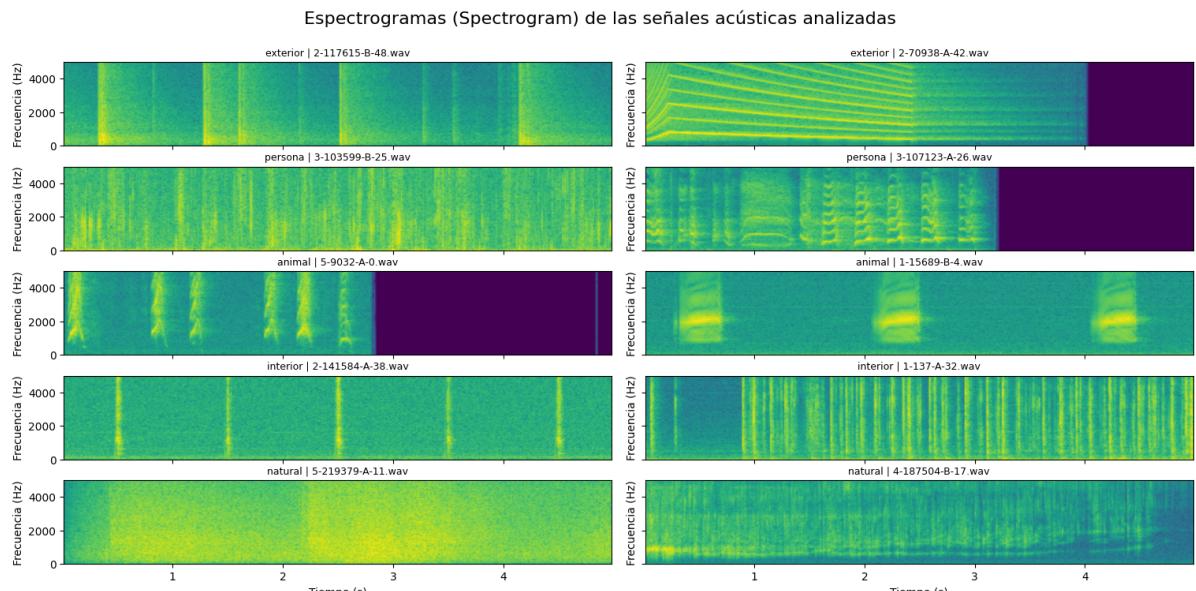


Figura 4: Espectrogramas de las señales acústicas analizadas.

3.4. Espectrogramas en escala Mel

Aunque el espectrograma obtenido mediante la Transformada de Fourier de Tiempo Corto (STFT) permite analizar con detalle el contenido tiempo-frecuencia de las señales acústicas, esta representación no tiene en cuenta la forma en que el sistema auditivo humano percibe las distintas frecuencias. Con el objetivo de aproximar el análisis espectral a la percepción humana del sonido, se emplea la escala Mel.

La escala Mel es una transformación no lineal de la frecuencia que asigna una mayor resolución a las frecuencias bajas y una resolución progresivamente menor a las frecuencias altas, de acuerdo con la sensibilidad del oído humano. La relación entre la frecuencia en hercios f y la frecuencia en escala Mel se define como:

$$\text{mel}(f) = 2595 \log_{10} \left(1 + \frac{f}{700} \right).$$

El uso de espectrogramas en escala Mel facilita la identificación de patrones acústicos relevantes desde un punto de vista perceptual y constituye una herramienta fundamental para la posterior extracción de características acústicas y el análisis comparativo entre distintos entornos sonoros.

La Figura 5 muestra los espectrogramas en escala Mel correspondientes a las diez señales acústicas analizadas. En comparación con los espectrogramas lineales, esta representación resalta con mayor claridad las diferencias entre señales procedentes de distintos entornos acústicos, especialmente en las bandas de baja frecuencia, donde se concentra gran parte de la información perceptualmente relevante.

En los sonidos urbanos exteriores se observa una elevada energía en las bandas Mel inferiores. Las señales humanas no habladas presentan patrones temporales bien definidos en bandas Mel medias, reflejando la actividad corporal. En el caso de los sonidos de origen animal, se aprecian estructuras repetitivas y concentraciones de energía en bandas específicas, mientras que los sonidos domésticos de interior muestran una combinación de eventos impulsivos y regiones de energía más continua. Por último, los sonidos naturales se caracterizan por una distribución más uniforme de la energía en las bandas Mel, coherente con su carácter estocástico.

