



**Escola Tècnica Superior d'Enginyeria
Electrònica i Informàtica La Salle**

Treball Final de Màster

Màster Universitari en Enginyeria de Telecomunicació

Análisis de los indicadores y descriptores para el medioambiente acústico de Andorra

Alumne: Laura Echevarría Garuz
Professor Ponent: Rosa Maria Alsina Pagès

ACTA DE L'EXAMEN DEL TREBALL FI DE CARRERA

Reunit el Tribunal qualificador en el dia de la data, l'alumne

D.

va exposar el seu Treball de Fi de Carrera, el qual va tractar sobre el tema següent:

Acabada l'exposició i contestades per part de l'alumne les objeccions formulades pels Srs. membres del tribunal, aquest valorà l'esmentat Treball amb la qualificació de

Barcelona,

VOCAL DEL TRIBUNAL

VOCAL DEL TRIBUNAL

PRESIDENT DEL TRIBUNAL

Resumen

La contaminación acústica es uno de los temas en auge de nuestras ciudades. Cada día las calles están repletas de vehículos de todo tipo y obras con maquinarias ruidosas y parece complicado encontrar una zona donde evadirse de todo esto.

Hoy en día se están realizando múltiples estudios en el área de la ingeniería para poder atenuar los causantes de esta contaminación acústica. A nivel maquinaria, cada día se consigue reducir el ruido que producen estos, es más, con la aparición del coche eléctrico ha habido un gran cambio en este sector. Pero, ¿son sólo estos los causantes de la contaminación acústica? ¿Qué define una ciudad como muy contaminada o no?

Sabemos que el sonido de camión afecta negativamente a la contaminación acústica, mientras que el sonido de los pájaros no. La idea es analizar los parámetros físicos y objetivos que nos permiten definir si un sonido cualquiera es perjudicial o no al medioambiente acústico.

Para ello, se va a analizar un caso concreto, como es la ciudad de Andorra la Vella, en la que se van a estudiar los registros de audio en tres puntos determinados de la ciudad durante dos días distintos y así ver qué parámetros nos dan una idea viable del medioambiente acústico de la ciudad.

Agradecimientos

Este trabajo no hubiera sido posible sin las múltiples llamadas de mis padres preguntando ¿cómo llevas el TFM? ¿lo vas a poder entregar? Sin su tesón aragonés ni su confianza en mí, esto no habría sido posible.

También gracias a mis compañeras de piso, por recordarme por las tardes que tenía un TFM que hacer y por motivarme constantemente. Y a mi amiga Sandra, con la que quedábamos a hacer proyecto y acabábamos hablando de cualquier otra cosa; al final me demostró que se pueden conseguir las cosas.

Gracias a todas estas personas que me han acompañado este último año y han creído en este proyecto.

Contenido

1	Introducción	13
1.1	Marco previo.....	13
2	Objetivos	16
2.1	Objetivos principales.....	16
2.2	Objetivos secundarios.....	16

I MARCO TEÓRICO

3	Marco teórico.....	17
4	<i>Soundscape</i>	18
4.1	Descriptores	21
4.1.1	<i>Noise annoyance</i>	21
4.1.2	<i>Pleasantness</i>	22
4.1.3	<i>Quietness or tranquility</i>	22
4.1.4	<i>Music-likeness</i>	23
4.1.5	<i>Perceived affective quality</i>	23
4.1.6	<i>Restorativeness</i>	25
4.1.7	<i>Soundscape quality</i>	25
4.1.8	<i>Approapriateness</i>	26
4.2	Indicadores (parámetros psicoacústicos)	27
4.2.1	<i>Loudness</i>	28
4.2.2	<i>Roughness</i>	30
4.2.3	<i>Sharpness</i>	31
4.2.4	<i>Loudness Fluctuation</i>	32

II ESTUDIO ANALÍTICO

5	Medioambiente acústico de Andorra	33
5.1	PsySound3.....	37
5.1.1	Selección de archivos.....	39
5.1.2	Calibración	39

5.1.3	Análisis	40
5.1.4	<i>PostProcessing</i>	41
5.2	Resultados.....	44
5.3	Estudio por áreas	67
5.3.1	Estudio para el área A.....	68
5.3.2	Estudio para el área B.....	73
5.3.3	Estudio para el área C.....	79
	Conclusiones.....	85
	Referencias	90

Listado de Tablas

Tabla 1	Factores ortogonales para la definición del descriptor <i>Perceived affective quality</i>	24
Tabla 2	Valores de <i>Loudness</i> , algoritmo DL	47
Tabla 3	Valores de <i>Loudness</i> , algoritmo MG	48
Tabla 4	Valores de <i>Loudness Fluctuation</i>	49
Tabla 5	Valores de <i>Sharpness</i> , algoritmo DL	50
Tabla 6	Valores de <i>Sharpness</i> , algoritmo Zwicker & Fastl.	51
Tabla 7	Valores de <i>Sharpness</i> , algoritmo de Aures.	52
Tabla 8	Valores de <i>Roughness</i>	53
Tabla 9	Valores de <i>Loudness</i> algoritmo DL con muestras descartadas.	55
Tabla 10	Valores de <i>Loudness</i> algoritmo MG con muestras descartadas.....	56
Tabla 11	Valores de <i>Loudness Fluctuation</i> con muestras descartadas.	57
Tabla 12	Valores de <i>Sharpness</i> con muestras descartadas, algoritmo Zwicker & Fastl.....	58
Tabla 13	Valores de <i>Sharpness</i> con muestras descartadas, algoritmo Aures.....	59
Tabla 14	Valores de <i>Roughness</i> con muestras descartadas.	60
Tabla 15	Valores de <i>Loudness, Sharpness, Roughness, Loudness Fluctuation</i> y PA.....	64
Tabla 16	Resultados zona A, día 1.....	68
Tabla 17	Resultados zona A, día 2.....	70
Tabla 19	Resultados zona B, día 1.....	73
Tabla 20	Resultados zona B, día 2.....	76
Tabla 21	Resultados zona C, día 1.....	79
Tabla 22	Resultados zona C, día 2.....	82

Listado de Figuras

Fig. 1 Secuencia de grabaciones por día.....	14
Fig. 2 Esquema básico para el desarrollo de un modelo de soundscape [4]	19
Fig. 3 Relación entre los descriptores y los indicadores [5]	20
Fig. 4 Factores ortogonales para la definición del descriptor Perceived affective quality	24
Fig. 5 Indicadores para el análisis del soundscape	28
Fig. 6 Curvas isófonas.....	29
Fig. 7 Relación entre el nivel SPL y el <i>Loudness</i> (sonios) para un tono puro de 1 kHz	30
Fig. 8 Algoritmo para el Procesamiento de Señal para el cálculo de la <i>Roughness</i>	31
Fig. 9 Definición de cada una de las etiquetas categorizadas.....	35
Fig. 10 Esquema de los archivos básicos para cada uno de los análisis da audio	38
Fig. 11 Resultados SPL medidos en PsySound3	40
Fig. 12 GUI del PsySound3.....	41
Fig. 13 Datos obtenidos para el audio A_1_beam_23	42
Fig. 14 Valor temporal de <i>Loudness Fluctuation</i> en PsySound 3	43
Fig. 15 Listado de muestras para la Área A en el 7º registro	44
Fig. 16 Código para la definición del DataAnalyser de <i>Loudness Fluctuation</i>	46
Fig. 17 Valores de <i>Loudness</i> , algoritmo DL.	47
Fig. 18 Valores de <i>Loudness</i> , algoritmo MG.	48
Fig. 19 Valores de <i>Loudness Fluctuation</i>	49
Fig. 20 Valores de <i>Sharpness</i> , algoritmo DL.....	50
Fig. 21 Valores de de <i>Sharpness</i> , algoritmo Zwicker & Fastl.....	51
Fig. 22 Valores de <i>Sharpness</i> , algoritmo de Aures.....	52
Fig. 23 Valores de <i>Roughness</i>	53
Fig. 24 Valores de <i>Loudness</i> calculados con el algoritmo DL con muestras descartadas.....	55
Fig. 25 Valores de <i>Loudness</i> calculados con el algoritmo MG con muestras descartadas.	56
Fig. 26 Valores de <i>Loudness Fluctuation</i> con muestras descartadas.	57
Fig. 27 Valores de <i>Sharpness</i> con muestras descartadas, algoritmo Zwicker & Fastl.	58
Fig. 28 Valores de <i>Sharpness</i> con muestras descartadas, algoritmo Aures.	59
Fig. 29 Valores de <i>Roughness</i> con muestras descartadas.	60
Fig. 30 Comparación <i>Loudness</i> (algoritmo MG y algoritmo DL) y SNR.	61
Fig. 31 Comparación <i>Sahrpness</i> (algoritmo MG y algoritmo DL) y SNR.	62
Fig. 32 Valores de <i>Loudness</i> , <i>Sharpness</i> , <i>Roughness</i> , <i>Loudness Fluctuation</i> y PA).	64
Fig. 34 Evolución PA etiqueta <i>brak</i> , zona A, día 1.....	69

Fig. 35 Evolución PA etiqueta <i>mbke</i> , zona A, día 1.....	69
Fig. 36 Evolución PA etiqueta <i>trck</i> , zona A, día 1.....	70
Fig. 38 Evolución PA etiqueta <i>brak</i> , zona A, día 2.....	71
Fig. 39 Evolución PA etiqueta <i>swrl</i> , zona A, día 2.....	71
Fig. 40 Evolución PA etiqueta <i>bird</i> , zona A, día 2.. ..	72
Fig. 42 Evolución PA etiqueta <i>trck</i> , zona B, día 1.....	74
Fig. 43 Evolución PA etiqueta <i>drll</i> , zona B, día 1.....	74
Fig. 44 Evolución PA etiqueta <i>tblp</i> , zona B, día 1.....	75
Fig. 46 Evolución PA etiqueta <i>peop</i> , zona B, día 2.....	77
Fig. 47 Evolución PA etiqueta <i>tllp</i> , zona B, día 2.....	77
Fig. 48 Evolución PA etiqueta <i>drll</i> , zona B, día 2.....	78
Fig. 50 Evolución PA etiqueta <i>dryb</i> , zona C, día 1.....	80
Fig. 51 Evolución PA etiqueta <i>trck</i> , zona C, día 1.....	80
Fig. 52 Evolución PA etiqueta <i>break</i> , zona C, día 1.....	81
Fig. 53 Evolución PA etiqueta <i>dryb</i> , zona C, día 2.....	83
Fig. 54 Evolución PA etiqueta <i>break</i> , zona C, día 2.....	83
Fig. 55 Evolución PA etiqueta <i>trck</i> , zona C, día 2.....	84
Fig. 56 Chatty Maps.....	88

Listado de Ecuaciones

Ecuación 1 Loudness, en sonios	29
Ecuación 2 Definición de <i>Roughness</i> , según Daniel & Weber	30
Ecuación 3 Definición de <i>Sharpness</i> [acum] según H. Fast & E. Zwicker.	31
Ecuación 4 Definición <i>Sharpness</i> [acum], según Aures.	31
Ecuación 5 Definición de <i>Loudness Fluctuation</i> [vacil] según H. Fast & E. Zwicker.	32
Ecuación 6 Definición de la Potencia del ruido	36
Ecuación 7 Definición de la <i>Signal to Noise Ratio</i> (SNR).....	36
Ecuación 8 Definición del descriptor <i>Psycoacoustic Annoyance</i> por Zwicker.	63
Ecuación 9 Componente de <i>Loudness Fluctuation</i> y <i>Roughness</i>	63
Ecuación 10 Componente de <i>Sharpness</i>	63

Acrónimos

CF: Chalupper & Fastl

CoG: Centro de gravedad espectral

CSIC: Consejo Superior español de Investigaciones Científicas

DL: *Dynamic Loudness*

DW: Daniel & Weber

EEA: *European Environment Agency*

END: *Environmental Noise Directive*

Q_x: cuantil de X

$L_{A_{eq}}$: Nivel de sonido equivalente

MG: Moore et al.

ML: *Music likeness*

OMS: Organización Mundial de la Salud

PA: *Psychoacoustic Annoyance*

PRSS: *Perceived Restorativeness Soundscape Scale*

RTN: *Road Traffic Noise*

SNR: *Signal to Noise Ratio*

SPL: *Sound Pressure Level*

TFG: Trabajo Final de Grado

TFM: Trabajo Final de Máster

UE: Unión Europea

ZF. Zwicker & Fastl

1 Introducción

En términos urbanos es común hablar del concepto ‘contaminación acústica’ debido al aumento de tráfico, obras, señales audiovisuales, etc. Es por eso, que desde la parte de la Ingeniería se estudia la manera de reducir este ruido ambiental.

Está claro que el ruido afecta negativamente a nuestra salud, así lo han declarado organismos oficiales como la OMS (Organización Mundial de la Salud), la Agencia Federal de Medio Ambiente Alemana y el CSIC Español (Consejo Superior de Investigaciones Científicas), entre otros. El ruido no sólo afecta a nivel físico, como pérdidas progresivas de audición, sino también a nivel psicológico, como aumento del estrés y el cansancio. Para reducir este ruido es importante definir qué parámetros son aquellos que nos afectan para poder reducirlos o, incluso, eliminarlos.

A finales de los años 80 se empezó a estudiar cómo estos sonidos son percibidos en el oído humano sin basarnos únicamente en el nivel de presión. Si comparamos dos sonidos con el mismo nivel de presión (dB), sabremos escoger cual nos agrada más, por ejemplo, frente al sonido de una fuente de agua y al motor de un vehículo, lo normal es que prefiramos el sonido del agua, pero, ¿por qué? Por eso, se han desarrollado nuevos métodos para parametrizar los sonidos de manera objetiva y que nos permitan calificarlo como dulce, chirriante, intenso o tranquilo.

1.1 Marco previo

Para la realización de este estudio, se ha partido de los datos recogidos y analizados en el proyecto ‘Description of Noise Events for Reliable Dynamic Noise Mapping in Real-Life Urban Soundscape in Andorra’ (2018) de Robert García Almazán [1][2], tutorizado por Rosa María Alsina.

En este anterior estudio se pretendía analizar el sonido que hay en una ciudad como Andorra y el impacto que este causa sobre las personas.

Para ello, se realizaron registros durante el día 21 de Mayo (entre semana) y el 15 de Abril (fin de semana) en tres puntos diferentes de la ciudad de Andorra:

- Punto A: carretera a las afueras de la ciudad, vehículos con más velocidad (Ctra. de l’Obac / Carrer de la Unió)

- Punto B: dentro de la ciudad, zona transeúntes (Av. Carlemany / Carrer de la Valira)
- Punto C: dentro de la ciudad con tráfico y semáforos (Av. Meritxell nº73)

La medición se realizó con una grabadora digital ZOOM H4n sobre un trípode de 1,5m y una inclinación de 45°. Éste se situó a unos 5 metros del área de estudio y con un mínimo de 2 metros de radio sin ningún objeto de obstrucción.

Para cada área y zona se registraron 10 audios de unos 11-12 minutos, de los cuales los primeros y últimos segundos se emplearon para la calibración. En total, se registraron 60 audios con una duración total de 10 horas, de los que se extrajeron alrededor de 15.000 muestras etiquetadas. Debido a que sólo se disponía de un único equipo de grabación y para tener las tres áreas dentro de un mismo intervalo horario, ambos días se grabaron los audios de manera escalonada, es decir, un registro en el área A, un registro en el área B, un registro en el área C y así consecuentemente, hasta completar los 30 audios de 10 minutos.



Fig. 1 Secuencia de grabaciones por día: 10 minutos en el área A, 10 minutos en el área B, 10 minutos en el área C y así consecutivamente hasta realizar las 30 grabaciones totales de un mismo día.

Para cada una de las etiquetas obtenidas, se obtuvo el *SNR* y el impacto ($L_{A_{eq}}$) que tenían sobre el área, teniendo en cuenta que tipo de sonidos tenían más importancia en cada área y día.

De este modo, se analizó cada área ambos días en conjunto y por separado, resultando:

- **Área 1:** los sonidos con más presencia fueron *brak*, *trck*, *mbke* y *horn*, es decir, el área 1 está afectada básicamente por el tráfico, destacando que las muestras del fin de semana reducían las muestras del tipo *horn* a un 50%, por lo que se deduce que el tráfico se reduce el fin de semana. También se confirma esto con el estudio del $L_{A_{eq}}$ donde se obtienen valores más altos entre semana que el fin de semana.

- **Área 2:** en este caso, los sonidos más destacables son los relacionados con la gente, así pues, los sonidos con más presencia son *tlbp*, *peop*, *swrl*, *mbke* y *brak*. En este caso, la diferencia entre el fin de semana y un día de diario es mínima, sólo se detecta un pequeño aumento en el caso del sonido de la gente (*peop*) durante el fin de semana. Otro dato importante extraído en esta zona, es que para el caso de los semáforos (*tlbp*) resulta una *SNR* muy baja, mientras que es uno de los sonidos más molestos del área.
- **Área 3:** los sonidos más destacados son *dryb*, *peop*, *trck* y *brak*. En este caso, los sonidos más repetidos son los relacionados con el trábajo y se encuentra una gran diferencia entre los resultados del fin de semana con los de diario, ya que en el registro del fin de semana se realizaron obras en esta área.

En términos generales, se obtuvo una media de impacto $L_{A_{eq}}$ más grande para el día de diario (69,77 dBA) que en fin de semana (67,86 dBA). A pesar de ello, se comprobó que estos valores dependían mucho del sonido de fondo (*RTN*), por lo que un mismo sonido con la misma *SNR* podía tener valores muy distintos de $L_{A_{eq}}$. Además, también se observó que valores comprendidos entre 0 dB y 2 dB (intervalo propuesto por la Comisión Europea) que deberían tenerse en cuenta ya que sí se pueden considerar como molestos. Por eso, se concluyó que este valor no es suficiente para determinar el impacto negativo de un sonido sobre un entorno.

Otro punto importante extraído de los resultados obtenidos, fue que algunos valores de *SNR* resultaron negativos, por definición no debería ser así, pero son valores totalmente lógicos ya que en alguno de los casos el sonido propio de estudio tenía un nivel de sonido más bajo que el considerado como sonido de fondo (*RTN*).

2 Objetivos

2.1 Objetivos principales

El objetivo principal de este proyecto es, a través de los registros de la ciudad de Andorra y etiquetados según tipologías, poder parametrizar cada etiqueta y poder evaluarla de manera objetiva para poder determinar su efecto positivo o negativo en el ambiente.

Para ello, se van a estudiar los descriptores psicoacústicos (*Loudness*, *Sharpness*, *Roughness*...), ya que nos permiten analizar cada sonido matemáticamente en función de la percepción de nuestro oído, es decir, se basan en modelos matemáticos basados en la física de la audición.

2.2 Objetivos secundarios

Una vez hecho el estudio, se evaluará la validez de estos métodos, es decir, si los resultados obtenidos cuadran con las premisas.

Se compararan estos valores con los obtenidos anteriormente de *SNR* e impacto.

Finalmente, se hará un estudio sobre las distintas áreas analizadas de Andorra para determinar cuáles son las más contaminadas y qué sonidos son aquellos que afectan más negativamente.

Capítulo 1. MARCO TEÓRICO

3 Marco teórico

En la Directiva 2002/49/E del Consejo y Parlamento Europeo, conocida como la Directiva del Ruido Ambiental [3] (*END, Environmental Noise Directive*), se evaluó la gestión del ruido ambiental. En este consejo se revisaron los planes de acción para garantizar la reducción de ruido.

Entre las herramientas aplicadas por el *END* se destaca el mapeo del ruido (*noise mapping*) ya que permite representar visualmente los niveles promedio de ruido en un área determinada. Además, estos mapas permiten al *END* detectar que áreas están más expuestas al ruido y necesitan un plan de acción y cuáles no.

Por otro lado, también es importante analizar las áreas consideradas ‘tranquilas’ para poder conservar este concepto.

A fin de poder analizar esto, des de la Agencia Europea de Medioambiente (*EEA, European Environment Agency*) define las siguientes cuatro líneas de estudio para identificar y preservar las áreas consideradas con una buena calidad de ruido ambiental: (1) *noise mapping*, (2) medidas *sound level*, (3) *soundscape* y (4) evaluación de expertos.

Toda la investigación alrededor de estas áreas ha avanzado mucho estos últimos años, así lo demuestran las crecientes publicaciones realizadas sobre la percepción de los entornos acústicos en áreas urbanas.

Muchos de estos estudios se enfocan más en el análisis de los mapas de sonido ya que son más realistas que los mapas de ruido, ya que estos últimos asumen de antemano la contribución de todos los sonidos, sin diferenciar aquellos deseados o no-deseados.

En esta investigación se pretende realizar un estudio del medioambiente acústico usando algunas de estas metodologías desarrolladas por los investigadores y aplicarlas a un caso real, la ciudad de Andorra, para comprobar su viabilidad y poder hacer una valoración de la calidad de sonido en la ciudad.

El concepto *soundscape* se ha definido como el entorno acústico percibido o experimentado por una persona o personas en un contexto determinado.

4 Soundscape

Hasta ahora hemos hablado de la acústica del medioambiente, ligado a esto, el compositor, escritor y educador R. M. Schafer introdujo el concepto *soundscape* en 1969. Schafer lo define como “entorno sonoro concreto de un lugar real determinado, y que es intrínsecamente local y específico a cada lugar” [4], es decir, es necesario definir un *soundscape* concreto para cada área, además, este varía constantemente debido a la variación del mismo escenario de estudio. Esto implica definir cada uno de los sonidos de todos los objetos innumerables que pueden estar en ese espacio.

El concepto de soundscape no sólo estudia la acústica genérica de un ambiente, sino que su intención es buscar el equilibrio entre sonido y ruido. De hecho, Schafer define sonido como todo aquello que queremos preservar, mientras que el ruido es aquello restante que nos resulta aburrido

Descriptores e indicadores de *soundscape*

Para poder definir el *soundscape* en un entorno urbano real es necesario desarrollar un diseño operativo, lo cual llamamos descriptores e indicadores para el *soundscape*. En este caso, hay muchos artículos y estudios que definen diversos descriptores para entornos urbanos, los más comunes son los que definen la tranquilidad y la calma del entorno, pero también podemos encontrar otros como la vibración del sonido. Por ello, es necesario analizar los diferentes descriptores ya estudiados y revisar cuáles se adaptan más a nuestro proyecto.

