

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author

COMMERCIAL SOUNDSCAPE

Propuesta de un método de aproximación a la caracterización de un paisaje sonoro comercial en la ciudad

Departamento de Construcciones Arquitectónicas I (CA1)
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona (ETSAB)
Programa de doctorado: Ámbitos de investigación de la energía y el medio ambiente en arquitectura

Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)

TESIS DOCTORAL

Presentada por: Javier Moreno Escorza
Dirigida por: Joan-Lluís Zamora i Mestre



**Diputació
Barcelona**

Àrea de Comerç



Barcelona, Mayo de 2013

AGRADECIMIENTOS

A lo largo de esta investigación muchas personas han contribuido en su desarrollo y han conseguido hacer el camino más agradable. Desde aquí quiero mostrar mi gratitud a todos ellos.

A mi director de Tesis, el profesor Joan-Lluís Zamora y Maestro, por su guía constante y sus aportaciones, imprescindibles para el desarrollo de esta investigación.

En el área de Comercio de la Diputación de Barcelona, por el interés mostrado hacia el tema tratado y apoyo económico concedido.

A todos los profesores del programa de Doctorado AEiM, y el Master Oficial de Arquitectura, energía y medio ambiente, especialmente al profesor Rafael Serra, por sus enseñanzas que me descubrieron una arquitectura diferente.

A los profesores Helena Coch y José María González para iniciarme en este mundo de la investigación, por su invaluable apoyo y conocimientos transmitidos.

A los doctores Ricardo Atienza Badel, Angel Luis León Rodríguez y Luigi Maffei.

Al profesor Miguel García por su contribución en el procesamiento informático de los registros sonoros.

A Anna García Masiá y Carlos Marmolejo, por sus valiosas aportaciones sobre urbanismo y sociología.

Al profesor Jordi Romeu por su consejo en el inicio de esta Tesis.

A Françesc Daumal, por la ayuda en los pasos dados en esta investigación.

A mis compañeros de máster, Jorge, Luiz, Katia, Rosa, Francisco, Goliardo, Humberto, Maria Helena, Marianna, Nacho, Carolina y Sara, por tantas experiencias inolvidables juntos.

A mis compañeras de doctorado, Adriana, Leandra y Andrea por su valiosa compañía.

A Enrica, por su incalculable ayuda y apoyo. Por la confianza y ánimos que me ha dado a lo largo de todo este tiempo.

A Elein y Miguel, por su gran apoyo.

A mis amigos, Javi, Ricardo, Eduardo, Chisco, Laura, Suny y Merçe, por haberme aguantado y animado en todos los momentos de la tesis.

A toda mi familia, mis primos Amaya y Cesar, Gemma y Alberto, Izaskun y Dani. A mis tíos M^a Pilar y Jesús, Maricarmen y Jesús, por estar siempre ahí al pie del cañón. Y a todos enanos, Adrian, Iria, Lidia y Patricia, por alegrar todos los momentos.

A mi primo Sergio, por abrir camino y por su apoyo incondicional a lo largo de esta Tesis.

A mis padres y a mi hermano, por ser el mejor apoyo que se puede tener en la vida.

“Se puede aprovechar la ocasión de la tesis para recuperar el sentido positivo y progresivo del estudio no entendido como una cosecha de nociones, sino como elaboración crítica de una experiencia, como adquisición de una capacidad (buena para la vida futura) para localizar los problemas, para afrontarlos con método, para exponerlos siguiendo ciertas técnicas de comunicación”

Umberto Eco

RESUMEN

En el campo de la investigación acústica existe un interés creciente por caracterizar mejor y de forma más completa la acústica urbana. De hecho se utiliza cada vez más el término “soundscape urbano” para denominar cada uno de los conjuntos locales de fuentes emisoras, medios transmisores y sujetos perceptores que son perceptibles desde un punto dado de la ciudad. En diversas investigaciones publicadas recientemente se ha demostrado que la simple medición del nivel de la intensidad sonora (dB) no es suficiente para caracterizar el “soundscape” (paisaje sonoro) de un lugar. La intervención de las autoridades urbanas cuando limitan el nivel de las emisiones sonoras, por sí sola, no aporta siempre confort al soundscape de un entorno urbano.