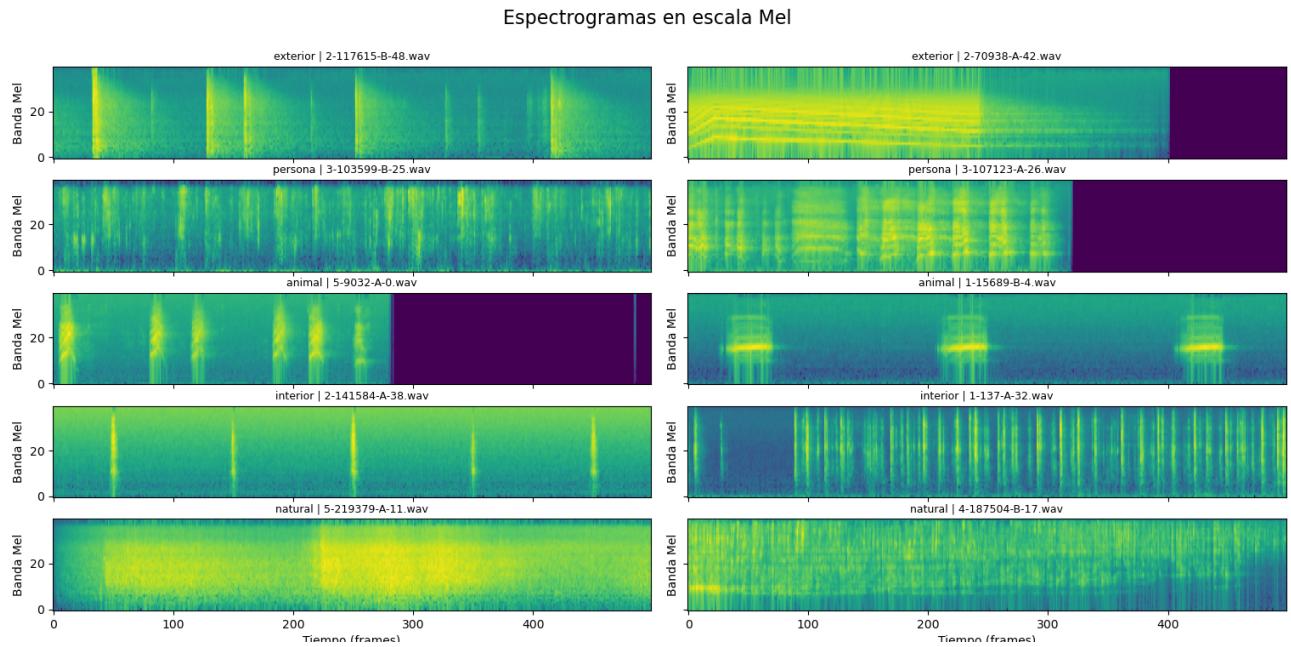


Figura 5: Espectrogramas en escala Mel de las señales acústicas analizadas

4. Métricas acústicas

4.1. Energía y nivel de potencia

Con el fin de cuantificar las diferencias observadas en los análisis temporal y frecuencial, se han calculado diversas métricas acústicas básicas para las señales analizadas. En este apartado se estudian la energía, la potencia media y el nivel de potencia expresado en decibelios.

Para una señal discreta $x[n]$ de longitud N , la energía se define como:

$$E = \sum_{n=0}^{N-1} |x[n]|^2,$$

mientras que la potencia media se calcula como:

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |x[n]|^2.$$

A partir de la potencia, el nivel de potencia en decibelios se obtiene mediante:

$$P_{\text{dB}} = 10 \log_{10}(P).$$

La Tabla 1 recoge los valores de energía, potencia media y nivel de potencia calculados para los diez archivos de audio analizados.

Clase	Archivo	Energía	Potencia	Nivel Potencia (dB)
exterior	fuegos artificiales	233.31	0.001058	-29.75
exterior	ambulancia	10599.30	0.048069	-13.18
persona	persona comiendo	649.63	0.002946	-25.31
persona	persona riendo	899.42	0.004079	-23.89
animal	perro	1022.07	0.004635	-23.34
animal	rana croando	1906.60	0.008647	-20.63
interior	reloj	227.80	0.001033	-29.86
interior	teclado	104.23	0.000473	-33.25
natural	rio	2745.88	0.012453	-19.05
natural	agua	690.92	0.003133	-25.04

Cuadro 1: Energía, potencia media y nivel de potencia de las señales acústicas analizadas.

El análisis de los resultados muestra diferencias claras entre las distintas clases acústicas. Los sonidos procedentes de entornos urbanos exteriores presentan, en general, valores de potencia más elevados, reflejando la presencia de fuentes sonoras de gran intensidad. En particular, el archivo *2-70938-A-42.wav* (ambulancia) presenta el mayor nivel de potencia, coherente con su carácter altamente energético observado en los análisis previos.