En primer lugar, es importante definir la diferencia entre descriptor e indicador. Nos referimos a descriptores a las métricas usadas sobre como las personas percibimos el entorno acústico. Mientras que cuando decimos indicadores nos referimos a las métricas para predecir el valor de un descriptor.

En términos generales, el esquema básico a tener en cuenta a la hora de analizar el *soundscape* en un entorno es el siguiente:

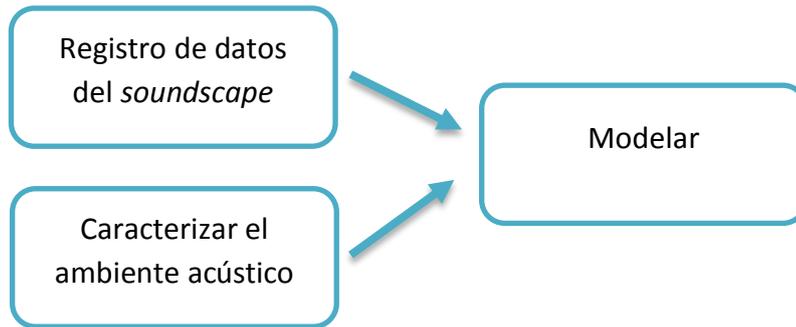


Fig. 2 Esquema básico para el desarrollo de un modelo de *soundscape* [4]

A la hora de recoger los datos para el estudio es importante tener en cuenta su procedencia: en un entorno real o como resultado de una simulación. En el caso de tomar datos de un entorno exterior, se tiene la ventaja de ser más viable al tratarse de datos reales, por el contrario, los resultados resultantes sólo son aplicables en ese caso concreto, por lo que no se puede tomar como un caso genérico ni aplicarlo a teorías. En el caso de tomar datos simulados, normalmente en un laboratorio, permite analizar las relaciones causa-efecto en términos genéricos y, por tanto, poder realizar una teoría extrapolable a cualquier caso. Por ello, lo común es realizar en estudio simulado para poder analizar los distintos parámetros y cómo se comportan en un ámbito controlado, pero es necesario validarlo en un entorno real para poder confirmar la teoría.

En nuestro caso, se han tomado datos reales (obtenidos en el proyecto sobre el *soundscape* de Andorra de Robert [1][2]), y se van a emplear teorías ya formuladas por otros autores.

Algunos de los modelos desarrollados para definir los descriptores de *soundscape* son los siguientes:

Categoría	Descriptor	Indicadores
Noise annoyance	<i>Unbiased Annoyance</i>	<i>Loudness, sharpness and fluctuation strength</i>
	<i>Noise annoyance</i>	<i>Loudness intrusiveness, sharpness and distortion of informational content</i>
	<i>Evaluation index</i>	<i>Loudness, sharpness, roughness, impulsiveness and relative approach</i>
Pleasantness	<i>Pleasantness of noise</i>	<i>Loudness, sharpness, roughness and tonality</i>
	<i>Unpleasantness of sound</i>	<i>Sound levels and the relative duration of categories of sound sources</i>
Quietness or tranquility	<i>Perceived Quietness</i>	<i>Slope</i>
	<i>Tranquility</i>	<i>Sound levels and the percentage of natural features in a scene</i>
Perceived quality	Perceived affective <i>Pleasant, unpleasant, eventful, uneventful, calm, monotonous, exciting, chaotic</i>	<i>Music-likeness (fuzzy)</i>
	<i>Calm, vibrant</i>	En curso o no investigado
	<i>Cacophony, Hubbub and Constant, temporal</i>	En curso o no investigado
	<i>Restorativeness</i>	En curso o no investigado
Soundscape quality	<i>Environmental Sound Experience Indicator</i>	No revelado
	<i>Sound Quality</i>	L50, L10-L90
	<i>Appropriateness</i>	En curso o no investigado

Fig. 3 Relación entre los descriptores y los indicadores [5]

En este estudio no se van a tener en cuenta los datos subjetivos de las personas, normalmente analizados a través de cuestionarios. Por lo que nos vamos a limitar a aquellos descriptores basados en parámetros objetivos.

4.1 Descriptores

4.1.1 *Noise annoyance*

El primer descriptor a ser analizado es la molestia producida por el ruido. Por ello, como concepto se pretende evaluar los efectos producidos por el *ruido*. El inconveniente de este descriptor es que se centra en el valor del ruido que genera un sonido no-deseado y a la reacción que genera este sobre las personas, por lo que se centra en el ruido como algo producido por el ser humano.

Esto fue analizado en profundidad por los investigadores Schultz (1978), Levine (1981), Fields et al. (1997) y Guski et al. (1999) [7].

En 1991 Zwicker [8] calculó la *Molestia imparcial* a partir de los parámetros psicoacústicos de *loudness*, *sharpness* y *fluctuation strength*.

Por otro lado, en 1997, Preis [9] desarrolló la *Intrusión de volumen* (promedio de la diferencia entre el *loudness* del ruido con el del sonido de fondo a lo largo del tiempo), para ello incluye el *sharpness* y la distorsión del contenido.

Más recientemente, en 2009, los investigadores Fiebig, Guidati y Gehrke propusieron el concepto Índice de evaluación basado en los indicadores de *loudness*, *sharpness*, *roughness*, *impulsiveness* y el enfoque relativo. Para ello, realizaron la simulación de diferentes escenarios acústicos e hicieron una valoración subjetiva con varios participantes que debían valorar de nada molesto (1) a muy molesto (9). A partir de estos resultados realizaron una regresión lineal múltiple. El resultado obtenido ha resultado muy útil para aplicarlo en mapas. Por otro lado, estos valores únicamente han sido probados en laboratorio y relacionado con sonidos de tráfico.

4.1.2 Pleasantness

Otro valor a tener en cuenta a la hora de evaluar un sonido es su valor hedónico, es decir, si es agradable o desagradable. A diferencia del *Noise Annoyance*, no sólo estudia los sonidos no-deseados.

En 1981, Terhardt y Stoll [10] empezaron hablando de este concepto con el término *pleasantness of noise*. Su experimento se basó en comparar pares de sonidos, en la escala resultante se obtuvo como sonido más agradable el sonido de la música y el sonido más desagradable fue el de una sierra circular. Como indicadores para este descriptor, se encontró una alta correlación con el *sharpness*, *roughness* y *tonality*, a pesar de ello, no se consiguió desarrollar un modelo predictivo. Así pues, este estudio permitió encontrar un ranking de sonidos más agradables o menos de manera individual, mientras que los estudios enfocados en el *soundscape* buscan un estudio genérico del ambiente.

En 2006, Lavandier y Defréville [11], se centraron en este descriptor con el nombre de *Unpleasantness of sound*. En este caso, usaron los valores de Nivel de sonido y Duración relativa para las distintas categorías de sonido y los aplicaron de manera individual, con los resultados obtenidos realizaron regresiones lineales.

4.1.3 Quietness or tranquility

En 2002, en el Parlamento y Consejo Europeo, la Directiva Europea sobre Ruido Ambiental (END) [3] declaró que los miembros del estado de la UE (Unión Europea) debían definirse como *Áreas Tranquilas*. En 2014 se definió una guía de buenas prácticas para definir el concepto de 'área tranquila'. Esto generó múltiples investigaciones para definir el concepto y buscar descriptores, algunos de los investigadores fueron Delaitre, Lavandier [12], Cance y Pruvost en 2013 y Payne en 2013 [13].

Entre 2005 [14] y 2008 [15], Memoli junto a otros autores (Licitra, Bottledooren, de Coensel, Bloomfield y Dixon) propuso la métrica denominada 'Pendiente' que relaciona el nivel de sonido obtenido por cada muestra en función de la frecuencia en la que aparecen los eventos y cómo emergen del fondo. Para ello, se realizaron una serie de cuestionarios donde se medía la 'tranquilidad percibida', con los resultados obtenidos se generó una curva donde la pendiente corresponde al indicador 'silencio percibido'.

En 2009, Pheasant et al. [16] describieron el ‘espacio tranquilo’ como ‘un espacio que facilita el estado de tranquilidad’. Así pues, a través de diversos experimentos audiovisuales para recopilar la tranquilidad que percibía cada individuo, con los cuales, utilizando los niveles de sonido y el porcentaje de características naturales como indicadores, realizaron un modelo de regresión lineal y desarrollaron el descriptor llamado ‘*Tranquility Rating*’ (TR). Este es el único descriptor que hoy en día se usa a nivel político nacional, se implantó en 2014 en el Reino Unido por la Agencia Europea del Medioambiente.

4.1.4 *Music-likeness*

Siguiendo la filosofía desarrollada por Schafer (1977) [4] sobre el *soundscape*, Botteldooren, De Coensel y De Muer propusieron evaluar los sonidos según su semejanza con la música. De este modo, se puede describir el ambiente sonoro con dinámicas acústicas, para ello desarrollaron el indicador *music-likeness* (ML) basado en el *loudness fluctuation*. Para ello, realizaron un estudio de 10 ambientes urbanos y los expusieron ante 100 participantes que debían triangular el sonido según los indicadores *music-like*, aburrido y caótico. El resultado obtenido no correló con el *music-likeness* percibido, pero sí con el concepto de *soundscape* no-aburrido ni caótico.

4.1.5 *Perceived affective quality*

En 2010, Axelsson, Nilsson y Berglund [17] propusieron un concepto bidimensional de *Perceived affective quality* del paisaje sonoro. Este se define a partir de cuatro factores bipolares: en primer lugar los dos factores ortogonales *Pleasantness* y *Eventfulness* que se sitúan a 45º de rotación con los otros dos factores ortogonales *Calmness* y *Excitement*.

De este modo, cuando se categoriza un sonido según uno de los pares, los otros dos quedan fijos automáticamente. Si definimos un *soundscape* según los dos factores ortogonales *Calmness/Excitement*.

<i>Soundscape</i>	Factores ortogonales principales
<i>Exciting</i>	<i>Pleasant</i> <i>Eventful</i>
<i>Calm</i>	<i>Pleasant</i> <i>Uneventful</i>
<i>Chaotic</i>	<i>Unpleasant</i> <i>Eventful</i>
<i>Monotonous</i>	<i>Unpleasant</i> <i>Uneventful</i>

Fig. 4 Factores ortogonales para la definición del descriptor *Perceived affective quality*

Los factores principales ‘*Pleasantness*’ y ‘*Eventfulness*’ se miden según 8 escalas con valores comprendidos entre 0% (nada coincidente) y 100% (máxima coincidencia), extraídas en función de Calma, Agradable, Emocionante, Eventual, Caótico, Molesto, Monótono y Sin-complicaciones. Estas escalas deben ser ponderadas, aunque los valores aún están bajo estudio para identificar la relación que hay entre cada componente y la calidad afectiva percibida del audio.

En este estudio se concluyó que los sonidos producidos por la naturaleza, afectaban positivamente al factor *Pleasantness*, mientras que los sonidos producidos por la tecnología, como el tráfico, afectaban de manera negativa. En cuanto a los sonidos producidos por el ser humano, afectaban positivamente al factor *Eventfulness*.

En 2013, Cain, Jennings y Poxon, [18] realizaron un estudio similar, pero en este caso usaron como factores principales los valores de *Vibrancy* (en lugar de *Excitement*) y *Calmness*. En este estudio se concluyó que estos factores están, con mayor o menor proporción, relacionados con los niveles de sonido. Axelson et al., en 2010, ya habían apuntado esto indicando que los indicadores de percepción de sonido eran más importantes que los niveles de sonido a la hora de estudiar la calidad del sonido.

Siguiendo esta línea de estudio, en 2013, Davies et al. [19] propusieron usar dos ejes definidos por *Cacophony-Hubbub* y *Constant-Temporal*, así, el primero define la cantidad de sonidos distintos que componen el *soundscape* y, el segundo, mide la cantidad y frecuencia de cambio de estos.

4.1.6 Restorativeness

Este descriptor se basa en la Teoría de la Restauración de la Atención de Kaplan (1989-1995), así fue como Payne, en 2013 [13], desarrolló la ‘Escala del ambiente sonoro de restauración percibida’ (PRSS, *Perceived Restorativeness Soundscape Scale*), esta escala es unidimensional y sus valores están comprendidos entre 1 (alta restauración) y 7 (baja restauración). El valor de la escala permite diferenciar cuanto es restaurable un ambiente sonoro entre mismos paisajes o distintos entornos.

4.1.7 Soundscape quality

Uno de los mayores objetivos a la hora de estudiar el *soundscape* ha sido describir un descriptor general para el concepto de ‘calidad de *soundscape*’ en grandes términos, sin centrarse en una única dimensión o componente del sonido. Así pues, se trata de un descriptor genérico de todo el entorno en estudio, categorizándolo entre ‘bueno’ o ‘malo’.

En 2015, Ricciardi, Delaitre, Lavandier, Torchia y Aumond [20] recopilaron datos en París y propusieron un descriptor para este concepto de ‘calidad de sonido’. Para ello, usaron mediciones acústicas y datos perceptuales como predictores con los cuales generaron diferentes modelos de regresión lineal múltiple. Entre las mediciones acústicas usadas, se usaron el nivel sonido promedio (L50) y la variabilidad temporal (L10-L90).

Tras las medidas realizadas y los resultados obtenidos, vieron que estos métodos empleando mediciones acústicas, daban explicación a un 21% de la variación de la ‘calidad del sonido’, mientras que los modelos basados en variables perceptivas como el *loudness* o el *sharpness*, aumentan este porcentaje al 52%. De este modo, este estudio reafirma la cuestión de cuanto útiles son las mediciones acústicas.

Anteriormente, en 2012, García Pérez, Aspuru Soloaga, Herranz Pascual y García-Borreguero [21], ya habían realizado un estudio sobre el descriptor que pretende evaluar la calidad del paisaje sonoro, al cual llamaron ‘Indicador de experiencia de sonido ambiental’ (*Environmental Sound Experience Indicator*). Para ello, realizaron una escala numérica unidimensional que comprendía valores entre el 0 (paisaje sonoro no adecuado) y el 12 (excelente paisaje sonoro). Esta escala está desarrollada tomando los niveles de sonido, el número de eventos y la energía de dichos eventos, las fuentes dominantes de sonido, la consistencia en el entorno y como son recibidos estos sonidos por las personas. El mayor problema de este descriptor es que no hay publicada ninguna información relativa a los métodos usados ni las ecuaciones que se emplearon, ya que los investigadores en cuestión realizaron esta investigación para un proyecto industrial

y por el cual se decidió no hacer público ningún dato relacionado con la metodología usada. Por ello, es un descriptor del cual no podemos medir su validez.

4.1.8 Appropriateness

Por último, otro concepto a tener en cuenta a la hora de medir un *soundscape* es si este es apropiado o no para el entorno en estudio. Este concepto fue introducido por Brown, donde remarcó la importancia de si es un *soundscape* apropiado o no a la hora de realizar la planificación y el diseño urbano.

En 2014, Davies, Bruce y Murphy [22] realizaron un estudio en el cual los participantes debían diseñar un paisaje sonoro para un entorno de laboratorio, el resultado fue que los diseños de ambiente sonoro se basaban en las expectativas que tenían los participantes sobre este entorno y no en las expectativas propias de cada uno, es decir, se diseñaron ambientes similares basándose en el entorno en concreto que se estaba solicitando en lugar de diseñar múltiples entornos en función de las preferencias personales de cada individuo. Con esto, se concluyó que era razonable investigar cuanto apropiados son los sonidos dentro de un entorno concreto.

En 2015, Axelsson [23] realizó un experimento similar con 50 participantes. En este caso usó fotografías y grabaciones de audio de 25 entornos urbanos-periurbanos del Reino Unido. Los participantes debían evaluar los entornos tanto en 'calidad' como en 'apropiado'. Con los resultados obtenidos, generó un modelo de regresión lineal múltiple para calcular lo apropiado que es un sonido, para ello se basó en indicadores perceptuales como predictores. El resultado obtenido dio explicación sobre un 57% de la adecuación del entorno. A pesar de ello, Axelsson destaca que incluso en valores bajos, se puede llegar a considerar que el sonido es adecuado, ya que no se trata de medir lo que las personas desean oír en ese espacio, sino la lógica que tiene ese sonido dentro de ese entorno.

Este descriptor suele usarse junto a otros ya que la información obtenida sirve para complementar la de otro descriptor.

4.2 Indicadores (parámetros psicoacústicos)

Uno de los primeros factores a tener en cuenta en este tipo de estudios es el nivel de sonido (L_{Aeq}), pero, como ya hemos ido viendo, este no es el único parámetro a tener en cuenta. Además, en el proyecto sobre el *soundscape* de Andorra de Robert [1][2], se comprobó que en nuestra área de estudio no era suficiente.

A la hora de hacer un estudio cuantitativo, hay muchos más factores a tener en cuenta, a pesar de ello, hay que tener en cuenta que ninguno de ellos se ha estandarizado. Comúnmente, para caracterizar un ambiente de forma objetiva, se usan valores como los niveles sonoros L_{Aeq} , L_{A50} , L_{A95} , $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ o $L_{A10} - L_{A90}$; el centro de gravedad CoG estudiado por Raimburt en 2003; *music likeness* (ML); o los parámetros de calidad sonora, fundamentados en los parámetros psicoacústicos, estudiados por Zwicker en 2007.

En este estudio se van a usar básicamente los parámetros psicoacústicos, los cuales se basan en la percepción sonora por el sistema auditivo humano.

Nivel sonoro general	
L_{Aeq}	Nivel sonoro continuo equivalente
L_{A50}	Nivel sonoro excedido del 50%
L_{A95}	Nivel sonoro excedido del 95%
Espectro sonoro	
$L_{Ceq} - L_{Aeq}$	Diferencia del nivel sonoro equivalente A con el C
CoG	Centro de gravedad del espectro (1/3 de octava)
Paisaje sonoro	
ML	<i>Music likeness</i>
NCN	Número de eventos
$L_{A10} - L_{A50}$	Diferencia del nivel sonoro entre el excedido del 10% y el 90%

Parámetros psicoacústicos	
N	<i>Loudness</i> (sonoridad), Zwicker (ISO 532 B)
FL	<i>Loudness Fluctuation</i>
S	<i>Sharpness</i> (agudeza)
R	<i>Roughness</i> (aspereza)

Fig. 5 Indicadores comunmente usados para el análisis del soundscape

4.2.1 *Loudness*

La sonoridad (*loudness*) es una medida subjetiva de la intensidad en la que se percibe un sonido por el oído humano. Está relacionado con el concepto desagrado, ya que la tendencia es calificar los sonidos como más agradables cuanto menor es la sonoridad.

Se define como “el nivel de presión sonora de un tono de 1 kHz en una onda plana incidente y frontal” (Zwicker & Fast’s 1990) [6], su unidad básica para un determinado sonido es el *fonio*. De este modo, un tono de 1 kHz con un nivel de presión sonora de 40 dB equivale a un nivel de sonoridad de *40 fonios*, del mismo modo, el silencio equivaldría a *0 fonios*. Así pues, para tonos puros, se define la relación entre presión sonora y *loudness* según las curvas isófonas¹:

¹ Curvas isófonas (Munson y Fletcher, 1930): relación entre frecuencia e intensidad de dos sonidos senoidales para ser percibidos igual de fuertes, es decir, con la misma sonoridad. Esta depende de las características del oído, por eso no se trata de una recta lineal.

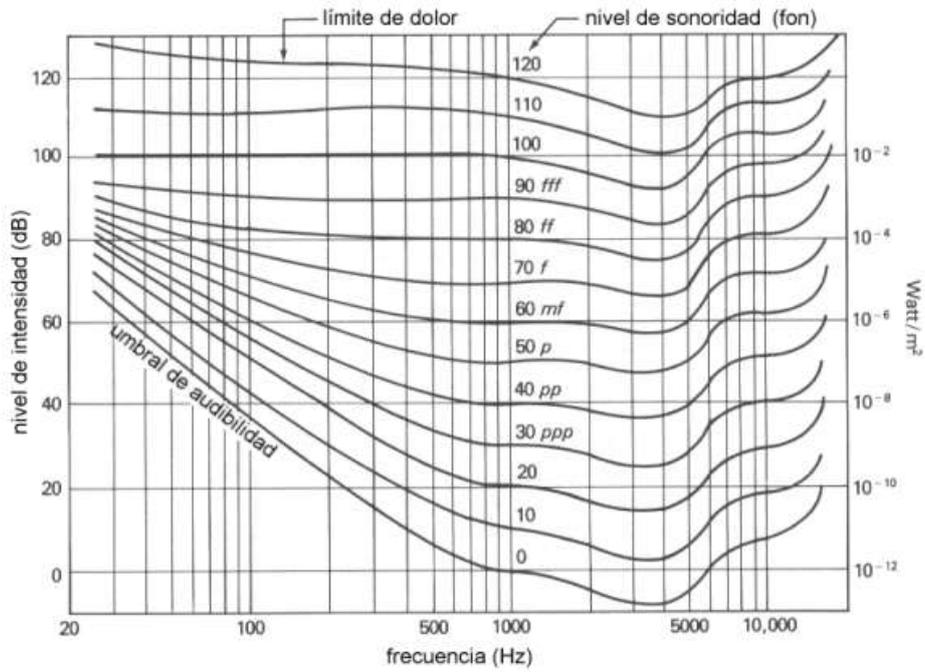


Fig. 6 Curvas isófonas

Como hemos comentado, *1 fonio* hace referencia a un determinado sonido de referencia, para saber el nivel de *loudness* entre dos sonidos se define el *sonio*, este equivale a un sonido senoidal de 1 kHz con una intensidad sonora de 40 dB.

$$N_t = 2^{\left(\frac{L_N - 40}{10}\right)}$$

Ecuación 1 Loudness, en sonios

donde N_t es el *loudness* en sonios y L_N el *loudness* del sonido de referencia en fonios.