Este trabajo de investigación pretende sumarse a los múltiples esfuerzos que en este momento se están desarrollando para entender con mayor profundidad un soundscape y desarrollar métodos que permitan una caracterización más completa de éste. Diversos investigadores han desarrollado métodos multicriteria para esta caracterización. Uno de los principales elementos que caracterizan un soundscape son las actividades que tienen lugar en el escenario urbano de dicho soundscape: los denominados “patterns”. La mayoría de las actividades urbanas generan sonido, pero algunas de ellas necesitan de ese sonido para crear un ambiente que favorezca su propio desarrollo y otras en cambio precisan de silencio para su desarrollo.

El objetivo de esta Tesis es investigar si es posible establecer una correlación que permita relacionar una de las actividades urbanas principales, en este caso el Comercio, con el perfil del soundscape y el escenario urbano en el que se desarrolla. Los parámetros a correlacionar reflejan tres aspectos: la actividad urbana (COMERCIO), el escenario urbano dónde se desarrolla dicha actividad (ENTORNO URBANÍSTICO: altura de fachadas, anchura de calzada, número de carriles, etc. y la acústica resultante que se percibe o registra en ese escenario (SOUNDSCAPE). Cada uno de los tres aspectos se ha caracterizado por medio de un conjunto de indicadores. Una parte importante del desarrollo de esta Tesis se ha dedicado a buscar, proponer, desarrollar y contrastar estos indicadores.

La naturaleza de estos indicadores ha sido la siguiente: *Indicadores Comerciales (Actividad comercial)*: variables que han recogido datos relacionados con el comercio (cómo la intensidad comercial por metro de fachada o las tipologías de comercio) y las actividades sociales que se generan en el escenario. *Indicadores Físicos (Entorno Físico)*: variables que han recogido datos físicos del escenario que se estudia, datos como la anchura de la vía, altura de las fachadas, porcentaje de asfalto respecto de las aceras. Datos que caractericen la apariencia material del escenario estudiado. E *Indicadores Sonoros (Soundscape)*: Variables que han recogido el sonido registrado en cada escenario. Estas variables se han basado en el análisis de dos mediciones acústicas: el espectro de frecuencias y el espectrograma.

Estos indicadores han servido posteriormente para comparar una muestra de diferentes escenarios urbanos concretos de diversas ciudades para valorar las posibles correlaciones entre los tres aspectos.

Metodológicamente la tesis se puede dividir en dos partes: una primera parte dedicada al establecimiento de un marco teórico basado en antecedentes y referentes bibliográficos de investigaciones anteriores. Y una segunda parte dedicada a realizar campañas de registros en trabajo de campo, hasta un total de cuatro Campañas de registros (denominadas FASES). En cada FASE se han evaluado varios escenarios urbanos. En cada escenario seleccionado, se han recogido mediante fichas los diversos indicadores (sonoros, comerciales y físicos) que FASE se habían propuesto.

Se han evaluado 38 escenarios, repartidos en cuatro campañas de registros, tomados en tres ciudades diferentes: Primera campaña de registros llevada a cabo en Melbourne (Australia) – 5 escenarios. Segunda campaña llevada a cabo en Logroño (España) – 8 escenarios. Tercera campaña llevada a cabo en Barcelona (España) – 16 escenarios. Cuarta campaña llevada a cabo en Barcelona (España) – 9 escenarios.

A lo largo de las campañas se han obtenido y aplicado los diferentes indicadores. Los indicadores y el modo de adquirirlos a partir de los registros “in situ” también se han ido depurando a lo largo de las campañas.

Se ha revelado como fundamental establecer las condiciones de partida de cada estudio de campo. Estas condiciones hacen referencia a los límites físicos de la zona estudiada y también a los límites temporales de los registros tomados. Como se ha mostrado en esta Tesis el aspecto temporal influye de manera determinante en su caracterización.