Las señales humanas y de origen animal muestran niveles de potencia intermedios, asociados a eventos transitorios de intensidad moderada. Por su parte, los sonidos domésticos de interior presentan los niveles de potencia más bajos, debido a la presencia de eventos aislados y periodos prolongados de baja actividad acústica.

Finalmente, los sonidos naturales presentan una variabilidad significativa en términos de energía y potencia, lo que refleja la diversidad de fenómenos físicos que los generan. En conjunto, estas métricas cuantitativas confirman las observaciones realizadas en los análisis temporal, frecuencial y tiempo-frecuencia, y proporcionan una base objetiva para la comparación entre distintos entornos acústicos.

4.2. Análisis espectral y bandas de frecuencia

Con el objetivo de profundizar en el estudio del contenido espectral de las señales acústicas analizadas, se ha realizado un análisis cuantitativo de la energía distribuida en distintas bandas de frecuencia. Este tipo de análisis permite identificar qué rangos frecuenciales son más relevantes para cada clase sonora y complementa los resultados obtenidos mediante el espectro de Fourier y los espectrogramas.

Para cada señal se ha calculado la energía espectral acumulada en tres bandas de frecuencia definidas de acuerdo con el rango de interés del estudio:

- **Bajas frecuencias:** 0–500 Hz
- **Frecuencias medias:** 500–2000 Hz
- **Altas frecuencias:** 2000–5000 Hz

Estas bandas permiten diferenciar entre componentes asociadas a vibraciones mecánicas y fuentes de gran tamaño (bajas frecuencias), actividad humana (frecuencias medias), y sonidos impulsivos o de fricción (altas frecuencias).

La Tabla 2 recoge los valores de energía espectral obtenidos.

Clase	Archivo	Bajas (0–500 Hz)	Medias (500–2000 Hz)	Altas (2000–5000 Hz)
exterior	fuegos artificiales	$1,52 \times 10^7$	$9,24 \times 10^6$	$9,65 \times 10^5$
exterior	2-70938-A-42.wav	$5,79 \times 10^7$	$9,04 \times 10^8$	$2,04 \times 10^8$
persona	persona comiendo	$5,71 \times 10^7$	$9,57 \times 10^6$	$2,77 \times 10^6$
persona	persona riendo	$1,76 \times 10^6$	$9,16 \times 10^7$	$5,46 \times 10^6$
animal	perro	$7,96 \times 10^3$	$6,24 \times 10^7$	$4,71 \times 10^7$
animal	rana croando	$4,62 \times 10^5$	$3,10 \times 10^7$	$1,79 \times 10^8$
interior	reloj	$8,62 \times 10^5$	$1,40 \times 10^7$	$6,80 \times 10^6$
interior	teclado	$2,24 \times 10^6$	$2,64 \times 10^6$	$5,53 \times 10^6$
natural	rio	$3,32 \times 10^7$	$2,05 \times 10^8$	$5,77 \times 10^7$
natural	agua	$8,30 \times 10^4$	$7,39 \times 10^7$	$1,41 \times 10^6$

Cuadro 2: Energía espectral distribuida en distintas bandas de frecuencia para las señales acústicas analizadas.

El análisis de los resultados pone de manifiesto diferencias claras entre las distintas clases acústicas consideradas. En los sonidos de entornos exteriores, se observa una elevada energía en las bandas de bajas y medias frecuencias. Las señales humanas muestran un comportamiento más heterogéneo, aunque se aprecia una tendencia general a concentrar la energía en las frecuencias medias. Este patrón es coherente con las características espectrales típicas de los sonidos corporales.

En el caso de los sonidos de origen animal, la energía se distribuye principalmente entre las bandas media y alta, con una contribución relativamente menor de las bajas frecuencias. Este reparto energético es indicativo de señales con un contenido armónico y transitorio relevante, características habituales de sonidos de corta duración con alta variabilidad espectral. Los sonidos de interior presentan, en general, niveles de energía más reducidos en todas las bandas de frecuencia analizadas. No obstante, se observa una ligera predominancia de las frecuencias medias, lo que puede asociarse a ruidos domésticos o ambientales de intensidad moderada y contenido espectral limitado.

Por último, los sonidos de origen natural muestran una elevada variabilidad espectral. Algunos registros están dominados por las bajas frecuencias, mientras que otros presentan una mayor concentración de energía en el rango medio, reflejando la diversidad de fuentes sonoras presentes en entornos naturales.