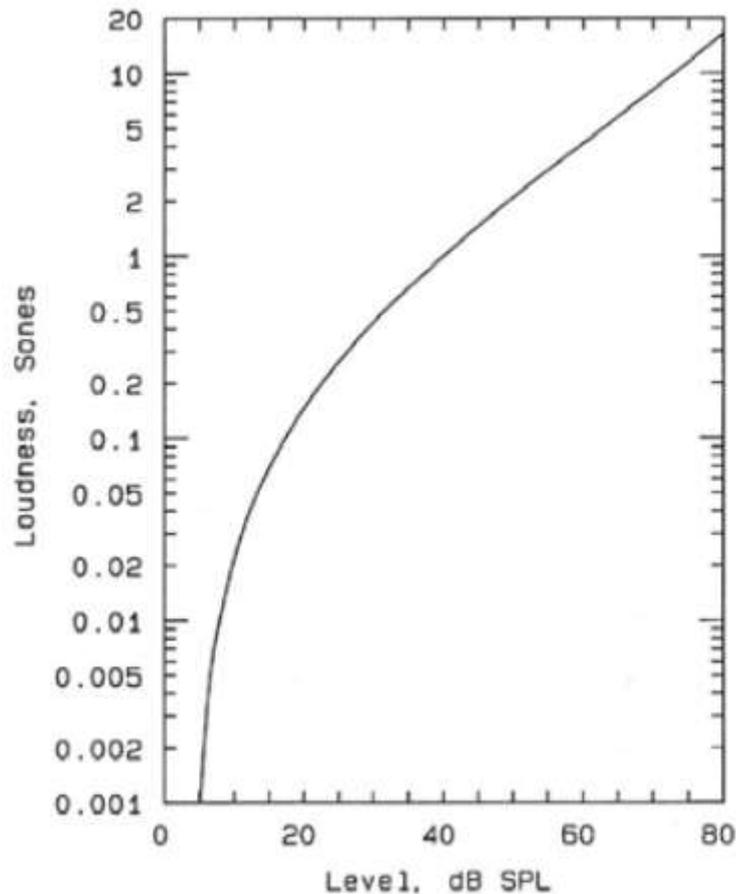


Fig. 7 Relación entre el nivel SPL y el *loudness* (sonios) para un tono puro de 1 kHz

Así pues, los valores de *loudness* están estandarizados por la norma ISO532/R [24].

4.2.2 Roughness

La aspereza (*roughness*) [25] mide la amplitud a bajas frecuencias, depende de los efectos de modulación localizados a unos 70Hz.

El método empleado para calcular el *roughness* se basa en la descomposición frecuencial según las mismas bandas del oído. Una vez obtenidos estos valores de *roughness* específico, se suman para obtener el valor total.

$$R = 0,3 \cdot f_{mod} \int_0^{2Bark} \Delta L_E(z) dz$$

Ecuación 2 Definición de *Roughness*, según Daniel & Weber

donde ΔL_E es la profundidad de modulación y f_{mod} la frecuencia de modulación

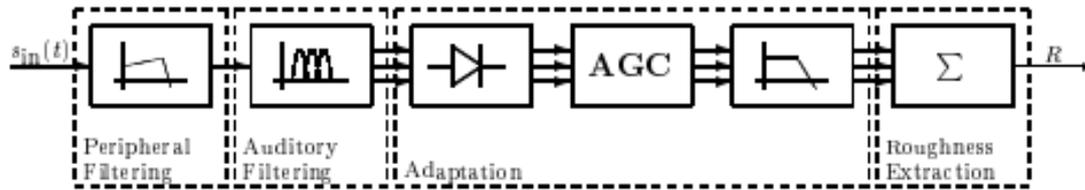


Fig. 8 Algoritmo para el Procesamiento de Señal equivalente para el cálculo de la *roughness*. (1) Filtro Peripheral equivale a un filtro bandpass, (2) Filtro coclear como un banco de filtros bandpass, (3) Proceso de Adaptación compuesto por un proceso de rectificador de media onda, un control de ganancia automático (AGC) y un filtro pasa-bajo.

4.2.3 Sharpness

La nitidez o agudez (*sharpness*) mide el contenido en altas frecuencias del espectro del señal.

Zwicker & Fast's [6] lo calculan a partir de un *loudness* específico $N'(z)$ donde N es el valor *loudness*, $g(z)$ es una función de ponderación en altas frecuencias y z es la frecuencia en banda crítica

$$S = 0,11 \cdot \frac{\int_0^{24Bark} N' g(z) dz}{\int_0^{24Bark} N' dz}$$

Ecuación 3 Definición de *Sharpness* [acum] según H. Fast & E. Zwicker.

Posteriormente, Aures [26] desarrolló un nuevo algoritmo, el cual se basa en una revisión del anterior, pero más sensible al *loudness* (mayor ponderación a los componentes de alta frecuencia).

$$S = 0,11 \cdot \frac{\int_0^{24Bark} N'(z)g(z)z dz}{\ln\left(\frac{N}{sone \cdot 20} + 1\right)}$$

Ecuación 4 Definición *Sharpness* [acum], según Aures.

donde $g(z) = e^{0,171 \cdot z}$

El uso de un algoritmo u otro depende del estudio y del autor. Como ya hemos comentado, estos valores no están estandarizados, por lo que no dejan de adaptarse los modelos, por lo que el uso de un modelo u otro no deja de ser una decisión subjetiva. También hay estudios realizados sobre qué métodos son más fiables, pero depende mucho de los parámetros externos (entorno, material de grabación usado, etc).

4.2.4 Loudness Fluctuation

La *loudness fluctuation* o *fluctuation strength* [6] se basa en el *koudness* no estacionario. Este mide la modulación de amplitud y frecuencia de la muestra temporal a baja frecuencia (aproximadamente a unos 4 Hz).

$$F = \frac{\Delta L}{\frac{f_{mod}}{4} + \frac{4}{f_{mod}}}$$

Ecuación 5 Definición de *Loudness Fluctuation* [vacil] según H. Fast & E. Zwicker.

donde ΔL es la profundidad de modulación y f_{mod} es la frecuencia de modulación.

Capítulo 2. ESTUDIO ANALÍTICO

5 Medioambiente acústico de Andorra

En este estudio se va a analizar el medioambiente acústico de la ciudad de Andorra la Vella. Para ello, se van a usar los registros realizados por Robert, los cuales fueron ya etiquetados (Fig. 8).

Para ello se van a definir los distintos parámetros psicoacústicos comentados en apartados anteriores. Con estos resultados se revisará la fiabilidad de estos para nuestro caso y se hará una comparación entre áreas para completar el resultado de impacto realizado por Robert [1, 2]. Se completará este estudio con el descriptor de *Noise Annoyance* (Molestia).

ID	Etiqueta	Descripción
(1) Vehículos		
1	<i>mbke</i>	ruido motocicletas
2	<i>trck</i>	ruido camiones
3	<i>brak</i>	ruido frenos de vehículo
4	<i>door</i>	abrir/cerrar puerta de un vehículo
5	<i>sire</i>	sirena de un coche de policía o una ambulancia
6	<i>strt</i>	arranque coche
7	<i>quad</i>	ruido quad
8	<i>sctr</i>	ruido ruedas de una motocicleta
9	<i>bike</i>	ruido bicicletas
10	<i>heli</i>	ruido helicópteros
11	<i>alrm</i>	ruido alarma de coche
12	<i>horn</i>	ruido claxón de coche
13	<i>scar</i>	ruido coche deportivo acelerando
14	<i>skte</i>	ruido ruedas de un skate

(2) Trabajo

16	<i>drll</i>	ruido perforación
17	<i>radi</i>	ruido corte radial
18	<i>dryb</i>	ruido golpe seco
19	<i>phmr</i>	ruido martillo neumático
20	<i>beep</i>	ruido grúa marcha atrás
21	<i>mblw</i>	ruido golpe de un metal
22	<i>mtlf</i>	
23	<i>stfs</i>	fuerte sonido de caída
24	<i>bldz</i>	ruido excavadora
25	<i>shvl</i>	ruido pala
26	<i>cptr</i>	ruido compactador

(3) Ciudad

27	<i>tlbp</i>	pitido semáforos
28	<i>swrl</i>	ruido de un coche al pasar sobre una alcantarilla
29	<i>lves</i>	sonido de las hojas al caer al suelo
30	<i>musi</i>	música proveniente de la calle o de un vehículo
31	<i>bark</i>	ladrido de perro
32	<i>trll</i>	ruido ruedas de una maleta
33	<i>bkmu</i>	música
34	<i>bird</i>	piolar de pájaros
35	<i>pbag</i>	ruido de una bolsa de plástico moviéndose por el viento
36	<i>meca</i>	sonido de un metal cayendo al suelo
37	<i>bell</i>	sonido campana

(4) Gente

38	<i>snze</i>	estornudo
39	<i>peop</i>	gente hablando
40	<i>clap</i>	palmas
41	<i>coug</i>	toser
42	<i>shout</i>	grito
43	<i>whst</i>	silbido
44	<i>walk</i>	ruido gente andando (sin hablar)
45	<i>cano</i>	ruido abrir lata
46	<i>wata</i>	gente hablando en walkie-talkie
47	<i>keys</i>	ruido llaves

Background

15	<i>rtn</i>	ruido tráfico, usado como background en este estudio
----	------------	--

Fig. 9 Definición de cada una de las etiquetas categorizadas

Para obtener los indicadores psicoacústicos de cada una de las muestras de audio se ha usado el software *PsySound3* (se explica detalladamente a continuación).

Para encontrar el valor numérico de molestia se ha usado el método que describe Zwicker en su estudio. Para ello, hemos desarrollado un pequeño archivo en *Matlab*, que nos calcula este valor en función de los indicadores psicoacústicos.

Por último, para ver la viabilidad de los resultados, también se han usado los resultados de *SNR* de cada una de las muestras, ya estudiados en el proyecto de Robert.

Por definición, *SNR (signal-noise ratio)* es la relación entre la Potencia del ruido y la Potencia del anterior y posterior *RTN* del evento en estudio. Se define como potencia:

$$P_x = \sum_{t=1}^N \left(\frac{x^2(t)}{N} \right)$$

Ecuación 6 Definición de la Potencia del ruido

Donde *N* es el número de muestras y *x(t)* el evento que estamos calculando.

A partir de aquí, la *SNR* se define como:

$$SNR = 10 \cdot \log \left(\frac{P_{NE}}{P_{RTN}} \right)$$

Ecuación 7 Definición de la *Signal to Noise Ratio (SNR)*, a partir de esta se calcularon los valores de *SNR* de las muestras.

Donde *P_{NE}* es la Potencia del ruido y *P_{RTN}* la Potencia del *RTN* anterior y posterior (cabe destacar, que para el cálculo de *P_{RTN}* no es necesario tomar la misma *N* para la *RTN* anterior que para la posterior, ya que se trata de un sumatorio dividido por *N*).

5.1 PsySound3

PsySound3 es un programa para el análisis de archivos de audio. La primera versión fue desarrollada por D.Cabrera en 1999 [27], la última versión es de 2008 [28] con colaboración de S.Ferguson y E.Schubert. Este fue objeto de un estudio en el que se pretendía implementar los modelos matemáticos usados para estudiar el análisis acústico y psicoacústico de los archivos de audio digitales, en concreto, la mayoría de modelos están relacionados con el modelaje de la psicoacústica de los sonidos, como el *loudness* y el *roughness*, en los cuales hay varios de los métodos explicados en este documento.

Otra de las grandes ventajas que permite este software es que se trata de un software de código abierto, por lo que, en caso de querer desarrollar un nuevo método, sólo es necesario definir las clases necesarias para definir el cálculo y el tipo de dato a registrar.

Los dos elementos que podemos modificar y/o crear son los siguientes:

- *DataAnalysis* contienen los formatos finales que van a ser leídos por el programa para ser mostrados como resultados finales. En este caso, será necesario definir la interfaz gráfica para mostrar los datos y definir como se van a guardar y/o mostrar estos datos.
- *AudioAnalysers* que implementan los algoritmos para el cálculo y análisis de parámetros psicoacústicos.

A la hora de crear un nuevo analizador (*AudioAnalysers*), hay que tener en cuenta el esquema básico que sigue *PsySound3* para cada uno de ellos. Cada analizador se define como una Clase, la cual debe incluir las 4 funciones básicas definidas por el esquema básico de *PsySound3* más las funciones propias que sean necesarias para realizar el cálculo del método en cuestión.

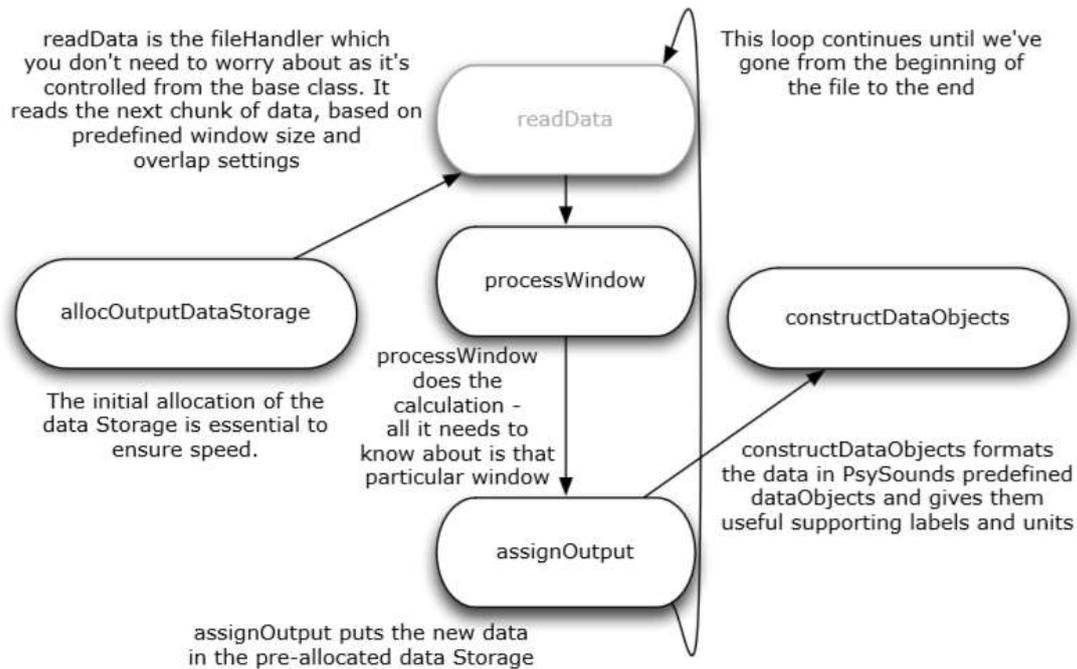


Fig. 10 Esquema de los archivos básicos para cada uno de los análisis de audio de PsySound3 [29]

Como podemos ver en el esquema anterior (Fig. 10), `readData`, función básica del Core, recibe los datos del analizador que queremos ejecutar y llama al proceso de este para realizar los cálculos necesarios. Así pues, el proceso que sigue PsySound al ejecutar un analizador de audio es el siguiente:

- `allocOutputDataStorage.m` se definen las matrices donde se van a almacenar los datos. Es necesario definir bien los slots donde se van a colocar cada uno de los datos calculados. El tamaño final de los buffers usados en PsySound3 se calculan automáticamente en función de la longitud del archivo a analizar y la configuración.
 - `readData.m` este archivo es fijo para cada analizador, por lo que no es necesario modificarlo. Su función es leer un fragmento de datos.
 - `processWindow.m` archivo donde se procesan los datos, aquí se definen todos los cálculos a realizar y los valores a ser retornados
 - `assignOutputs.m` se recogen los datos obtenidos de `processWindow` y se almacenan en los buffers definidos en `allocOutputDataStorage`.
- Estos tres últimos archivos (`readData`, `processWindow` y `assignOutputs`) se ejecutan en bucle hasta que se ha leído el archivo completo

- *constructDataObjects.m* se transforman los datos contenidos en los buffers a objetos de datos de PsySound (*Spectrum, Timeseries, Timespectrum*) para poder ser guardados y leídos correctamente.

Por último, para que el analizador sea leído correctamente por PsySound3, es necesario modificar el archivo '*AudioAnalyser*' e incluir este nuevo analizador en el constructor para que lo muestre en el listado de los distintos analizadores.

En cuanto a la interfaz gráfica, PsySound3 se compone de cuatro módulos secuenciales, los cuales son muy intuitivos y fáciles de manejar:

- selección de audios a analizar,
- calibración de los archivos,
- selección y ejecución de los métodos de análisis
- y muestra de resultados.

5.1.1 Selección de archivos

Como el propio nombre indica, en este módulo se seleccionan los distintos archivos a ser analizados. PsySound permite analizar múltiples formatos de archivos de audio, incluye automáticamente una conversión a *wav*, formato preferible.

En nuestro caso, ya tenemos los archivos registrados en formato *wav*.

5.1.2 Calibración

El siguiente módulo es el de '*Calibration*', aquí debemos calibrar todos los sonidos a partir de dos métodos, seleccionar un nivel de presión del sonido de la grabación o a partir de una grabación de calibración.

PsySound3 permite realizar la calibración de los archivos mediante dos métodos:

- A partir de la presión del sonido del archivo
- A partir de un archivo de calibración

En nuestro caso, como disponemos de una muestra de calibración de un tono de 1kHz por cada registro (5-10 segundos) y este equivale a una SPL de 94 dB, usaremos el segundo método.

Para ello, para cada registro (de un área y un tiempo concreto) vamos a seleccionar la muestra de calibración y la vamos a calibrar con ella misma a un SPL de 0dB.

Analizamos el *SPL* con PsySound3 y nos dará el valor medio en dB del nivel de presión:

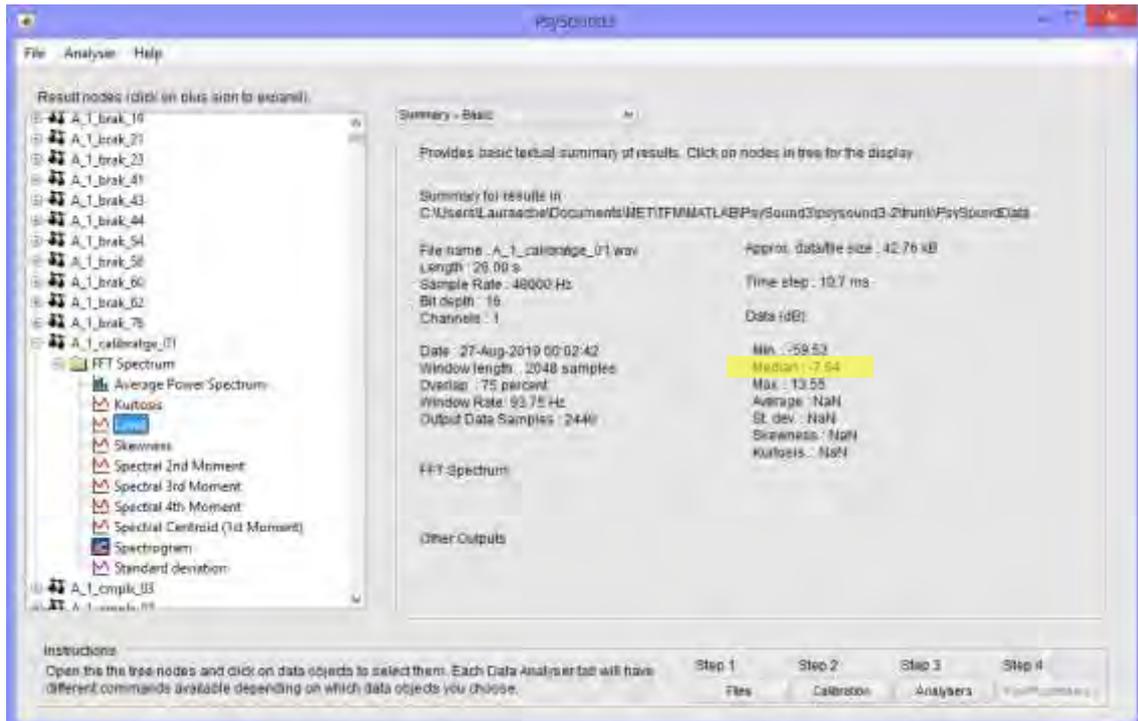


Fig. 11 Resultados *SPL* medidos en PsySound3

Este valor pertenece a un *SPL* de 0dB, así pues, cuando analicemos nuestros datos deberemos restarlo a los 94dB teóricos de nuestra muestra de calibración. Es decir, en el ejemplo de la imagen, las muestras tendrán un valor de calibración de 101,64dB ($94 \text{ dB} - (-7,64 \text{ dB})$).

5.1.3 Análisis

Una vez seleccionadas y calibradas nuestras muestras de audio, procedemos al Análisis de la señal. PsySound 3 tiene predeterminados varios algoritmos de análisis digital de audio:

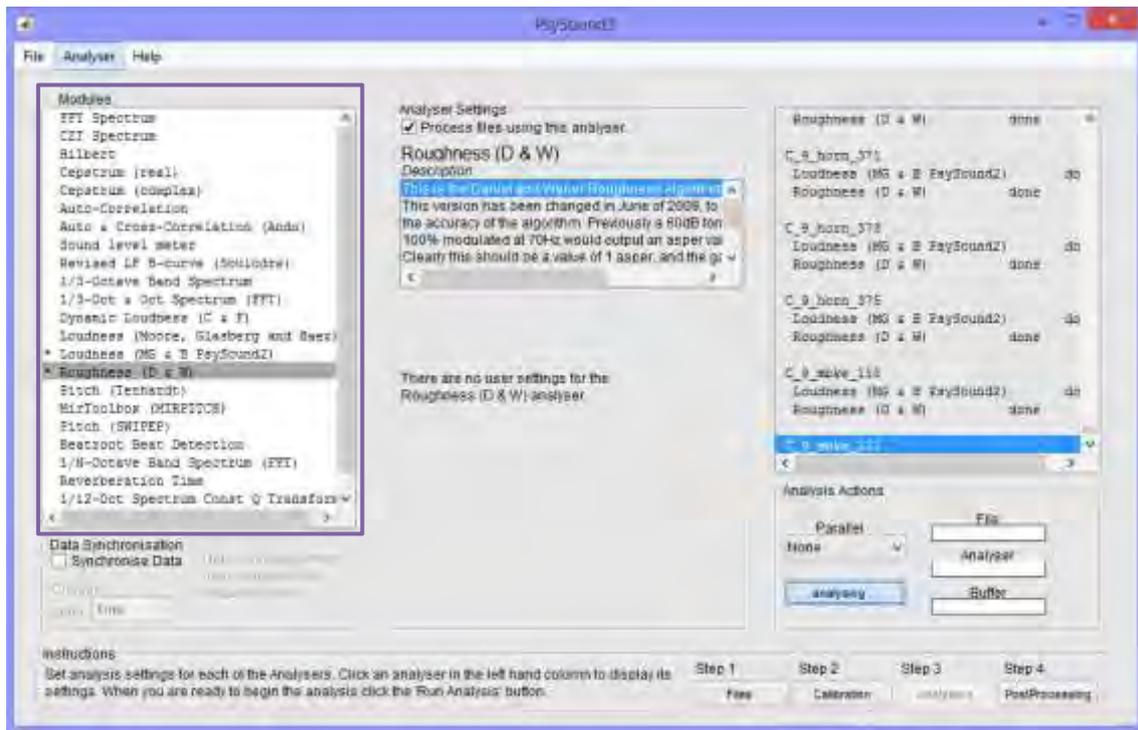


Fig. 12 GUI del PsySound3. Seleccionado en el lateral izquierdo, los múltiples algoritmos predeterminados.

En nuestro caso, usaremos los siguientes:

- *Dynamic Loudness (C & F)*: calcula los indicadores de *Loudness*² y *Loudness Fluctuation*³.
- *Loudness (MG & B PsySound2)*: calcula los indicadores psicoacústicos *Loudness* y *Sharpness*⁴, siguiendo tanto el algoritmo de Zwicker & Fastl's como el de Aures.
- *Roughness (D & W)*: para el cálculo del descriptor psicoacústico *Roughness*⁵.

5.1.4 PostProcessing

Una vez se han calculado todos los valores necesarios, puedes visualizar los valores y también puedes representarlos en gráficas en el módulo 'PostProcessing'.

Previamente, durante el proceso de análisis, PsySound genera una serie de directorios (dentro del apartado [/PsySoundData](#)) con los resultados obtenidos. Hay tres tipos principales de archivos, según el formato de cada dato, se visualizará de distinta forma:

- tSeries variable que cambia en función del tiempo

² Algoritmo para el cálculo de *Loudness* (More et Al.) explicado en 4.2.1

³ Algoritmo para el cálculo de *Loudness Fluctuation*, explicado en 4.2.4

⁴ Algoritmos para el cálculo de *Sharpness* explicados en 4.2.3

⁵ Algoritmo para el cálculo de *Roughness* (Daniel Weber) explicado en 4.2.2

- Spectrum espectro del archivo completo
- tSpectrum: datos del espectro temporal que cambian en función del tiempo

Una vez salimos del programa, podemos consultar los datos guardados. Estos se guardan en un directorio del siguiente tipo

`/PsySoundData/{nombreAudio}/{nombreAnalizador}/{nombreDato}.mat`

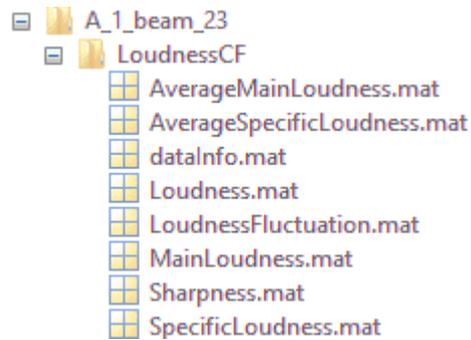


Fig. 13 Datos obtenidos para el audio A_1_beam_23 con el analizador 'Dynamic Loudness' guardados en distintas matrices con los valores mínimo, máximo, media, mediana, etc.

Por último, hay un cuarto tipo de dato que se muestra en el *PostProcessing* bajo la etiqueta de 'Other Output', pero que no queda almacenada en estos directorios, es decir, son datos temporales cuyos valores no necesitan ningún tipo de cálculo posterior:

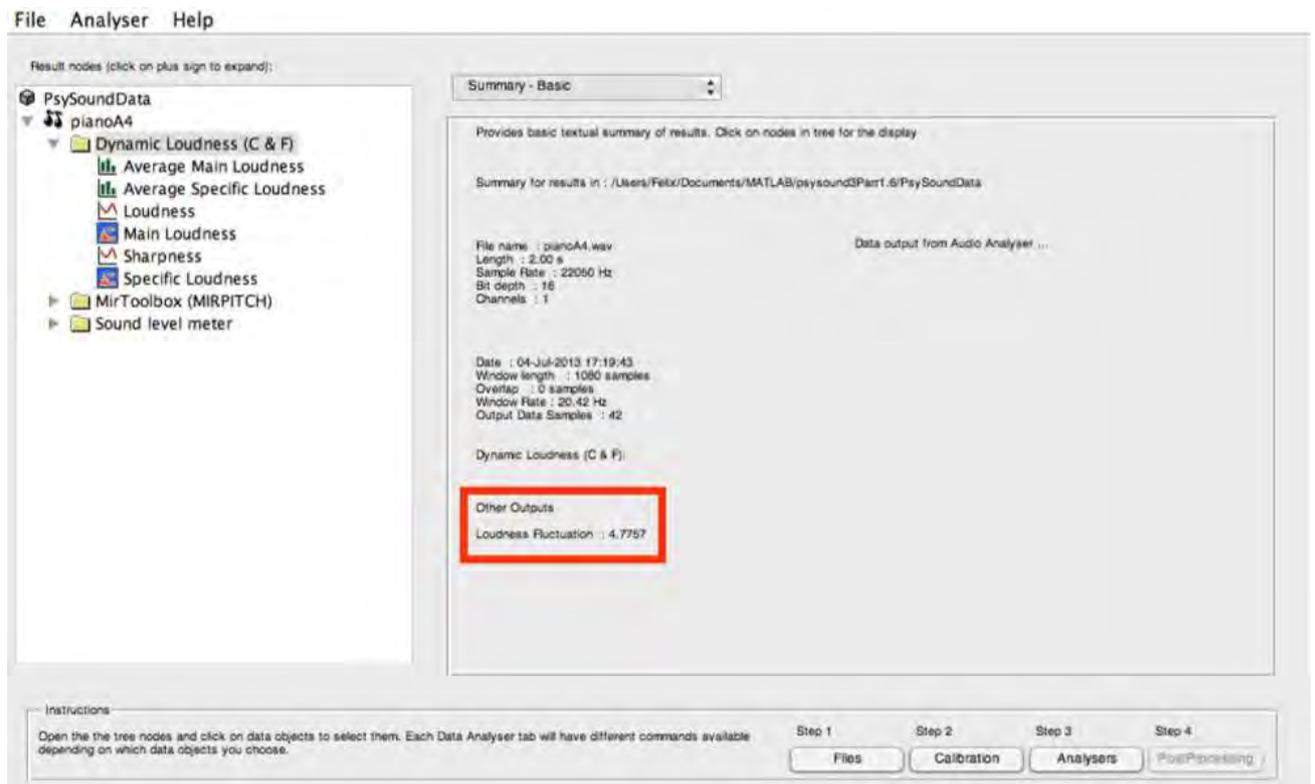


Fig. 14 Valor temporal de *Loudness Fluctuation* para el analizador *Dynamic Loudness* en PsySound 3

5.2 Resultados

Cada una de las muestras de las etiquetas se han renombrado siguiendo el siguiente esquema:

{área}_{tiempo}_{etiqueta}_{posición en el audio}.wav

donde

{área} corresponde a una de las tres áreas en las que se realizaron los registros, por lo que su valor es A, B o C,

{tiempo} corresponde al fragmento de tiempo en el que se realizó la grabación en esa área, es decir, su valor está comprendido entre [1, 10],

{etiqueta} corresponde al nombre de la etiqueta en cuestión y

{posición en el audio} corresponde al id de la etiqueta obtenido en el Audacity, este nos permite distinguir las mismas muestras de una etiqueta en una misma zona y hora.

Esto se ha hecho así para facilitar la automatización de los resultados y poderlos manejar más fácilmente. De este modo, para uno de los audios registrados en una zona y un área determinada, se han extraído las distintas muestras en carpetas como las siguientes:

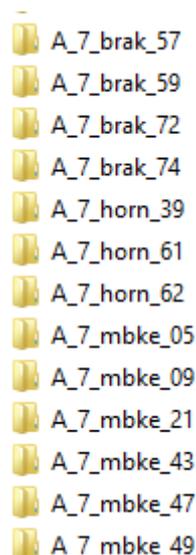


Fig. 15 Listado de muestras para la Área A en el 7º registro

Se ha mantenido la separación de los archivos en dos directorios distintos para el primer día de registro '21-03-2018' (entre semana) y para el segundo día '15-04-2018' (fin de semana).

Todos estos archivos han sido analizados con el PsySound3, los algoritmos usados han sido

- *Dynamic Loudness CF*: este analizador nos permite calcular los valores de *loudness*, *loudness fluctuation* y *sharpness*. Estos valores son obtenidos gracias al algoritmo de *loudness* dinámico desarrollado por Chalupper y Fastl en 2002 [30] y con el modelo de *loudness fluctuation* de Chalupper en 2000 [31]. Este algoritmo usa los sonidos estacionarios y no estacionarios.
- *Loudness MG*: este analizador nos permite calcular los valores de *loudness* y *sharpness*, entre otros.
Para el cálculo de *Loudness* se ha implementado el algoritmo desarrollado por Moore, Glasberg y Baer en 1997 [32]. A diferencia del anterior, este está basado en el modelo de *loudness* estacionario.
Para el cálculo de *sharpness*, se han implementado los modelos de Zwicker y Fastl, (1999) [6] y el de Aures (1985) [26], por lo que se han obtenido dos valores para este parámetro.
- *Roughness DW*: este analizador nos permite calcular los valores de *loudness* y *sharpness*. Para ello, implementa el algoritmo desarrollado por Daniel y Weber en 1997 [25].

Los datos obtenidos se han almacenado en una matriz, de modo que cada fila contiene el valor de: id, día, zona, fragmento de hora, id de la etiqueta, *loudness* (algoritmo DL), *sharpness* (algoritmo DL), *loudness fluctuation* (algoritmo DL), *loudness* (algoritmo MG), *sharpness* (algoritmo MG, método ZF), *sharpness* (algoritmo MG, método Aures) y *roughness* (algoritmo DW).

Por último, a la hora de guardar los resultados finales, tal y como ya se ha visto anteriormente, PsySound3 los guarda según tres tipos: *tSeries*, *Spectrum* o *tSpectrum*. Para la mayoría de datos analizados, se guardan automáticamente en uno de estos formatos, con excepción del valor de *loudness fluctuation*, ya que este se trata de un único valor que se almacena en un Búfer el cual es mostrado en el módulo de 'PostProcessing', pero no se guarda en el directorio. Por ello, se ha modificado el analizador 'Dynamic Loudness' con el propósito de guardar estos datos para poder analizarlos posteriormente, para esto, se ha seguido el esquema que usa PsySound3, tal y como hemos explicado con anterioridad.

```
33 % format for TimeSeries
34 ts = createDataObject('tSeries', Fl);
35 ts.DataInfo.Unit = 'units';
36 ts.Name = 'Loudness Fluctuation';
37 ts.TimeInfo.Increment = tstep;
38 output{end+1} = ts;
```

Fig. 16 Código para la definición del *DataAnalyser* de *Loudness Fluctuation*. Este se ha guardado en el objeto *tSeries* ya que se trata de una variable temporal.

Con estos valores se ha hecho un primer análisis:

- *Loudness*, algoritmo DL

Etiqueta	Mean	Std	# muestras
mbke	71,9055905	198,471649	444
trck	107,887992	277,495572	920
brak	45,8185003	105,989221	2495
door	39,9166362	11,3815227	18
strt	915,170333	57,3427012	4
quad	62,8569921	13,566425	8
sctr	29,5937722	1,52020705	2
heli	47,6177695	7,45258717	18
horn	101,26548	274,605421	142
scar	57,9221173	18,6477931	24
drll	44,1784335	5,33185705	325
radi	38,50176	9,60148771	89
dryb	60,9360483	126,961932	1547
beep	23,3959258	5,63933193	28
mblw	229,290192	400,542062	121
mtlf	35,045941	10,2514028	32
stfs	43,8639554	10,9594311	21
tlbp	27,6190389	5,13258604	2294
swrl	41,4952668	64,4976392	605
lves	25,3135979	3,42767188	16
musi	36,3927498	5,89538506	144
bark	44,1901915	14,4012155	10
trll	31,404281	3,04957466	18
bkmu	45,4029853	4,88641264	2
bird	24,3787982	11,5162304	32
pbag	1103,18413	638,133373	20
meca	650,459195	12,5828343	2
bell	30,1369637	12,3069804	4
snze	38,3302865	9,89845514	9
peop	32,0488125	7,05611426	1718
coug	30,0440227	7,25830846	84
whst	36,1471592	5,5543095	7
walk	24,4650573	6,4125996	237
cano	28,7432077	0	1
keys	27,8350082	5,27305681	20

Fig. 17 Valores de *Loudness*, algoritmo DL. En rojo señalados los resultados con una varianza demasiado grande y con una media poco coherente. Se dividen en 4 grandes grupos: Tráfico [mbke, scar], Trabajo [drll, stfs], Ciudad [tlbp, bell] y Gente [snze, keys]

- Loudness, algoritmo MG

Etiqueta	Mean	Std	# muestras
mbke	200,826073	1139,72319	444
trck	519,53502	2056,16437	920
brak	172,077109	1089,03404	2495
door	54,342471	14,0607552	18
strt	9016,67097	90,1998419	4
quad	84,554293	16,890479	8
sctr	42,813817	2,06730176	2
heli	66,0148651	9,93139936	18
horn	469,266149	1949,83399	142
scar	77,5303962	23,9345632	24
drll	61,7704332	7,15731955	325
radi	55,2271722	13,2568304	89
dryb	201,826591	1101,80089	1547
beep	33,6153615	7,7153153	28
mblw	1907,14831	3748,57398	121
mtlf	49,9025891	13,7245542	32
stfs	62,0874127	15,2766652	21
tlbp	39,229443	6,80421036	2294
swrl	108,113341	704,226547	605
lves	37,2964589	4,98855695	16
musi	50,320435	7,89285438	144
bark	59,611962	18,0818236	10
trll	44,7237132	3,9391518	18
bkmu	62,4817072	6,3908941	2
bird	35,1407986	15,540023	32
pbag	8590,44822	2964,90201	20
meca	8045,93105	0,79069801	2
bell	45,1891475	13,0209678	4
snze	54,0298734	11,7773685	9
peop	45,4176023	9,24955722	1718
coug	42,8467296	9,96193822	84
whst	51,0506891	9,43091861	7
walk	36,1574586	7,88485765	237
cano	42,6223695	0	1
keys	42,2309731	5,17210245	20

Fig. 18 Valores de Loudness, algoritmo MG. En rojo señalados los resultados con una varianza demasiado grande y con una media poco coherente. Se dividen en 4 grandes grupos: Tráfico [*mbke, scar*], Trabajo [*drll, stfs*], Ciudad [*tlbp, bell*] y Gente [*snze, keys*]

- Loudness Fluctuation

Etiqueta	Mean	Std	# muestras
mbke	0,66133851	0,18678677	444
trck	0,66046298	0,36353777	920
brak	1,54110402	0,8905259	2495
door	2,60825128	1,11080469	18
strt	2,60028175	0,03290237	4
quad	0,71310858	0,17781469	8
sctr	0,8155115	0,00237742	2
heli	1,00978238	0,27653811	18
horn	1,53678539	0,60608968	142
scar	0,66299798	0,13062759	24
drll	0,94656153	0,35988797	325
radi	0,69534096	0,28087949	89
dryb	1,59295596	0,74694694	1547
beep	1,0472836	0,28931709	28
mblw	1,66678078	0,46388009	121
mtlf	1,34142266	0,30888486	32
stfs	1,3799913	0,56042835	21
tlbp	1,24363657	0,20114034	2294
swrl	2,11959068	0,95064368	605
lves	1,03030159	0,2419905	16
musi	1,08402928	0,34953745	144
bark	1,26192843	0,34679372	10
trll	1,13113778	0,12455142	18
bkmu	0,66177592	0,00905114	2
bird	1,43434051	1,02531401	32
pbag	1,62933924	0,705928	20
meca	5,12626111	0,00045332	2
bell	3,01119657	2,3460152	4
snze	1,88424069	0,7425319	9
peop	1,21191522	0,44380194	1718
coug	2,18079543	0,82249433	84
whst	1,01282933	0,31485366	7
walk	2,7268821	1,17256684	237
cano	2,10796454	0	1
keys	3,44053455	1,37781404	20

Fig. 19 Valores de *Loudness Fluctuation*. En rojo señalados los resultados con una varianza demasiado grande y con una media poco coherente. Se dividen en 4 grandes grupos: Tráfico [*mbke, scar*], Trabajo [*drll, stfs*], Ciudad [*tlbp, bell*] y Gente [*snze, keys*]

- *Sharpness*, algoritmo DL

Etiqueta	Mean	Std	# muestras
mbke	71,9055905	198,471649	444
trck	107,887992	277,495572	920
brak	45,8185003	105,989221	2495
door	39,9166362	11,3815227	18
strt	915,170333	57,3427012	4
quad	62,8569921	13,566425	8
sctr	29,5937722	1,52020705	2
heli	47,6177695	7,45258717	18
horn	101,26548	274,605421	142
scar	57,9221173	18,6477931	24
drll	44,1784335	5,33185705	325
radi	38,50176	9,60148771	89
dryb	60,9360483	126,961932	1547
beep	23,3959258	5,63933193	28
mblw	229,290192	400,542062	121
mtlf	35,045941	10,2514028	32
stfs	43,8639554	10,9594311	21
tlbp	27,6190389	5,13258604	2294
swrl	41,4952668	64,4976392	605
lves	25,3135979	3,42767188	16
musi	36,3927498	5,89538506	144
bark	44,1901915	14,4012155	10
trll	31,404281	3,04957466	18
bkmu	45,4029853	4,88641264	2
bird	24,3787982	11,5162304	32
pbag	1103,18413	638,133373	20
meca	650,459195	12,5828343	2
bell	30,1369637	12,3069804	4
snze	38,3302865	9,89845514	9
peop	32,0488125	7,05611426	1718
coug	30,0440227	7,25830846	84
whst	36,1471592	5,5543095	7
walk	24,4650573	6,4125996	237
cano	28,7432077	0	1
keys	27,8350082	5,27305681	20

Fig. 20 Valores de *Sharpness*, algoritmo DL. En rojo señalados los resultados con una varianza elevada. Se dividen en 4 grandes grupos: Tráfico [*mbke*, *scar*], Trabajo [*drll*, *stfs*], Ciudad [*tlbp*, *bell*] y Gente [*snze*, *keys*]

- *Sharpness*, algoritmo ZF

Etiqueta	Mean	Std	# muestras
mbke	1,57606485	2,08105285	444
trck	1,72973581	2,03600821	920
brak	1,41094131	0,29543401	2495
door	1,34365833	0,06583929	18
strt	2,72868647	0,42464568	4
quad	1,29031928	0,05602602	8
sctr	1,39917501	0,00265569	2
heli	1,29882657	0,04073364	18
horn	1,77321065	2,02224857	142
scar	1,26372108	0,08315246	24
drll	1,40612802	0,07538381	325
radi	1,47509736	0,09428786	89
dryb	1,47955073	0,78080163	1547
beep	1,33100185	0,06748298	28
mblw	1,9755943	1,74650726	121
mtlf	1,4107163	0,10102068	32
stfs	1,45008201	0,16421918	21
tlbp	1,35261703	0,0652773	2294
swrl	1,30788115	0,07570445	605
lves	1,45695956	0,07482811	16
musi	1,30046459	0,05923488	144
bark	1,28706357	0,04476341	10
trll	1,32776022	0,024005	18
bkmu	1,33405926	0,00346325	2
bird	1,26010477	0,07259476	32
pbag	3,66746904	2,69196061	20
meca	3,65736087	0,18239328	2
bell	1,71671684	0,37443852	4
snze	1,36905335	0,07137684	9
peop	1,33558724	0,05937401	1718
coug	1,35347823	0,0747737	84
whst	1,4132548	0,1561379	7
walk	1,3549033	0,09534808	237
cano	1,51613036	0	1
keys	1,39627587	0,0537051	20

Fig. 21 Valores de de *Sharpness*, algoritmo Zwicker & Fastl. En rojo señalados los resultados con una varianza elevada. Se dividen en 4 grandes grupos: Tráfico [*mbke*, *scar*], Trabajo [*drll*, *stfs*], Ciudad [*tlbp*, *bell*] y Gente [*snze*, *keys*]

- *Sharpness*, algoritmo Aures

Etiqueta	Mean	Std	# muestras
mbke	32,4866762	265,858187	444
trck	48,8251164	269,041563	920
brak	8,46519642	46,6118588	2495
door	3,91705429	0,49162934	18
strt	307,534655	49,2990384	4
quad	4,68402321	0,5132137	8
sctr	3,75363239	0,08179825	2
heli	4,08211549	0,24450135	18
horn	55,7786332	273,901592	142
scar	4,2922258	0,63737301	24
drll	4,40363547	0,33266865	325
radi	4,4364175	0,68156919	89
dryb	15,8074283	108,046948	1547
beep	3,19539544	0,2672439	28
mblw	101,474385	252,571846	121
mtlf	4,08022568	0,74185645	32
stfs	4,66095081	1,09878637	21
tlbp	3,4700422	0,33075507	2294
swrl	4,72183483	12,5905378	605
lves	3,723252	0,37231398	16
musi	3,66784483	0,39811294	144
bark	3,79719114	0,59815568	10
trll	3,57630697	0,14119208	18
bkmu	4,19380337	0,2130742	2
bird	3,05289855	0,57472005	32
pbag	411,014409	342,26354	20
meca	400,842176	21,9013437	2
bell	4,71366863	0,63934973	4
snze	4,00017445	0,42503196	9
peop	3,60430931	0,39250115	1718
coug	3,59921222	0,44914884	84
whst	4,14308672	0,90265668	7
walk	3,37662439	0,34936813	237
cano	4,10002469	0	1
keys	3,70330405	0,25103009	20

Fig. 22 Valores de *Sharpness*, algoritmo de Aures. En rojo señalados los resultados con una varianza elevada. Se dividen en 4 grandes grupos: Tráfico [*mbke*, *scar*], Trabajo [*drll*, *stfs*], Ciudad [*tlbp*, *bell*] y Gente [*snze*, *keys*]

- *Roughness*

Etiqueta	Mean	Std	# muestras
mbke	0,30346888	0,3000192	444
trck	0,32423498	0,45708443	920
brak	0,72490109	0,57987403	2495
door	0,98608903	0,4713359	18
strt	1,87250609	0,10329009	4
quad	0,38619661	0,12830949	8
sctr	0,15422002	0,00398354	2
heli	0,58409196	0,37760096	18
horn	0,6833024	0,71572843	142
scar	0,24579285	0,08388014	24
drll	0,48985397	0,36011686	325
radi	0,24706269	0,26251833	89
dryb	0,74386302	0,60514038	1547
beep	0,75760034	0,4837873	28
mblw	1,07550192	1,00430123	121
mtlf	0,67884184	0,57293805	32
stfs	0,45929315	0,23217805	21
tlbp	0,53709386	0,34513607	2294
swrl	0,95189172	0,64372796	605
lves	0,53543484	0,29335137	16
musi	0,49208923	0,31842508	144
bark	0,54746543	0,39955433	10
trll	0,55337444	0,24680931	18
bkmu	0,15054577	0,0098083	2
bird	0,49701721	0,44362972	32
pbag	2,6078433	1,26080077	20
meca	2,45295897	0,01125193	2
bell	0,93152965	0,18143085	4
snze	0,70105488	0,70875654	9
peop	0,47664325	0,36875296	1718
coug	0,93737387	0,54458393	84
whst	0,42173265	0,2108603	7
walk	1,41153852	0,95774003	237
cano	0,42633653	0	1
keys	1,30487651	0,57607869	20

Fig. 23 Valores de *Roughness*. En rojo señalados los resultados con una varianza elevada. Se dividen en 4 grandes grupos: Tráfico [*mbke, scar*], Trabajo [*drll, stfs*], Ciudad [*tlbp, bell*] y Gente [*snze, keys*]

De este primer análisis podemos sacar varias conclusiones. La primera de todas es que a la hora de calcular el *sharpness*, hemos visto que el cálculo con el algoritmo dinámico de Chalupper y Fastl es muy poco preciso, como se puede ver en la tabla 4, la desviación estándar de todas las etiquetas es muy amplia, por lo que nos da una clara idea que los valores obtenidos son muy dispersos y no hay una alta coincidencia para poder definir un valor fijo de *sharpness* en cada etiqueta. Por ello, cara a los siguientes cálculos, no vamos a tener en cuenta este dato.