4.3. Comparación entre distintos tipos de ruido

Una vez calculadas las métricas acústicas y analizada la distribución espectral de las señales en distintas bandas de frecuencia, es posible realizar una comparación global entre los distintos tipos de ruido considerados en el estudio. Esta comparación permite identificar patrones característicos asociados a cada entorno acústico y evaluar las diferencias tanto en términos de intensidad como de contenido frecuencial.

Los sonidos que provienen de los entornos urbanos suelen tener los niveles más altos de energía y potencia, destacando especialmente las bajas frecuencias que se asocian a fuentes mecánicas como el tráfico y la maquinaria. Además, estos ambientes son bastante variables, lo que refleja la presencia de múltiples fuentes sonoras que operan al mismo tiempo.

En cuanto a las señales humanas no verbales, estas presentan niveles intermedios de energía y potencia, con un espectro que se concentra principalmente en las frecuencias medias, lo cual es coherente con cómo producimos sonidos a través de la voz y el cuerpo. Estos patrones son consistentes en los espectros de frecuencia, spectrogramas y representaciones en escala Mel.

Los sonidos de origen animal muestran una mayor diversidad, con señales que concentran energía en frecuencias medias y altas, a menudo incluyendo componentes armónicos y eventos impulsivos, mientras que otras tienen una distribución más equilibrada entre las diferentes bandas.

Por otro lado, los sonidos domésticos de interior tienden a tener los niveles más bajos de energía y potencia, con un espectro dominado por frecuencias medias y una escasa presencia de altas frecuencias, lo que refleja la ocurrencia de eventos aislados y períodos prolongados de baja actividad acústica.

Finalmente, los sonidos naturales se caracterizan por una distribución de energía más uniforme y un comportamiento más aleatorio, con espectros continuos y menos variabilidad temporal y espectral en comparación con los entornos urbanos.

En conjunto, esta comparación pone de manifiesto que cada tipo de ruido presenta características acústicas diferenciadas tanto en el dominio temporal como en el frecuencial. Estas diferencias justifican el uso de métricas específicas y técnicas de análisis adaptadas a cada entorno acústico, y sientan las bases para el diseño de métodos de clasificación y reducción de ruido más eficaces.

5. Reducción de ruido

5.1. Filtrado en frecuencia

El filtrado consiste en ajustar el contenido espectral de una señal, lo que nos permite atenuar o eliminar ciertas bandas de frecuencia que no deseamos. Este tipo de procesamiento es especialmente valioso en el análisis de señales acústicas, donde el ruido tiende a concentrarse en rangos de frecuencia específicos.

Se han empleado filtros digitales pasa-bajo y pasa-alto para descomponer el contenido frecuencial de las señales acústicas. El filtrado pasa-bajo se encarga de atenuar las componentes de alta frecuencia, mientras que el filtrado pasa-alto se ocupa de eliminar las bajas frecuencias, ayudando así a reducir diferentes tipos de ruido.

5.2. Análisis comparativo de señales originales y filtradas

La señal original incluye todas las frecuencias que componen el sonido, abarcando desde el ruido de fondo hasta eventos puntuales. Cuando aplicamos un filtrado en frecuencia, notamos que el filtro pasa-bajo elimina las altas frecuencias, resultando en una señal más suave que mantiene la estructura general del sonido y se enfoca principalmente en las frecuencias bajas y medias. Por otro lado, el filtro pasa-alto se encarga de eliminar las bajas frecuencias, destacando los eventos rápidos y transitorios que están asociados a las altas frecuencias.

En el caso de los sonidos exteriores, el filtrado pasa-bajo conserva el ruido ambiental continuo, mientras que el pasa-alto pone de relieve los golpes y eventos impulsivos. En las señales relacionadas con la voz humana, el pasa-bajo suaviza la señal vocal, mientras que el pasa-alto resalta las variaciones rápidas y el ruido residual. En los sonidos de animales, las altas frecuencias son las más predominantes, lo que significa que el filtrado pasa-alto retiene la mayor parte de la señal, mientras que el pasa-bajo reduce notablemente su amplitud. En ambientes interiores, donde predominan los ruidos puntuales, el filtrado pasa-alto enfatiza los impulsos, mientras que el pasa-bajo disminuye su presencia. Finalmente, en los sonidos naturales, el filtrado pasa-bajo conserva gran parte de la energía de la señal original, reflejando un contenido que se inclina hacia las bajas y medias frecuencias, mientras que el pasa-alto elimina parte del sonido continuo y resalta pequeñas fluctuaciones de alta frecuencia.