Para el caso del *loudness*, vemos que en ambos casos tenemos unos datos de media y de varianza bastante dispares, Tabla 1 y Tabla 2. De todos modos, el *loudness* calculado por el algoritmo de Moore y Glasberg, tiene unas medias y unas varianzas mucho más altas, por lo que parece ser menos preciso. A pesar de ello, volveremos a analizarlos ambos para ver cuál es más preciso.

El siguiente análisis realizado se ha hecho del mismo modo, pero, en este caso, se han descartado las muestras que nos están afectando a las varianzas de los distintos parámetros. Para ello, para cada una de las etiquetas que hemos detectado con muestras que alteran el resultado, hemos calculado dos cuantiles (inferior y superior), Q_{20} y Q_{80} .

Los resultados han sido los siguientes:

Etiqueta	Mean	Std	# muestras
mbke	46,5975269	5,53944285	173
trck	49,8843779	6,3790486	551
brak	33,4602964	4,31286428	1497
door	39,9166362	11,3815227	18
quad	63,819128	15,679462	6
sctr	29,5937722	1,52020705	2
heli	47,6177695	7,45258717	18
horn	44,7331331	6,64739954	86
scar	58,9893488	19,2082135	21
drll	44,1784335	5,33185705	325
radi	38,50176	9,60148771	89
dryb	45,1259965	5,35686457	929
beep	23,3959258	5,63933193	28
mblw	39,6203954	8,76538969	71
mtlf	35,5098796	10,7163517	28
stfs	43,8639554	10,9594311	21
tlbp	27,6190389	5,13258604	2294
swrl	36,5680616	3,7269812	361
lves	25,3135979	3,42767188	16
musi	36,4964625	5,78277633	143
bark	44,1901915	14,4012155	10
trll	31,404281	3,04957466	18
bkmu	45,4029853	4,88641264	2
bird	24,3787982	11,5162304	32
bell	30,1369637	12,3069804	4
snze	38,3302865	9,89845514	9
peop	32,0640646	7,02890815	1711
coug	30,0440227	7,25830846	84
whst	36,1471592	5,5543095	7
walk	24,4650573	6,4125996	237
cano	28,7432077	0	1
keys	27,8350082	5,27305681	20

Fig. 24 Valores de *Loudness* calculados con el algoritmo DL con muestras descartadas. El valor medio para estos resultados es de 20,21 (lindar).

- Loudness, algoritmo MG

Etiqueta	Mean	Std	# muestras
mbke	64,3812895	6,72458751	173
trck	69,7242206	8,41824979	551
brak	47,4219186	5,48670086	1497
door	54,342471	14,0607552	18
quad	85,4243991	19,5792434	6
sctr	42,813817	2,06730176	2
heli	66,0148651	9,93139936	18
horn	61,7623485	8,51731543	86
scar	78,7883637	24,7521976	21
drll	61,7704332	7,15731955	325
radi	55,2271722	13,2568304	89
dryb	63,0131166	6,88533905	929
beep	33,6153615	7,7153153	28
mblw	55,624508	11,3703112	71
mtlf	50,4332451	14,3885515	28
stfs	62,0874127	15,2766652	21
tlbp	39,229443	6,80421036	2294
swrl	51,0309689	4,46657467	361
lves	37,2964589	4,98855695	16
musi	50,4540914	7,75534181	143
bark	59,611962	18,0818236	10
trll	44,7237132	3,9391518	18
bkmu	62,4817072	6,3908941	2
bird	35,1407986	15,540023	32
bell	45,1891475	13,0209678	4
snze	54,0298734	11,7773685	9
peop	45,4319938	9,21589348	1711
coug	42,8467296	9,96193822	84
whst	51,0506891	9,43091861	7
walk	36,1574586	7,88485765	237
cano	42,6223695	0	1
keys	42,2309731	5,17210245	20

Fig. 25 Valores de *Loudness* calculados con el algoritmo MG con muestras descartadas. El valor medio para estos resultados es de 25,9 (lindar).

Etiqueta	Mean	Std	# muestras
mbke	0,63750717	0,16612398	173
trck	0,60261789	0,17091808	551
brak	1,58643025	0,9215824	1497
door	2,60825128	1,11080469	18
quad	0,74903132	0,19425207	6
sctr	0,8155115	0,00237742	2
heli	1,00978238	0,27653811	18
horn	1,58185218	0,65249983	86
scar	0,67856751	0,13123588	21
drll	0,94656153	0,35988797	325
radi	0,69534096	0,28087949	89
dryb	1,51488797	0,60988522	929
beep	1,0472836	0,28931709	28
mblw	1,50266533	0,36586617	71
mtlf	1,36821324	0,30788889	28
stfs	1,3799913	0,56042835	21
tlbp	1,24363657	0,20114034	2294
swrl	1,95873975	0,76100744	361
lves	1,03030159	0,2419905	16
musi	1,08745756	0,34832808	143
bark	1,26192843	0,34679372	10
trll	1,13113778	0,12455142	18
bkmu	0,66177592	0,00905114	2
bird	1,43434051	1,02531401	32
bell	3,01119657	2,3460152	4
snze	1,88424069	0,7425319	9
peop	1,20819661	0,43161749	1711
coug	2,18079543	0,82249433	84
whst	1,01282933	0,31485366	7
walk	2,7268821	1,17256684	237
cano	2,10796454	0	1
keys	3,44053455	1,37781404	20

Fig. 26 Valores de *Loudness Fluctuation* con muestras descartadas. El valor medio para estos resultados es de 1,46 (lindar).

Etiqueta	Mean	Std	# muestras
mbke	1,36195429	0,09676602	173
trck	1,42106017	0,07843106	551
brak	1,38788306	0,10503203	1497
door	1,34365833	0,06583929	18
quad	1,26510324	0,03661269	6
sctr	1,39917501	0,00265569	2
heli	1,29882657	0,04073364	18
horn	1,40684769	0,11527721	86
scar	1,25801776	0,0862204	21
drll	1,40612802	0,07538381	325
radi	1,47509736	0,09428786	89
dryb	1,39787655	0,08285182	929
beep	1,33100185	0,06748298	28
mblw	1,43389321	0,07611832	71
mtlf	1,41453201	0,1044881	28
stfs	1,45008201	0,16421918	21
tlbp	1,35261703	0,0652773	2294
swrl	1,30792012	0,06812097	361
lves	1,45695956	0,07482811	16
musi	1,30154075	0,05801325	143
bark	1,28706357	0,04476341	10
trll	1,32776022	0,024005	18
bkmu	1,33405926	0,00346325	2
bird	1,26010477	0,07259476	32
bell	1,71671684	0,37443852	4
snze	1,36905335	0,07137684	9
peop	1,33560753	0,05903001	1711
coug	1,35347823	0,0747737	84
whst	1,4132548	0,1561379	7
walk	1,3549033	0,09534808	237
cano	1,51613036	0	1
keys	1,39627587	0,0537051	20

Fig. 27 Valores de *Sharpness* con muestras descartadas, algoritmo Zwicker & Fastl. El valor medio para estos resultados es de 0,24 (lindar).

Etiqueta	Mean	Std	# muestras
mbke	4,33305701	0,4179776	173
trck	4,71620052	0,43710479	551
brak	3,84430319	0,38555403	1497
door	3,91705429	0,49162934	18
quad	4,5944572	0,56827641	6
sctr	3,75363239	0,08179825	2
heli	4,08211549	0,24450135	18
horn	4,44458231	0,66880124	86
scar	4,30405037	0,66166991	21
drll	4,40363547	0,33266865	325
radi	4,4364175	0,68156919	89
dryb	4,43523803	0,44825421	929
beep	3,19539544	0,2672439	28
mblw	4,35235815	0,49763558	71
mtlf	4,12018361	0,78605199	28
stfs	4,66095081	1,09878637	21
tlbp	3,4700422	0,33075507	2294
swrl	3,70526163	0,28234607	361
lves	3,723252	0,37231398	16
musi	3,67533581	0,38919484	143
bark	3,79719114	0,59815568	10
trll	3,57630697	0,14119208	18
bkmu	4,19380337	0,2130742	2
bird	3,05289855	0,57472005	32
bell	4,71366863	0,63934973	4
snze	4,00017445	0,42503196	9
peop	3,60476637	0,39014935	1711
coug	3,59921222	0,44914884	84
whst	4,14308672	0,90265668	7
walk	3,37662439	0,34936813	237
cano	4,10002469	0	1
keys	3,70330405	0,25103009	20

Fig. 28 Valores de *Sharpness* con muestras descartadas, algoritmo Aures. El valor medio para estos resultados es de 0,86 (lindar).

Etiqueta	Mean	Std	# muestras
mbke	0,27562892	0,27738463	173
trck	0,23347564	0,22089063	551
brak	0,71950132	0,56046804	1497
door	0,98608903	0,4713359	18
quad	0,39260521	0,1505419	6
sctr	0,15422002	0,00398354	2
heli	0,58409196	0,37760096	18
horn	0,62978715	0,58600944	86
scar	0,25038714	0,0881565	21
drll	0,48985397	0,36011686	325
radi	0,24706269	0,26251833	89
dryb	0,70035106	0,52538356	929
beep	0,75760034	0,4837873	28
mblw	0,59079299	0,52104682	71
mtlf	0,64536719	0,55742555	28
stfs	0,45929315	0,23217805	21
tlbp	0,53709386	0,34513607	2294
swrl	0,87788294	0,59837363	361
lves	0,53543484	0,29335137	16
musi	0,49458775	0,31812468	143
bark	0,54746543	0,39955433	10
trll	0,55337444	0,24680931	18
bkmu	0,15054577	0,0098083	2
bird	0,49701721	0,44362972	32
bell	0,93152965	0,18143085	4
snze	0,70105488	0,70875654	9
peop	0,475659	0,36773695	1711
coug	0,93737387	0,54458393	84
whst	0,42173265	0,2108603	7
walk	1,41153852	0,95774003	237
cano	0,42633653	0	1
keys	1,30487651	0,57607869	20

Fig. 29 Valores de *Roughness* con muestras descartadas. El valor medio para estos resultados es de 0,63 (lindar).

Vemos que las desviaciones y las medias de ahora son más lógicas.

Por último, debemos discutir que valores de *loudness* y de *sharpness* nos son más útiles, en este caso, hemos representado las curvas para ver cuales tienen más coherencia, para ello, hemos usado los valores de *SNR* para poder comparar con resultados ya estudiados y analizados. Para el caso de *roughness* y *loudness fluctuation*, como sólo tenemos un único valor, este va a ser el que vamos a analizar.

Loudness:

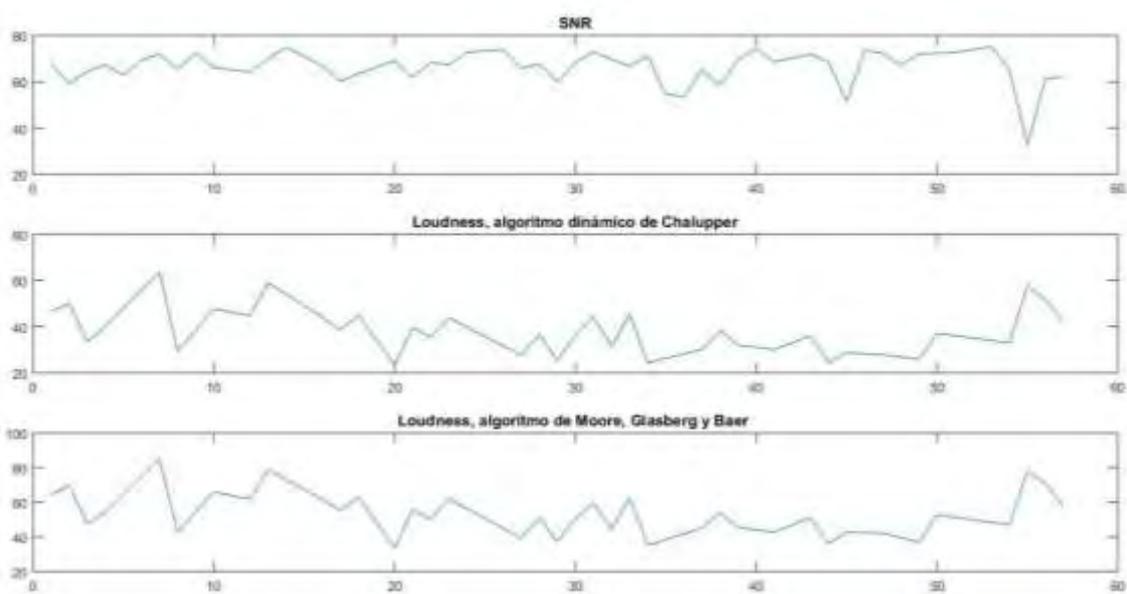


Fig. 30 Comparación *Loudness* (algoritmo MG y algoritmo DL) y *SNR*. En el eje x se muestran las distintas etiquetas ordenadas siguiendo los valores equivalentes de la Fig.8. En el eje y los valores de *SNR* y *Loudness* respectivamente. Los *Loudness* obtenidos en ambos algoritmos siguen el mismo patrón, con la diferencia que el algoritmo de Moore, Glasberg y Baer resulta valores más elevados que el algoritmo dinámico de Chalupper.

En este caso, vemos que ambas curvas son muy similares, esto nos da una idea de que ambos algoritmos nos son útiles para este estudio. Por ello, dado que los resultados son tan similares, hemos decidido usar los valores obtenidos del algoritmo dinámico de Chalupper, ya que el *loudness fluctuation* viene calculado a partir de este algoritmo, por lo que es más lógico usar ambos valores resultantes del mismo algoritmo.

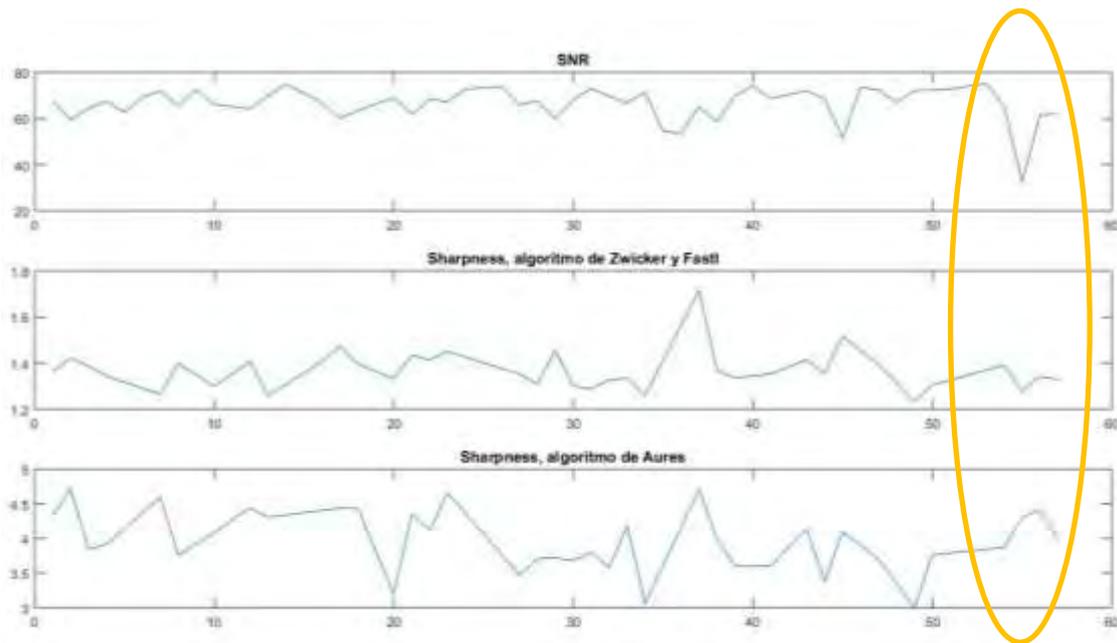
Sharpness:

Fig. 31 Comparación *Sharpness* (algoritmo MG y algoritmo DL) y *SNR*. En el eje x se muestran las distintas etiquetas ordenadas siguiendo los valores equivalentes de la Fig.8. En el eje y los valores de *SNR* y *Sharpness* respectivamente. Los *Sharpness* obtenidos en ambos algoritmos siguen un patrón similar, pero podemos ver que en algunos puntos los valores son contradictorios, a pesar de que el *SNR* no está relacionado linealmente con el *Sharpness*, lo que si podemos concluir que no tiene sentido que el valor con menor *SNR* tenga una *Sharpness* tan elevada.

En este caso, podemos ver cierta similitud en ambas curvas, pero hay valores que son contradictorios, por ejemplo, en el caso de *beam* en el que para el algoritmo de Zwicker y Fastl obtenemos un valor relativamente bajo (igual que nos pasa con la *SNR*), mientras que para el algoritmo de Aures tenemos un valor más elevado.

Así pues, dados estos resultados, vamos a analizar el descriptor 'Psychoacoustic Annoyance' [6]. Zwicker define la molestia que genera un sonido en función de los parámetros psicoacústicos vistos *sharpness* (S), *roughness* (R), *fluctuation strength* (F) y *loudness* (L):

$$PA = N \cdot \left(1 + \sqrt{w_S^2 + w_{FR}^2} \right)$$

Ecuación 8 Definición del descriptor *Psychoacoustic Annoyance* por Zwicker.

donde

$$w_{FR}^2 = \frac{2,18}{N^{2,18}} \cdot (0,4 \cdot F + 0,6 \cdot R)$$

Ecuación 9 Componente de *loudness fluctuation* y *roughness*

$$w_S^2 = \begin{cases} (S - 1,75) \cdot 0,75 \cdot \log(N + 10) & S > 1,75 \\ 0 & S \leq 1,75 \end{cases}$$

Ecuación 10 Componente de *sharpness*

Así pues, para cada etiqueta se ha calculado este valor y ha resultado lo siguiente:

Etiqueta	# muestras	Loudness	Sharpness	Roughness	Loudness Fluctuation	PA
mbke	173	46,60	1,36	0,28	0,64	46,60
trck	551	49,88	1,42	0,23	0,60	49,89
brak	1497	33,46	1,39	0,72	1,59	33,47
door	18	39,92	1,34	0,99	2,61	39,93
quad	6	63,82	1,27	0,39	0,75	63,82
sctr	2	29,59	1,40	0,15	0,82	29,59
heli	18	47,62	1,30	0,58	1,01	47,62
horn	86	44,73	1,41	0,63	1,58	44,74
scar	21	58,99	1,26	0,25	0,68	58,99
drll	325	44,18	1,41	0,49	0,95	44,18
radi	89	38,50	1,48	0,25	0,70	38,50
dryb	929	45,13	1,40	0,70	1,51	45,13
beep	28	23,40	1,33	0,76	1,05	23,41
mblw	71	39,62	1,43	0,59	1,50	39,63
mtlf	28	35,51	1,41	0,65	1,37	35,52
stfs	21	43,86	1,45	0,46	1,38	43,87
tlbp	2294	27,62	1,35	0,54	1,24	27,63
swrl	361	36,57	1,31	0,88	1,96	36,58
lves	16	25,31	1,46	0,54	1,03	25,32
musi	143	36,50	1,30	0,49	1,09	36,50
bark	10	44,19	1,29	0,55	1,26	44,19
trll	18	31,40	1,33	0,55	1,13	31,41
bkmu	2	45,40	1,33	0,15	0,66	45,40
bird	32	24,38	1,26	0,50	1,43	24,39
bell	4	30,14	1,72	0,93	3,01	30,16
snze	9	38,33	1,37	0,70	1,88	38,34
peop	1711	32,06	1,34	0,48	1,21	32,07
coug	84	30,04	1,35	0,94	2,18	30,06
whst	7	36,15	1,41	0,42	1,01	36,15
walk	237	24,47	1,35	1,41	2,73	24,51
cano	1	28,74	1,52	0,43	2,11	28,75
keys	20	27,84	1,40	1,30	3,44	27,88

Fig. 32 Valores de Loudness, Sharpness, Roughness, Loudness Fluctuation y PA para las muestras seleccionadas como válidas. En rojo marcadas aquellas etiquetas con valores elevados de PA (sonidos altamente molestos) y en naranja aquellas que tienen un valor bajo de PA (sonidos poco molestos).

Los datos obtenidos para el *Psychoacoustic Annoyance* se comprenden entre

$P_{Amin} = 23,41$ (beep)

$P_{Amax} = 63,32$ (quad)

Por lo que nuestro lindar es de 43,365, los valores superiores a este los vamos a considerar molestos y los inferiores a este van a ser sonidos poco molestos.

A modo general, los valores en principio parecen ser coherentes, ya que los sonidos con un alto índice de molestia se comprenden en general entre el grupo de Tráfico y Trabajo. A pesar de ello, también hay valores que no cuadran con el valor esperado, es el caso de *beep*, el cual tiene el menor índice y corresponde al sonido de un pitido bastante molesto. Analizando el archivo de audio de estas muestras, nos damos cuenta de que tienen una duración menor a un segundo y el sonido es lejano, por lo que cuesta distinguirlo, por ello, es lógico este valor, ya que las muestras no son representativas.

Hay que tener en cuenta que hay varios sonidos de los cuales hemos extraído pocas muestras y que, a la hora de analizarlos como tal, no podemos considerarlos como válidos, ya que deberíamos tener un alto número de muestras para cada uno de los sonidos para obtener unos valores lo más 'realistas' posibles. Por ello, todos los valores con pocas muestras, no se van a tener en cuenta en los próximos análisis.

Haciendo un análisis más exhausto de los resultados de la tabla XX, vemos lo siguiente:

- **Sonidos Tráfico:** contienen el mayor número de sonidos molestos (*quad, scar, trck, heli, mbke y horn*). Por otro lado, el valor del freno de un vehículo resulta ser de los menos molestos.
- **Sonidos Trabajo:** *drll* y *dryb* son los sonidos más molestos del grupo, lo cual tiene sentido ya que se trata de dos sonidos con una alta intensidad. En cuanto a los demás sonidos no podemos sacar una conclusión clara ya que tenemos pocas muestras

- **Sonidos Ciudad:** los sonidos con más muestras son *tlbp*, *swrl* y *musi*. Todos ellos se pueden considerar como poco molestos. En el caso de *tlbp* tiene un índice bastante bajo, a pesar de que el sonido de los semáforos puede considerarse algo molesto, en este caso, podemos dar como válido este valor debido al alto número de muestras, pero, si analizamos todas estas, podemos ver que se tratan de audios muy cortos y con poca claridad del sonido del pitido del semáforo, por lo que deducimos que está a una distancia bastante grande.
- **Sonidos Gente:** los resultados son muy positivos en este caso ya que ninguno supera el lindar de PA. Cabe destacar que el propio sonido de *peop* es uno de los mejores y con una alta fiabilidad debido a la cantidad de muestras y la diversidad de estas.

5.3 Estudio por áreas

A partir de los datos obtenidos en la Tabla 32, vamos a separar estos datos según las tres áreas que hemos estudiado tanto para el primer día como para el segundo.

También se van a analizar las muestras más significantes a nivel temporal, es decir, la evolución de estos según las horas en las que se grabaron. Para ello, vamos a tener en cuenta la cantidad de muestras de las etiquetas y el valor PA obtenido, nos centraremos en aquellos que tienen un alto o bajo valor.

5.3.1 Estudio para el área A

Para el área A, vemos que los valores más altos coinciden con los generales, el tráfico es el más perjudicial (con *mbke* y *trck* como en ambos casos elevados).

En el caso del segundo día, tal y como podemos ver en la Tabla 14, no hay ningún ruido relacionado con el Trabajo, de hecho, casi todos los sonidos están relacionados con el Tráfico y con valores elevados de PA.

Resultados para el primer día:

Etiqueta	# muestras	Loudness	Sharpness	Roughness	Loudness Fluctuation	PA
mbke	30	47,23	1,40	0,26	0,60	47,23
trck	170	50,23	1,47	0,22	0,57	50,23
brak	289	32,70	1,40	0,80	1,79	32,71
horn	12	44,20	1,40	0,85	1,66	44,21
scar	2	52,86	1,23	0,33	0,75	52,86
dryb	3	42,50	1,35	0,51	2,01	42,51
beep	6	24,30	1,32	0,43	1,06	24,30
stfs	3	29,85	1,26	0,36	1,01	29,85
swrl	1	28,32	1,31	1,57	4,04	28,39
lves	4	22,27	1,38	0,36	0,73	22,27
bird	4	41,17	1,30	0,81	2,54	41,19
snze	1	29,09	1,35	0,53	2,34	29,10
peop	3	26,24	1,32	0,79	3,70	26,27
coug	8	24,37	1,30	0,83	2,44	24,40
whst	1	27,09	1,19	0,79	1,37	27,11

Fig. 33 Resultados zona A, día 1. En gris, los sonidos que vamos a analizar individualmente. Vemos que los sonidos con una PA más elevada se concentran en el Tráfico, aunque también encontramos muestras con un valor elevado en el grupo de Trabajo y Ciudad.

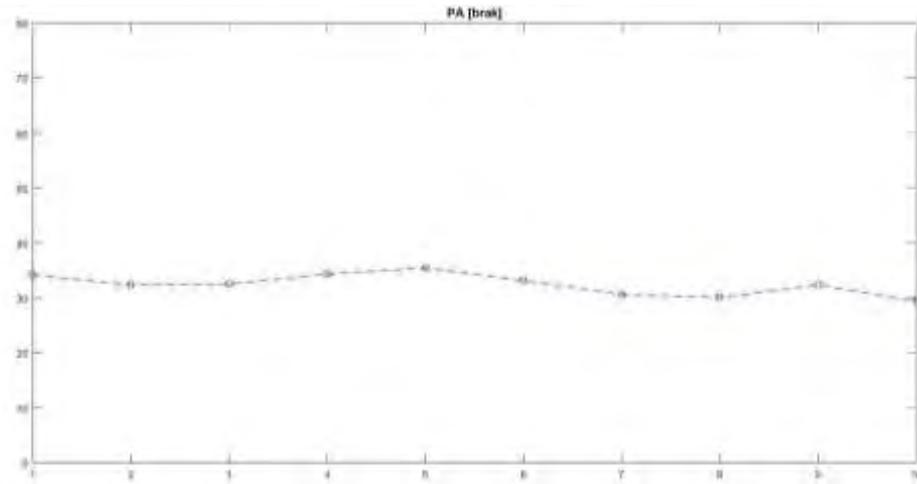


Fig. 34 Evolución PA etiqueta *brak*, zona A, día 1. En el eje x se muestran las franjas horarias [1, 10] y en el eje y el valor obtenido de PA. El sonido de los frenos es prácticamente uniforme durante todo el día 1, por lo que nos indica que hay un alto nivel de tráfico durante el día.

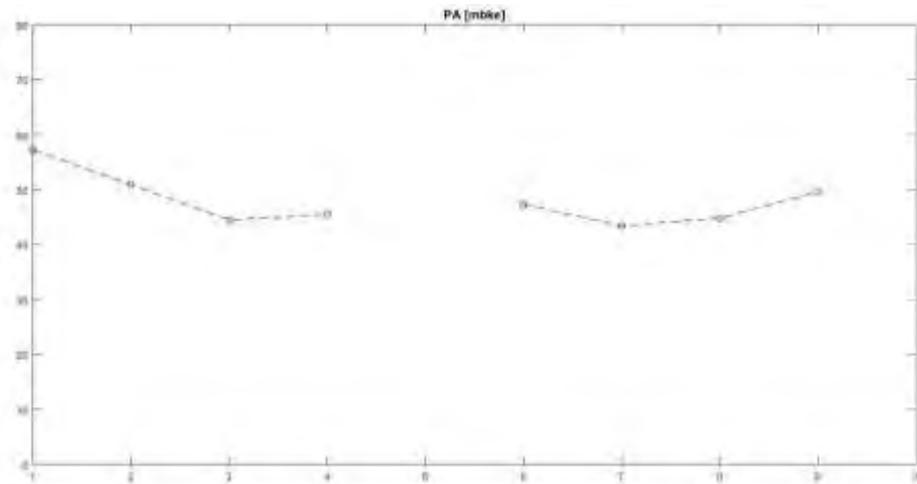


Fig. 35 Evolución PA etiqueta *mbke*, zona A, día 1. En el eje x se muestran las franjas horarias [1, 10] y en el eje y el valor obtenido de PA. El sonido producido de las motos se muestra durante dos momentos [8.03, 11:45] y [14:05, 17:23], pero en ambos momentos el valor de PA es elevado.

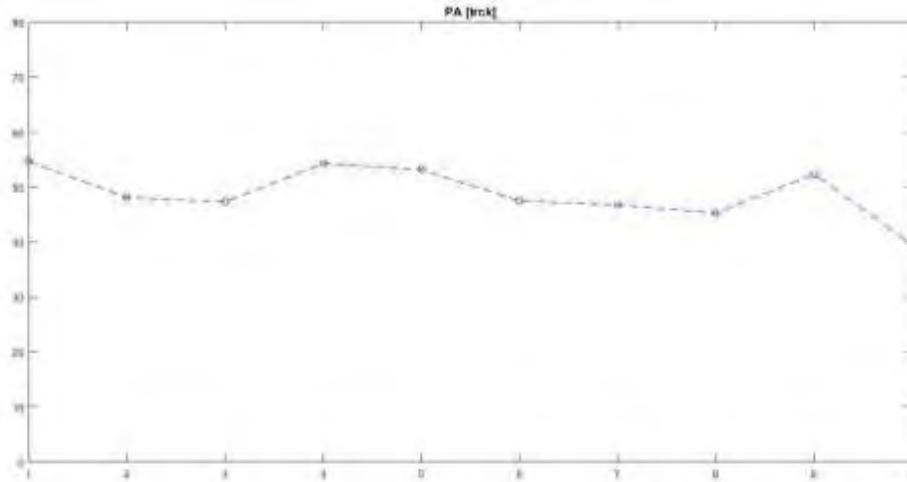


Fig. 36 Evolución PA etiqueta *trck*, zona A, día 1. En el eje x se muestran las franjas horarias [1, 10] y en el eje y el valor obtenido de PA. El sonido de los camiones es bastante uniforme al largo del día y con un elevado valor de PA, por lo que podemos considerar que afecta negativamente a la contaminación acústica.

Resultados para el segundo día:

Etiqueta	# muestras	Loudness	Sharpness	Roughness	Loudness Fluctuation	PA
mbke	24	50,43	1,25	0,37	0,67	50,43
trck	4	51,02	1,34	0,14	0,53	51,02
brak	99	34,75	1,29	0,66	1,32	34,75
quad	2	44,81	1,28	0,31	0,61	44,81
horn	3	52,41	1,34	0,49	1,72	52,41
scar	7	73,58	1,20	0,26	0,64	73,58
swrl	34	34,41	1,27	0,89	2,01	34,43
bark	2	25,44	1,21	0,18	0,70	25,44
bird	26	21,83	1,25	0,42	1,06	21,83
peop	7	34,27	1,23	0,26	0,95	34,27
coug	4	29,22	1,28	1,52	2,17	29,26

Fig. 37 Resultados zona A, día 2. En gris, los sonidos que vamos a analizar individualmente. Los valores más elevados de PA se concentran en los sonidos producidos por el tráfico.

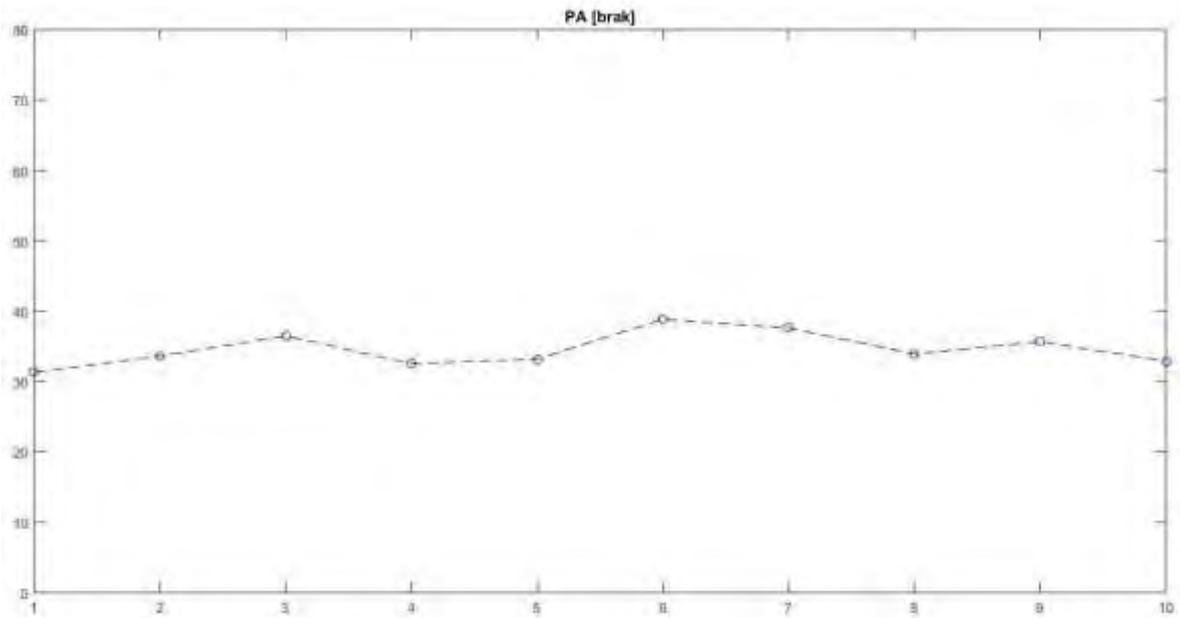


Fig. 38 Evolución PA etiqueta *brak*, zona A, día 2. En el eje x se muestran las franjas horarias [1, 10] y en el eje y el valor obtenido de PA. Del mismo modo que para el día A, el sonido de los frenos es uniforme al largo del día, por lo que también deducimos que el punto A tiene un alto contenido de tráfico el día 2.

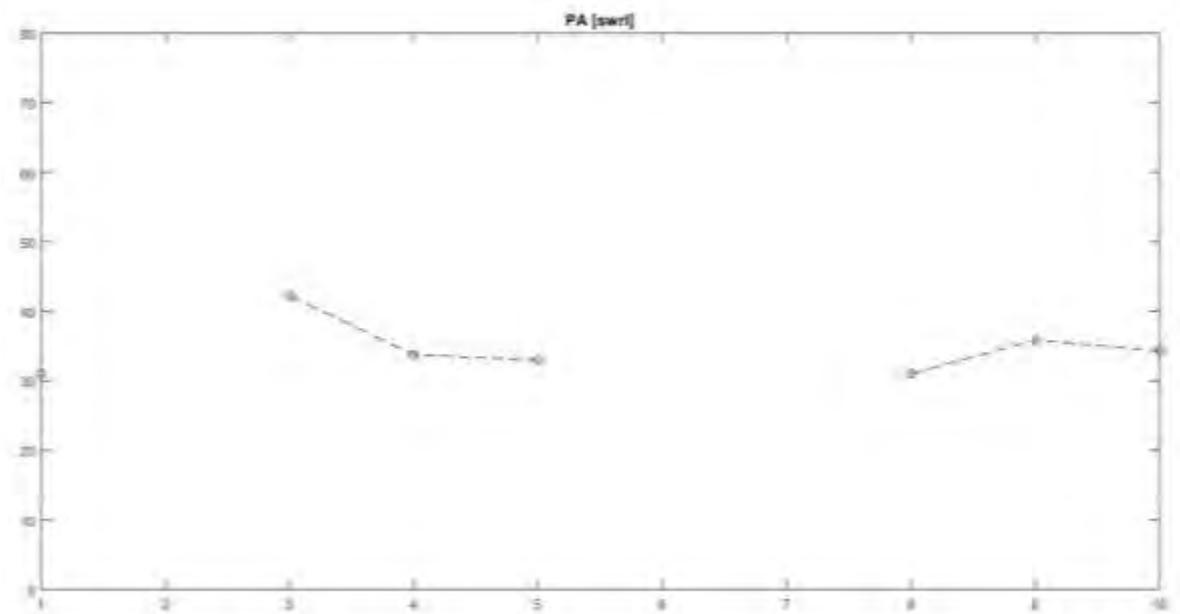


Fig. 39 Evolución PA etiqueta *swrl*, zona A, día 2. En el eje x se muestran las franjas horarias [1, 10] y en el eje y el valor obtenido de PA. El sonido de los coches sobre el alcantarillado se muestra en dos momentos concretos del día [10:49, 12:58] y [17:40, 19:34]

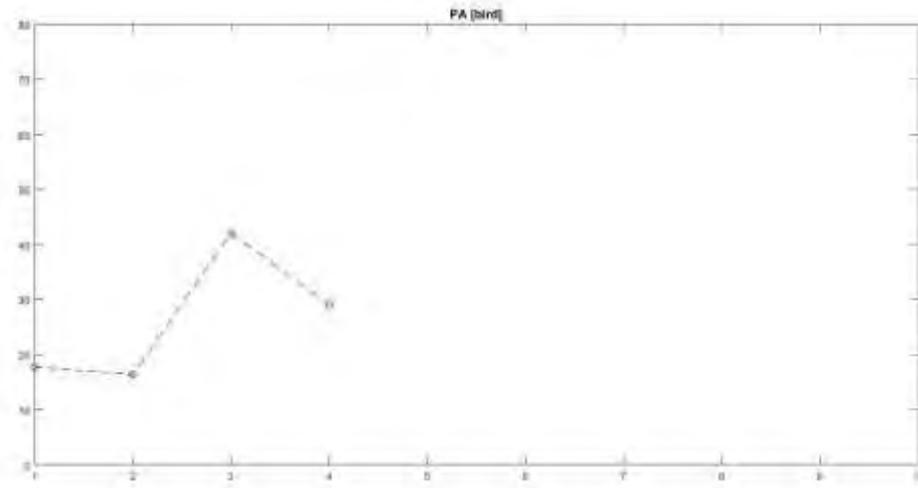


Fig. 40 Evolución PA etiqueta *bird*, zona A, día 2. En el eje x se muestran las franjas horarias [1, 10] y en el eje y el valor obtenido de PA. Vemos que el sonido de los pájaros sólo se produce en las horas bajas del día [8:49, 11:47]. Este sonido tiene un valor bajo de PA.

Podemos concluir que el área A, tanto para el día de diario como el fin de semana, tiene un elevado contenido de Tráfico, el cual afecta negativamente a la contaminación acústica de este punto.

Por otro lado, vemos que uno de los valores que tiene un bajo valor de PA sólo se muestra durante las primeras horas del día.

5.3.2 Estudio para el área B

En el área B, vemos que, en ambos días, el Tráfico es el mayor factor de molestia. Siendo la ciudad y la Gente los grupos mayoritariamente no-molestos.

Resultados para el primer día:

Etiqueta	# muestras	Loudness	Sharpness	Roughness	Loudness Fluctuation	PA
mbke	25	45,70	1,38	0,21	0,59	45,70
trck	40	47,42	1,42	0,17	0,54	47,42
brak	232	33,17	1,40	0,67	1,44	33,18
door	7	36,71	1,34	0,95	2,77	36,73
quad	1	64,05	1,23	0,52	0,98	64,05
heli	9	45,03	1,30	0,57	1,01	45,03
horn	23	42,02	1,37	0,55	1,53	42,03
scar	1	43,53	1,27	0,14	0,51	43,53
drll	143	41,68	1,39	0,45	0,90	41,69
radi	34	33,56	1,45	0,21	0,70	33,56
dryb	6	43,98	1,54	0,66	1,70	43,99
beep	6	19,26	1,38	1,00	1,29	19,28
mblw	4	36,76	1,49	0,59	1,35	36,77
stfs	1	37,58	1,39	0,49	0,71	37,58
tlbp	1141	26,21	1,35	0,52	1,24	26,21
swrl	151	36,28	1,31	0,79	1,83	36,29
lves	6	25,79	1,48	0,59	1,13	25,79
musi	49	32,47	1,29	0,46	1,07	32,47
trll	9	29,58	1,32	0,54	1,13	29,58
bell	1	19,07	2,04	1,08	5,04	33,06
snze	4	36,06	1,37	0,70	1,82	36,07
peop	759	30,37	1,33	0,46	1,19	30,38
coug	22	29,13	1,39	0,78	2,23	29,15
whst	3	35,80	1,45	0,35	0,95	35,80
walk	36	24,03	1,33	1,57	3,11	24,09
hbrk	1	30,04	1,44	0,65	1,83	30,05

Fig. 41 Resultados zona B, día 1. En gris, los sonidos que vamos a analizar individualmente. Los valores más altos de PA se centran en el Tráfico y en el Trabajo.

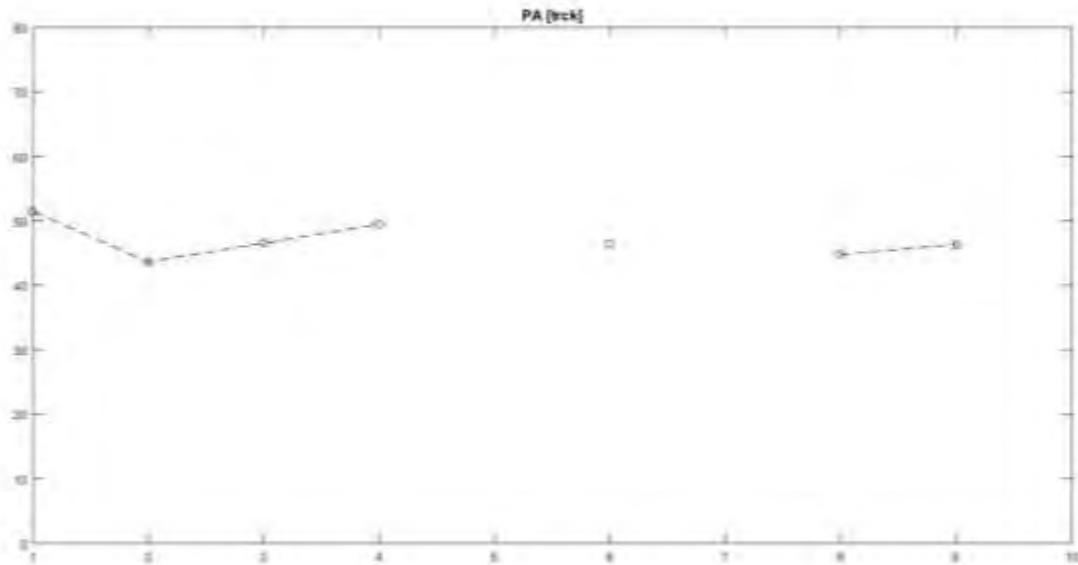


Fig. 42 Evolución PA etiqueta *trck*, zona B, día 1. En el eje x se muestran las franjas horarias [1, 10] y en el eje y el valor obtenido de PA. Tenemos muestras de camiones durante casi todo el día, excepto para las horas (13:18, 15:38 y 18:47).