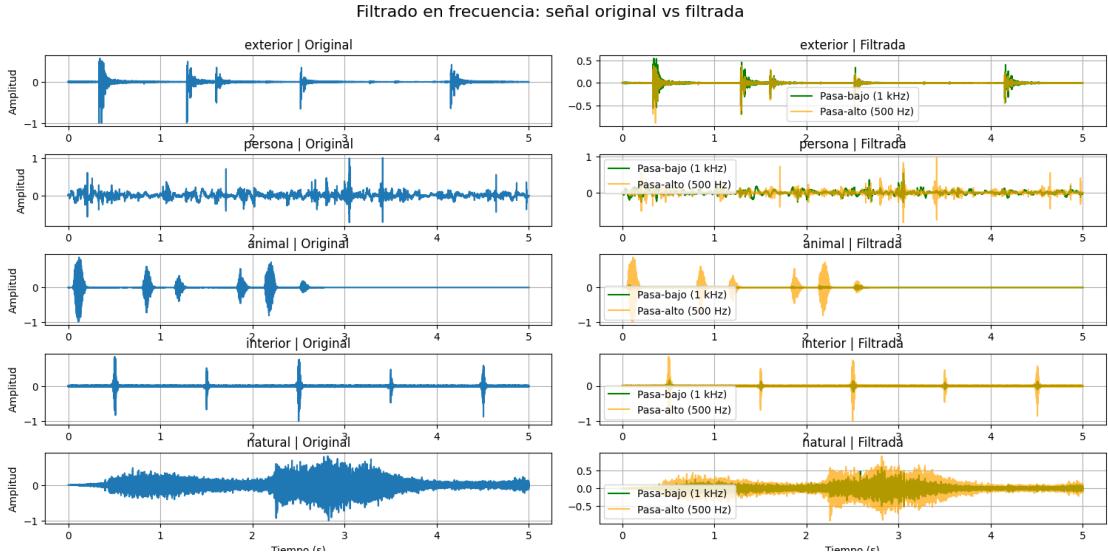


Figura 6: Espectro de frecuencia de las señales acústicas analizadas

En resumen, este análisis demuestra que el filtrado en frecuencia es una herramienta eficaz para separar y analizar las diferentes bandas de frecuencia en las señales acústicas, lo que facilita la comparación entre diversos entornos y resalta su utilidad como un método básico de reducción de ruido.

6. Resultados y discusión

El análisis que se llevó a cabo en los dominios temporal, frecuencial y tiempo-frecuencia ha permitido identificar diferencias notables entre los diversos tipos de ruido ambiental que se estudiaron. Cada entorno acústico tiene sus propios patrones característicos, tanto en la forma de onda como en la distribución espectral de la energía.

En el análisis temporal, se observa que los sonidos urbanos y domésticos están dominados por eventos impulsivos, mientras que las señales naturales tienden a ser más continuas. Por otro lado, los sonidos humanos y animales presentan comportamientos intermedios. El análisis en frecuencia respalda estas observaciones, mostrando un predominio de bajas frecuencias en entornos urbanos, frecuencias medias en sonidos humanos y una mayor presencia de componentes medias y altas en los sonidos de los animales.

Las métricas acústicas de energía y potencia cuantifican estas observaciones, revelando que los sonidos urbanos tienen niveles de potencia más altos, mientras que los sonidos domésticos son los que menos potencia presentan. Además, el análisis por bandas de frecuencia muestra distribuciones espectrales específicas para cada tipo de ruido.

El uso de filtros pasa-bajo y pasa-alto para el filtrado en frecuencia permite aislar diferentes bandas de frecuencia y analizar su contribución al sonido total, demostrando su utilidad como un método básico para la reducción de ruido y la caracterización acústica.

En resumen, los resultados confirman la efectividad de las técnicas utilizadas para analizar la contaminación acústica.

7. Bibliografía

Referencias

- [1] A. V. Oppenheim y R. W. Schafer, *Discrete-Time Signal Processing*, 3rd ed., Prentice Hall, 2010.
- [2] J. G. Proakis y D. G. Manolakis, *Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications*, 4th ed., Pearson Prentice Hall, 2007.
- [3] K. J. Piczak, “ESC: Dataset for Environmental Sound Classification”, Proceedings of the 23rd Annual ACM Conference on Multimedia (MM ’15), Brisbane, Australia, 2015. DOI: 10.1145/2733373.2806390.
- [4] P. Virtanen et al., “SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python”, *Nature Methods*, vol. 17, no. 3, pp. 261–272, 2020.
- [5] S. W. Smith, *The Scientist and Engineer’s Guide to Digital Signal Processing*, California Technical Publishing, 1997. Disponible en: <https://www.dsprelated.com>