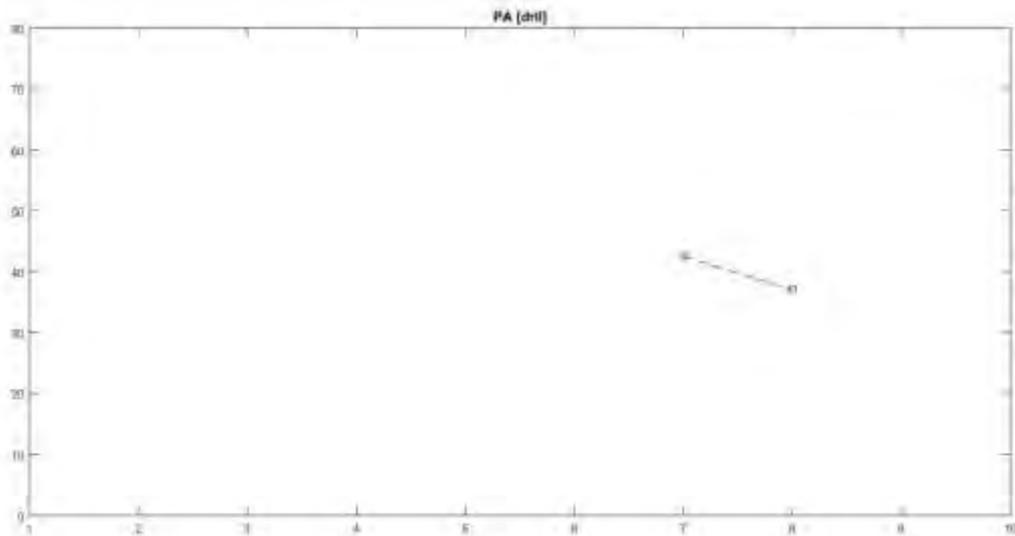


Fig. 43 Evolución PA etiqueta *drll*, zona B, día 1. En el eje x se muestran las franjas horarias [1, 10] y en el eje y el valor obtenido de PA. Todas las muestras de la máquina de perforación se centran en una franja de tiempo [16:49, 17:57]. Vemos que este valor es bastante elevado en esta ventana de tiempo.

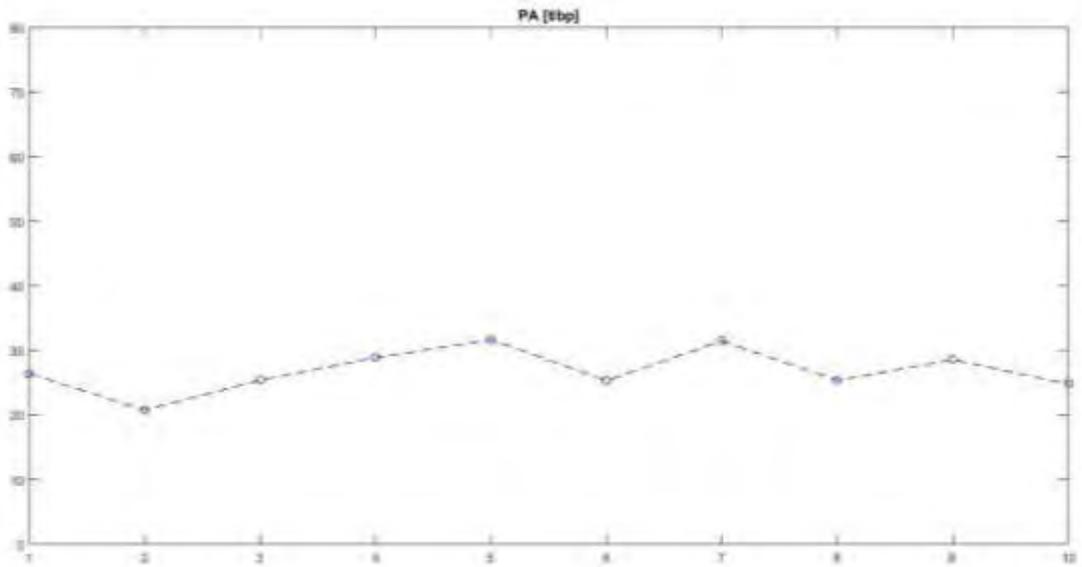


Fig. 44 Evolución PA etiqueta *tblp*, zona B, día 1. En el eje x se muestran las franjas horarias [1, 10] y en el eje y el valor obtenido de PA. El sonido del pitido de los semáforos es uniforme al largo del primer día, a pesar de ello, su valor, es bastante bajo, como ya hemos comentado, esto se debe a que las muestras son de poca duración y lejanas.

Resultados para el segundo día:

Etiqueta	# muestras	Loudness	Sharpness	Roughness	Loudness Fluctuation	PA
mbke	26	45,90	1,35	0,27	0,64	45,90
trck	45	48,53	1,41	0,17	0,56	48,53
brak	236	33,52	1,41	0,74	1,63	33,53
door	11	41,95	1,34	1,01	2,51	41,97
quad	1	76,96	1,23	0,56	0,99	76,96
heli	9	50,21	1,30	0,59	1,01	50,21
horn	24	44,99	1,38	0,62	1,53	45,00
scar	1	43,51	1,27	0,14	0,51	43,51
drll	164	46,65	1,40	0,48	0,91	46,66
radi	37	35,97	1,45	0,22	0,70	35,97
dryb	8	44,46	1,50	0,64	1,76	44,47
beep	6	20,33	1,39	1,02	1,30	20,35
mblw	5	39,49	1,47	0,59	1,41	39,49
stfs	1	37,56	1,39	0,49	0,71	37,56
tlbp	1153	29,02	1,35	0,55	1,25	29,02
swrl	124	37,71	1,31	0,88	1,95	37,72
lves	6	26,87	1,49	0,60	1,13	26,88
musi	94	38,60	1,31	0,51	1,10	38,60
trll	9	33,23	1,33	0,56	1,13	33,24
bell	1	20,10	2,04	1,09	5,04	35,06
snze	4	42,91	1,38	0,74	1,83	42,92
peop	733	33,46	1,34	0,49	1,20	33,47
coug	20	31,58	1,39	0,86	2,30	31,59
whst	3	39,51	1,45	0,37	0,96	39,51
walk	27	24,25	1,33	1,89	3,56	24,33
cano	1	28,74	1,52	0,43	2,11	28,75
hbrk	1	31,28	1,45	0,66	1,83	31,29

Fig. 45 Resultados zona B, día 2. En gris, los sonidos que vamos a analizar individualmente. En este caso, la gran mayoría de sonidos molestos se concentran en el grupo de Tráfico.

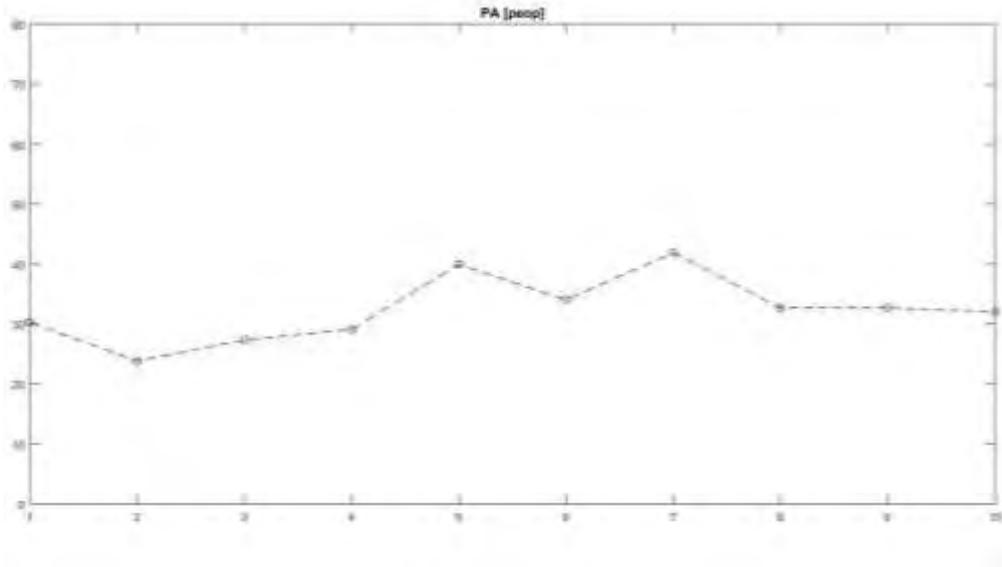


Fig. 46 Evolución PA etiqueta *peop*, zona B, día 2. En el eje x se muestran las franjas horarias [1, 10] y en el eje y el valor obtenido de PA. Vemos que el sonido producido por la gente es bastante homogéneo y con valores considerablemente bajos, sólo en los tiempos (12:14 y 16:49) el sonido supera el lindar.

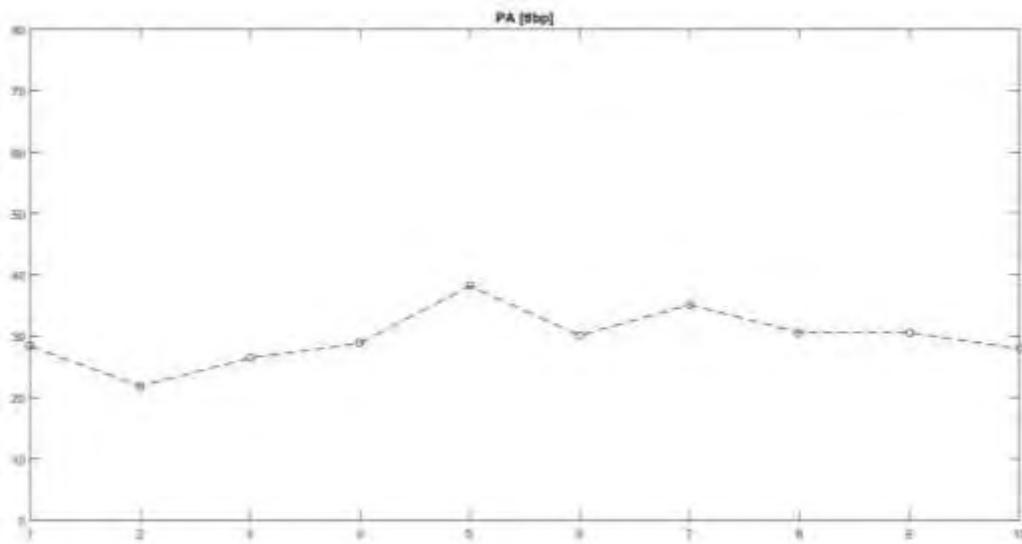


Fig. 47 Evolución PA etiqueta *tlbp*, zona B, día 2. En el eje x se muestran las franjas horarias [1, 10] y en el eje y el valor obtenido de PA. Los resultados para los pitidos del semáforo en el segundo día son muy similares al primero.

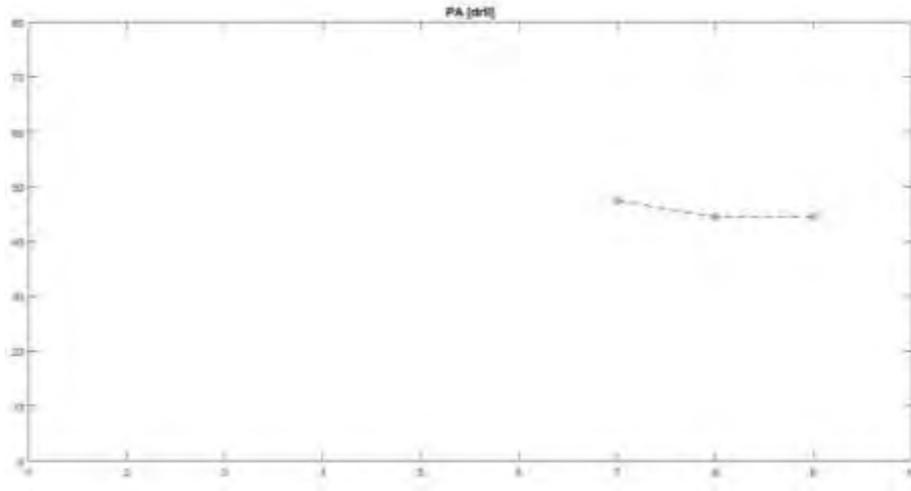


Fig. 48 Evolución PA etiqueta *drll*, zona B, día 2. En el eje x se muestran las franjas horarias [1, 10] y en el eje y el valor obtenido de PA. Las muestras de la máquina perforadora se centran en las horas [16:49, 18:53] y con un valor elevado, tal y como es de esperar.

5.3.3 Estudio para el área C

Resultados para el primer día:

Etiqueta	# muestras	Loudness	Sharpness	Roughness	Loudness Fluctuation	PA
mbke	31	45,19	1,39	0,25	0,63	45,19
trck	158	49,41	1,39	0,26	0,63	49,41
brak	338	33,17	1,39	0,68	1,56	33,18
quad	1	73,49	1,29	0,32	0,65	73,49
sctr	1	28,52	1,40	0,15	0,81	28,52
horn	13	45,25	1,48	0,59	1,61	45,25
scar	5	51,31	1,30	0,25	0,73	51,31
drll	9	39,75	1,58	0,84	1,59	39,76
radi	9	50,60	1,57	0,37	0,67	50,61
dryb	451	44,56	1,40	0,68	1,48	44,56
beep	5	27,12	1,27	0,65	0,74	27,13
mblw	28	39,01	1,43	0,51	1,46	39,02
mtlf	14	33,81	1,41	0,64	1,37	33,81
stfs	8	44,32	1,49	0,46	1,53	44,32
swrl	26	35,73	1,33	1,06	2,25	35,75
bark	4	44,41	1,30	0,62	1,40	44,42
bkmu	1	41,95	1,33	0,14	0,66	41,95
bird	1	22,73	1,32	0,85	4,06	22,78
bell	1	38,66	1,39	0,76	0,98	38,67
peop	105	31,56	1,33	0,48	1,27	31,56
coug	15	28,80	1,33	1,03	1,99	28,82
walk	87	23,66	1,36	1,29	2,52	23,70
keys	10	25,78	1,39	1,28	3,43	25,83
hbrk	10	31,20	1,38	1,19	2,17	31,22
mega	27	49,78	1,34	0,68	1,33	49,78
dog	1	40,50	1,33	0,43	1,14	40,50

Fig. 49 Resultados zona C, día 1. En gris, los sonidos que vamos a analizar individualmente.

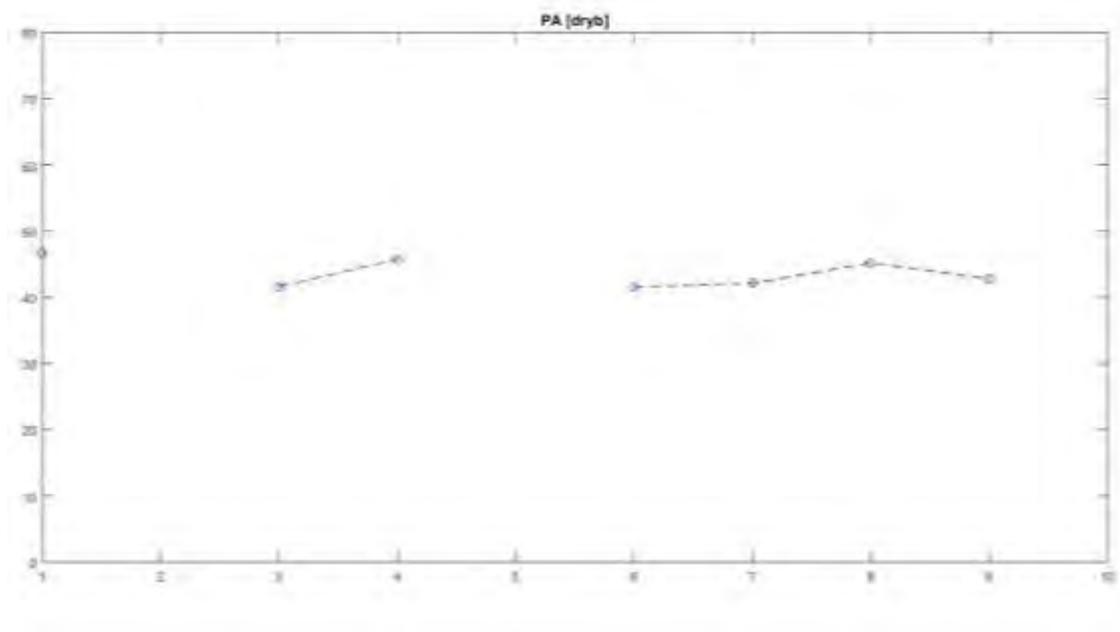


Fig. 50 Evolución PA etiqueta dryb, zona C, día 1. En el eje x se muestran las franjas horarias [1, 10] y en el eje y el valor obtenido de PA. Los valores para los sonidos producidos por un golpe seco son bastante elevados, estos se producen puntualmente, sobretodo en las horas de la tarde.

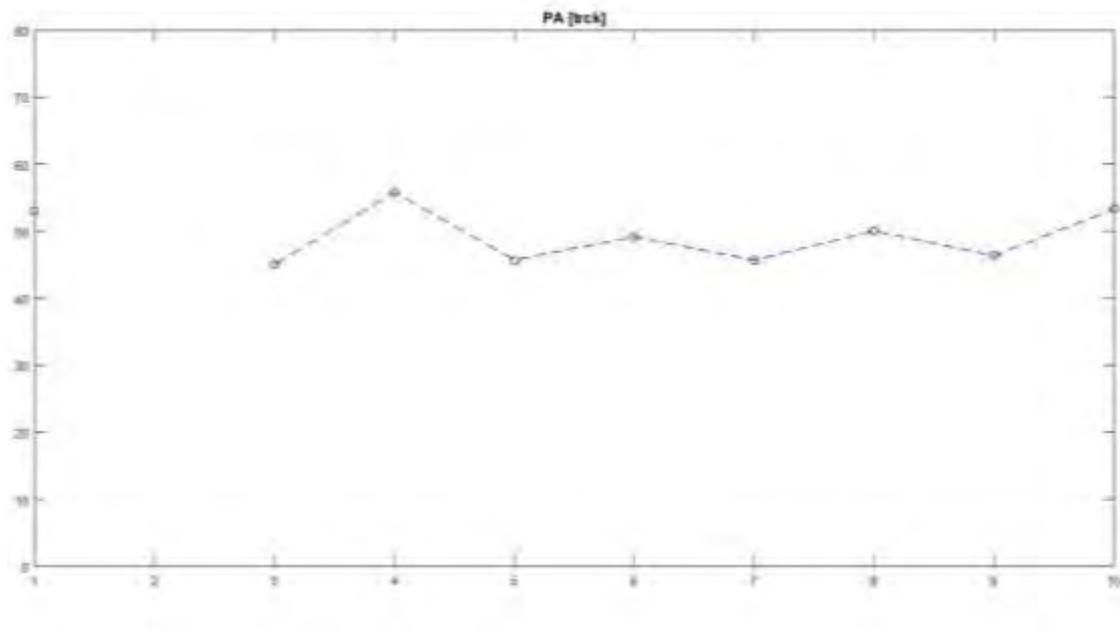


Fig. 51 Evolución PA etiqueta trck, zona C, día 1. En el eje x se muestran las franjas horarias [1, 10] y en el eje y el valor obtenido de PA. Hay un alto contenido de sonidos producidos por el camión y con una molestia bastante elevada.

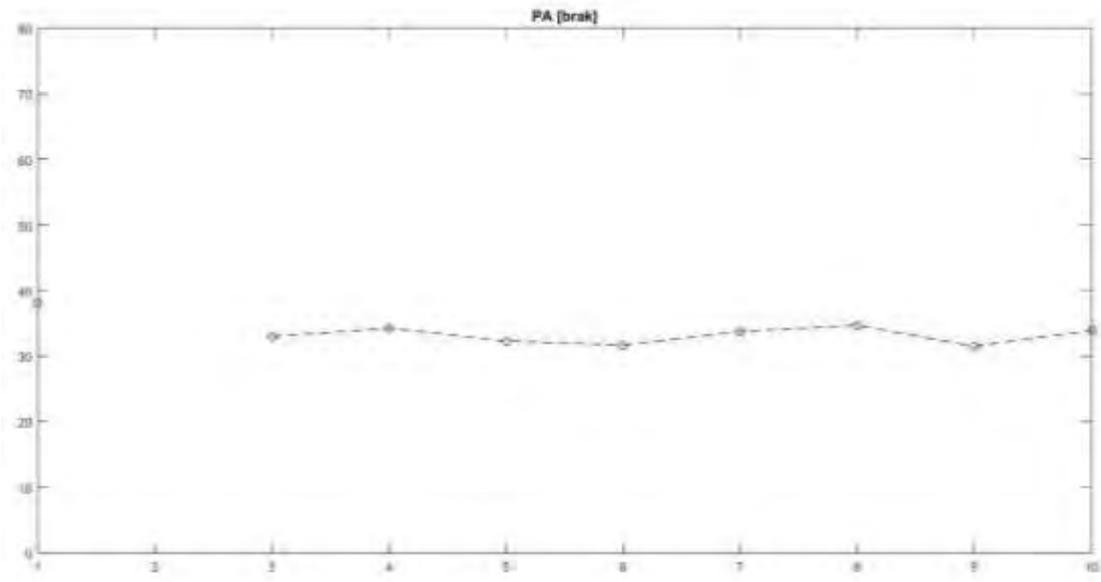


Fig. 52 Evolución PA etiqueta break, zona C, día 1. En el eje x se muestran las franjas horarias [1, 10] y en el eje y el valor obtenido de PA. Como en el caso de la zona A, los frenos se distribuyen muy uniformemente, por lo que vemos que hay un alto nivel de tráfico.

Resultados para el segundo día:

Etiqueta	# muestras	Loudness	Sharpness	Roughness	Loudness Fluctuation	PA
mbke	37	45,88	1,38	0,30	0,68	45,88
trck	134	51,17	1,40	0,27	0,64	51,17
brak	303	34,26	1,39	0,72	1,59	34,27
quad	1	78,79	1,29	0,33	0,66	78,79
sctr	1	30,67	1,40	0,16	0,82	30,67
horn	11	47,72	1,48	0,65	1,66	47,72
scar	5	54,87	1,30	0,26	0,73	54,88
drll	9	43,13	1,59	0,86	1,60	43,13
radi	9	55,49	1,57	0,38	0,68	55,50
dryb	461	45,73	1,39	0,72	1,54	45,73
beep	5	27,23	1,27	0,65	0,74	27,24
mblw	34	40,48	1,43	0,66	1,57	40,48
mtlf	14	37,21	1,42	0,65	1,37	37,22
stfs	8	50,24	1,50	0,49	1,54	50,24
swrl	25	36,80	1,32	1,15	2,32	36,82
bark	4	53,34	1,31	0,66	1,41	53,35
bkmu	1	48,86	1,34	0,16	0,67	48,86
bird	1	25,16	1,33	0,88	4,08	25,20
bell	1	42,72	1,39	0,78	0,98	42,73
peop	104	35,06	1,33	0,51	1,28	35,06
coug	15	33,83	1,34	1,08	2,00	33,84
walk	87	25,52	1,37	1,32	2,52	25,55
keys	10	29,89	1,40	1,33	3,45	29,93
hbrk	10	35,18	1,39	1,23	2,18	35,21
mega	27	53,22	1,34	0,70	1,33	53,22
dog	1	43,31	1,33	0,44	1,15	43,31

Tabla 22 Resultados zona C, día 2. En gris, los sonidos que vamos a analizar individualmente.

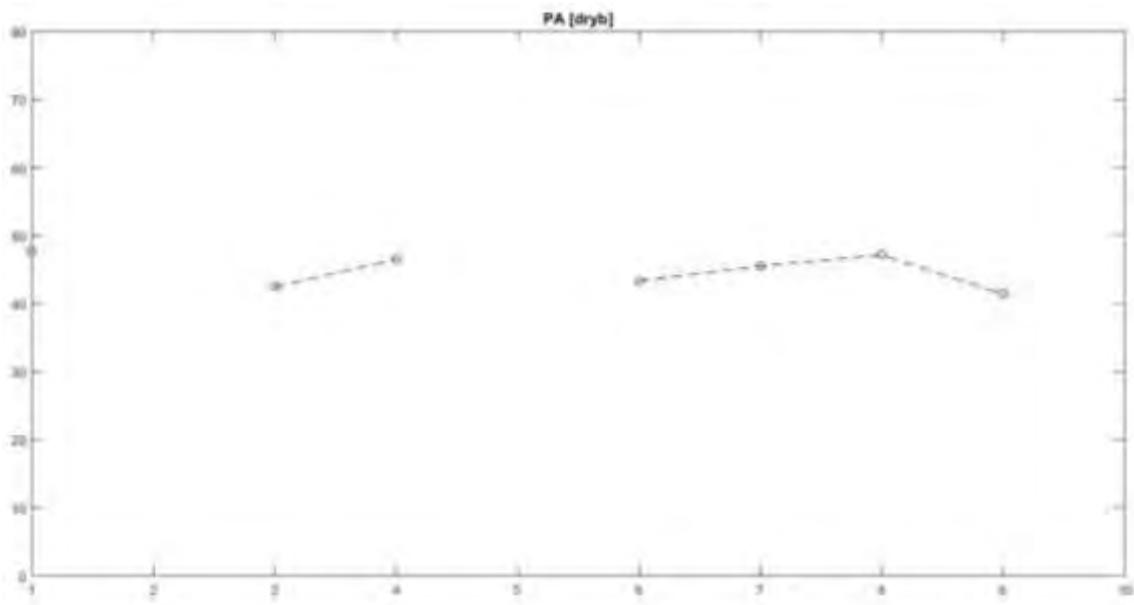


Fig. 53 Evolución PA etiqueta *dryb*, zona C, día 2. En el eje x se muestran las franjas horarias [1, 10] y en el eje y el valor obtenido de PA. Como en el caso del primer día, los sonidos producidos por golpes secos son puntuales y con un valor elevado.

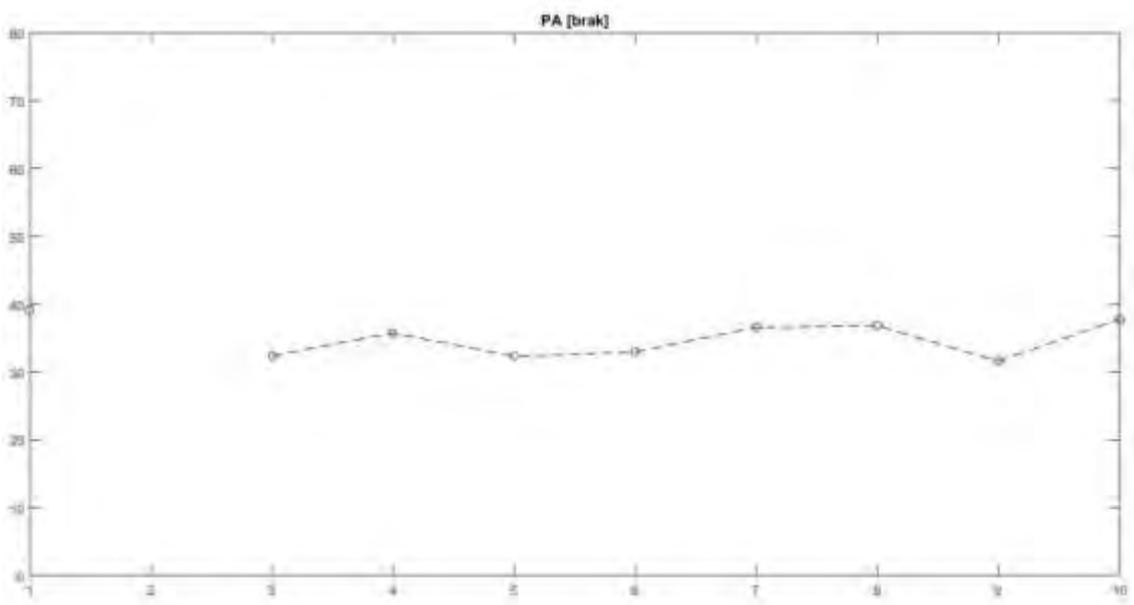


Fig. 54 Evolución PA etiqueta *brak*, zona C, día 2. En el eje x se muestran las franjas horarias [1, 10] y en el eje y el valor obtenido de PA. Como en el caso del primer día, los sonidos producidos por los frenos son uniformes y con un elevado medio.

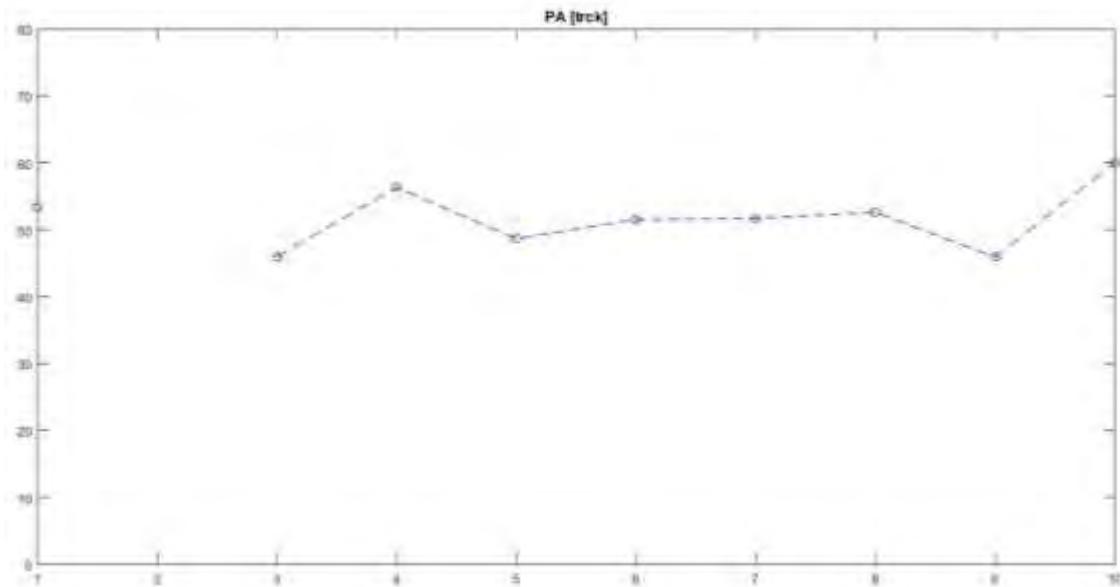


Fig. 55 Evolución PA etiqueta *trck*, zona C, día 2. En el eje x se muestran las franjas horarias [1, 10] y en el eje y el valor obtenido de PA. Como en el caso del primer día, también hay un gran volumen de muestras de camiones y con un elevado valor de molestia.

Para el caso de la zona C, vemos que tanto los valores de PA como las distribuciones en función del tiempo son muy similares, por lo que nos indica que el medioambiente acústico de diario es muy similar al del fin de semana.

En este caso, se ve afectado sobre todo por el Tráfico y el Trabajo, aunque, en este caso, también hay elementos de la ciudad que generan más molestia, como por ejemplo, *bark* (ladridos).

Conclusiones

En este proyecto se han estudiado algunos de los parámetros psicoacústicos como indicadores del *soundscape* de la ciudad de Andorra la Vella. Para ello se han empleado distintos algoritmos definidos en diferentes estudios. Ninguno de ellos está estandarizado a día de hoy, así que sólo son teorías que hemos puesto en práctica.

Para nuestro caso, hemos concluido que los algoritmos que nos han sido más fiables han sido Chalupper & Pastl para el cálculo de *Loudness* y el algoritmo desarrollado por Zwicker y Fastl para el cálculo de *Sharpness*. En el caso de *Loudness Fluctuation* hemos usado el algoritmo dinámico de XX, ya que era la única manera posible de calcular este valor y, del mismo modo, para calcular el *Roughness* hemos usado el algoritmo de Daniel & Weber.

Una vez calculados estos indicadores, hemos calculado el descriptor PA para las distintas muestras realizadas sobre la ciudad de Andorra. Como conclusión final, podemos afirmar que es un descriptor que se ajusta bastante bien a la realidad, ya que hemos visto que sonidos que resultan molestos en el oído, tienen un índice PA bastante elevado. Cabe destacar que algunos de los valores no se han ajustado correctamente con este descriptor por varios motivos: muestras insuficientes; muestras lejanas y cortas que no permiten ajustarse a la realidad, por lo que el resultado tampoco se puede considerar como válido.

Como ya se había comprobado en el proyecto sobre el *soundscape* de Andorra de Robert [1][2], los sonidos que más afectan negativamente al medioambiente acústico de Andorra, son los producidos por el tráfico, pues son los que tienen más representación en las tres áreas ambos días y tienen valores de *SNR* y *PA* elevados, por lo que concluimos que son los primeros sonidos a ser revisados para mejorar el medioambiente acústico de la ciudad de Andorra. Por consiguiente, los siguientes ruidos que afectan negativamente, son los producidos por el Trabajo, aun que hemos podido ver que se muestran en momentos puntuales, por lo que no es un problema general.

A nivel concreto de cada área:

- **Área 1:** los sonidos con un valor más elevado de PA son los producidos por el Tráfico (sonidos producidos por coches deportivos, motocicletas, camiones y pitidos).
- **Área 2:** los sonidos con mayor valor de PA son los del Tráfico (camiones, motocicletas y pitidos) y los producidos por el Trabajo (máquina perforadora). Del mismo modo que se observó en el proyecto de *soundscape* de Andorra de Robert [1][2], hemos visto que los valores obtenidos para el pitido de los semáforos (*tlbp*) no concuerdan con el valor esperado, ya que tenemos una SNR y un PA bastante bajos, mientras que se trata de un sonido bastante molesto. Por otro lado, también hemos observado que las muestras obtenidas no son del todo fiables (distantes y con poca duración).
- **Área 3:** a diferencia de los resultados obtenidos en el TFG de Robert, los resultados para ambos días son bastante similares y con un alto componente de Tráfico (camiones) y Trabajo (cortes radiales y golpes secos).

Por ello, vemos que los sonidos producidos por el Tráfico son un problema general en las tres zonas y es el que afecta más al medioambiente acústico de la ciudad de Andorra. Los siguientes sonidos que afectan en gran proporción son los producidos por el Trabajo de la ciudad, esto es de esperar en días de diario, pero sorprende que también haya un alto componente los fines de semana.

Como conclusión final, cabe destacar que los sonidos con mayor molestia se presentan de manera prácticamente homogénea al largo del día, mientras que aquellos más agradables sólo se muestran en momentos puntuales. Dicho esto, se nos plantea una cuestión importante, ¿qué pasaría si incrementásemos los sonidos con menor PA? ¿Conseguiríamos mejorar el ambiente acústico?

Puntos fuertes y débiles del trabajo

A diferencia de otros estudios del medioambiente acústico, hemos puesto a prueba distintos algoritmos a la hora de calcular los parámetros psicoacústicos. Esto da un punto fuerte en el proyecto, ya que hemos podido analizar qué algoritmos se ajustaban mejor a nuestro caso y realizar el análisis sobre estos valores.

Por el contrario, al tratarse de algoritmos no estandarizados, no podemos concluir que sean valores determinantes. Como ya se ha comentado, estos resultados nos sirven para completar el análisis del sonido en la ciudad de Andorra, por lo que estos valores únicamente son un plus para ver qué sonidos debemos tener en cuenta para eliminarlos y mejorar el medioambiente acústico.

Limitaciones del trabajo

La contaminación acústica y las metodologías para analizarlo y reducirlo son conceptos relativamente nuevos, por lo que no hay una línea de estudio fija ni estandarizada. Esto ha limitado todo el proyecto, ya que se han tenido que ir cambiando las líneas de trabajo según la información encontrada y según las limitaciones que nos surgían en el proceso y que nos impedían seguir por ahí.

Otra limitación ha sido el software empleado para el cálculo de parámetros psicoacústicos, PsySound3. A pesar de ser el software que mejor se nos adaptaba debido a su sencillez de empleo y a sus múltiples analizadores de sonido, con los que hemos podido analizar los distintos algoritmos, el coste computacional total de las grabaciones se extiende a días, incluso una semana. Este ha sido una gran obstrucción en la fase de análisis, ya que estos resultados han sido el *Core* del proyecto, por lo que resultaba imposible avanzar sin tener estos datos completos y correctos.

Líneas de futuro

Los resultados obtenidos en este proyecto son muy similares a los empleados en el proyecto de *Chatty Maps* [5], un proyecto realizado por Goodcitylife.org que pretende analizar la cartografía de distintas ciudades en función del sonido. Así pues, la idea es poder consultar el mapa en directo de una ciudad y ver qué tipo de sonidos hay ahí. Así pues, puedes trazar la ruta más ‘agradable’ según los sonidos que destacan en esa zona.



Fig. 56 Chatty Maps (<http://goodcitylife.org/chattymaps/>)

BIBLIOGRAFÍA

Sarah McGuire y Patricia Davies (2008). "An overview of methods to quantify annoyance due to noise with application to tire-road noise"

Arturo Raúl Maristany González (2013). "Caracterización del paisaje sonoro y su interacción con el paisaje urbano"

Luca Marai Aiello, Rossano Schifanella, Daniele Quercia and Francesco Aletta (2016) "Chatty maps: constructing sound maps of urban areas from social media data"

Sang-Gil Park, Jeong-Taek Park, Ki-Won Seo and Gil-Bong Lee (2012). "Comparison of the Sound Quality Characteristics for the Outdoor Unit according to the Compressor Model." *International Compressor Engineering Conference*. Paper 2123.

Robert García Almazán (2018). "Description of Noise Events for Reliable Dynamic Noise Mapping in Real-Life Urban Soundscape in Andorra"

Alvaro Echarte Merino (2010). "Evaluación de la calidad Sonora mediante parámetros psicoacústicos"

Zwicker E. and Fastl H. (1990). "Psychoacoustics: Facts and Models"

Francesco Aletta and Jian Kang (2012). "Soundscape approach integrating noise mapping techniques: a case study in Brighton, UK"

Francesco Aletta, Jian Kang and Östen Axelsson (2016). "Soundscape descriptors and a conceptual framework for developing predictive soundscape models"

WEBGRAFÍA

Psysound (download): <http://www.densilcabrera.com/wordpress/psysound3/>

Wikidot PsySound3: <http://psysound.wikidot.com/>

Referencias

- [1] Robert García Almazán & Rosa Ma Alsina-Pagès (2018). Description of Noise Events for Reliable Dynamic Noise Mapping in Real-Life Urban Soundscape in Andorra.
- [2] Rosa Ma Alsina-Pagès, Robert Garcia Almazán, Marc Vilella & Marc Pons (2019). Noise Events Monitoring for Urban and Mobility Planning in Andorra la Vella and Escaldes – Engordany. *Journal Environments MDPI* 6,24.
- [3] Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental - Declaración de la Comisión ante el Comité de Conciliación de la Directiva sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. *Publicado en e-OJ con valor legal*. 2002
- [4] R. Murray Schafer (1977). *The Soundscape – The tuning of the world*. New York, NY: Knopf
- [5] Francesco Aletta, Jian Kang & Östen Axelsson. Soundscape descriptors and a conceptual framework for developing predictive soundscape models. *Journal Elsevier B.V.*, 65-74 .2016
- [6] Hugo Fastl & Eberhard Zwicker. *Psychoacoustics - Facts and models*. 1990. Berlin, Germany: Springer Verlag.
- [7] Guski, R., Felscher-Suhr, R., & Schuemer, R. (1999). The concept of noise annoyance: how international experts see it. *Journal of Sound and Vibration*, 223(4), 513–527
- [8] Zwicker, E. (1991). A proposal for defining and calculating the unbiased annoyance. *En A. Schick (Ed.), Contribution to psychological acoustics*. Oldenburg Germany: BIS Verlag
- [9] Preis, A. (1997). Environmental approach to noise. In A. Schick, & M. Klätte (Eds.), *Contributions to psychological acoustics. Resultados del 7º Simposio de Oldenburg sobre acústica psicológica*. Oldenburg Germany: BIS Verlag.
- [10] Terhardt, E., & Stoll, G. (1981). Skalierung des Wohlklangs (der sensorischen Konsonanz) von 17 Umweltschallen und Untersuchung der beteiligten Hörparameter. *Acta Acustica united with Acustica*, 48(4), 247–253.
- [11] Lavandier, C., & Defréville, B. (2006). The contribution of sound source characteristics in the assessment of urban soundscapes. *Acta Acustica united with Acustica*, 92(6), 912–921.
- [12] Delaitre, P., Lavandier, C., Cance, C., & Pruvost, J. (2012). What is the definition for the French word calme in the European Directive related to quiet areas. A lexicographic study from the 16th century until today. *Acta Acustica united with Acustica*, 98(5), 734–740.
- [13] Payne, S. R. (2013). The production of a perceived restorativeness soundscape scale. *Applied Acoustics*, 74, 255–263.
- [14] Licitra, G., Memoli, G., Botteldooren, D., & De Coensel, B. (2005). Traffic noise and perceived loudness: a case study. *En la conferencia de 2005 'Proceedings of the forum acusticum'*.
- [15] Memoli G., Bloomfield A., & Dixon M. (2008). Soundscape characterization in selected areas of Central London. *En la conferencia de 2008 'Proceedings of the acoustics' 2008* (pp. 5555–5560).
- [16] Pheasant, R. J., Horoshenkov, K. V., & Watts, G. R. (2009). The role of audio-visual interaction on the perception of tranquility. *En la conferencia de 2009 'Euronoise'*.
- [17] Axelsson, Ö., Nilsson, M., & Berglund, B. (2010). A principal components model of soundscape perception. *Journal of the Acoustical Society of America*, 128(5), 2836–2846.
- [18] Cain, R., Jennings, P., & Poxon, J. (2013). The development and application of the emotional dimensions of a soundscape. *Applied Acoustics*, 74, 232–239.

- [19] Davies, W. J., Adams, M. D., Bruce, N. S., Cain, R., Carlyle, A., Cusack, P., et al. (2013). Perception of soundscapes: an interdisciplinary approach. *Applied Acoustics*, 74, 224–231.
- [20] Ricciardi, P., Delaitre, P., Lavandier, C., Torchia, F., & Aumond, P. (2015). Sound quality indicators for urban places in Paris cross-validated by Milan data. *Journal of the Acoustical Society of America*, 138(4), 2337–2348.
- [21] Garcia Perez, I., Aspuru Soloaga, I., Herranz Pascual, K., & Garcia-Borreguero, I. (2012). Validation of an indicator for the assessment of the environmental sound in urban places. *En la conferencia de 2012 'Proceedings of the Euronoise'*.
- [22] Davies, W. J., Bruce, N. S., & Murphy, J. E. (2014). Soundscape reproduction and synthesis. *Acta Acustica United with Acustica*, 100(2), 285–292.
- [23] Axelsson, Ö. (2015). How to measure soundscape quality. *En la conferencia de 2015 'Proceedings of the Euronoise' (pp. 1477–1481)*.
- [24] ISO 532-1:2017, Acoustics — Methods for calculating loudness — Part 1: Zwicker method
- [25] P. Daniel and R. Weber (1997). Psychoacoustical roughness: Implementation of an optimized model. *Acta acustica united with acustica*, 83(1):113–123
- [26] W. Aures (1985). Ein berechnungsverfahren der rauhigkeit. *Acustica*, 58(5):268–281.
- [27] D. Cabrera (1999). 'PsySound': A computer program for the psychoacoustical analysis of music. *MikroPolyphonie* 5.
- [28] D. Cabrera, S. Ferguson and E. Schubert (2008). PsySound3: an integrated environment for the analysis of sound recordings. *Acoustics 2008: Presentado en la conferencia 'Proceedings of the Australian Acoustical Society'*, Geelong, Australia.
Repositorio: <https://github.com/densilcabrera/psysound3>
- [29] Sam Ferguson, Densil Cabrera, Emery Schubert, Farhan Rizwi & Félix Gendre (2013). PsySound3 User Manual DRAFT. *Incluido en el código libre del software*.
- [30] Chalupper, J. and Fastl, H. (2002). Dynamic Loudness Model (DLM) for Normal and Hearing-Impaired Listeners. *Acta Acustica United with Acustica*, 88, 378-386.
- [31] Chalupper, J. (2000). Modellierung der Lautstärkeschwankung für Normal- und Schwerhörige (Modelling loudness fluctuation for normal hearing and hearing impaired persons). Publicado en Fortschritte der Akustik, DAGA '00, 254-255' Dt. Gesell. für Akustik e. V. Oldenburg.
- [32] Moore, Brian C. J.; Glasberg, Brian R.; Baer, Thomas (1997). A Model for the Prediction of Thresholds, Loudness, and Partial Loudness. *Journal SAGE*, Volume 45 Issue 4 pp. 224-240