Esta Tesis ha mostrado la utilidad de un método multicriteria para acometer cualquier proyecto acústico urbano, debido a la complejidad de los elementos que interaccionan y configuran un soundscape. También ha mostrado que es difícil establecer una correlación clara, simple e inmediata entre los tres aspectos propuestos. Lo que hace reflexionar sobre si estas correlaciones pueden ser más débiles y limitadas. Se ha llegado a una posible conclusión: como una actividad urbana, el comercio en este caso, no busca unas condiciones específicas de soundscape dónde establecerse, pero una vez establecida la actividad sí es capaz de modificar las condiciones del soundscape. En este sentido el método propuesto en esta investigación ha mostrado en la FASE IV una utilidad muy interesante.

Keywords: Soundscape, acústica urbana, actividad comercial, comercio urbano, confort urbano.

ABSTRACT

In the field of acoustics research there is a growing interest to characterize better and on a broader sense the urban noise. The use of term "urban soundscape" is increasing to describe each of groups of emission sources, transmission means and receptors that are perceptible from a point of the city. In several recently published investigations have shown that the simple measurement of the sound intensity level (dB) is not sufficient to characterize the "soundscape" of a place. The involvement of the city authorities, when they just limit the level of noise emissions, doesn't always produce comfort in an urban soundscape.

This research aims to join the many efforts that are currently being developed to understand better a soundscape and develop methods that allow a more complete characterization of this. Several researchers have developed multicriteria methods for this characterization. One of the main elements that characterize a soundscape is the activities that take place in the urban space of the soundscape: called "patterns". Most urban activities generate sound, but some of them need the sound to create an environment conducive to their own development and others need instead of silence for their development.

The objective of this thesis is to investigate whether it is possible to establish a correlation which allows linking one of the main urban activities, in this case the commerce, to the profile of the soundscape and the urban place in which it develops. The parameters to correlate show three aspects: urban activity (COMMERCE), the urban space where the activity takes place (URBAN ENVIRONMENT: height of facades, road width, number of lanes, etc., and the resulting sound is perceived or register in that place (SOUNDSCAPE). Each of the three aspects is characterized by a set of indicators. An important part of the development of this thesis has been dedicated to finding, propose, develop and test these indicators.

The nature of these indicators is as follows: *Commerce Indicators (Commercial Activity)*: variables that have collected data related to commerce (like commerce intensity per meter of facades or typologies of commerce) and social activities that are generated in the place. *Physical indicators (physical environment)*: variables that characterize the physical aspect of an urban place under study, like path width, height of the facades and percentage of asphalt on sidewalks. And *Acoustic indicators (Soundscape)*: Variables that collected the recorded sound in each place. These variables were based on the analysis of two acoustic measurements: the frequency spectrum and the spectrogram.

These indicators have been used subsequently to compare a sample of specific urban place of various cities to assess possible correlations between the three aspects.

Methodologically the thesis can be divided into two parts: a first part dedicated to the establishment of a theoretical framework based on background and bibliographic references

of previous researches. And a second part dedicated to campaigns in fieldwork records, a total of four campaigns of records (called PHASES). In each PHASE are evaluated various urban places. In each place selected several indicators have been collected by tabs (sound, commercial and physical data).

38 places have been evaluated, recorded through four campaigns in three different cities: The first campaign records carried out in Melbourne (Australia) - 5 places. The second campaign carried out in Logroño (Spain) - 8 places. The third campaign carried out in Barcelona (Spain) - 16 places. The fourth campaign carried out in Barcelona (Spain) - 9 places.

Throughout the campaigns have been obtained and used different indicators. The indicators and how to obtain them from the records have also been refined over the campaigns.

It has been essential to establish the starting conditions of each field study. These conditions refer to the physical boundaries of the study area and also to the temporal limits of the taken records. As this thesis shows the temporal aspect has a significant influence on their characterization.

This thesis has shown the utility of a multicriteria method to undertake any urban acoustic project, due to the complexity of the elements that interact and configure a soundscape. It has also shown that it is difficult to establish a clear, simple and immediate correlation between these three aspects proposed (*Commercial Activity, Physical environment and Soundscape*). What it does reflect on whether these correlations may be weak and limited. He has reached a possible conclusion: the commerce as an urban activity does not seek specific conditions soundscape where to settle, but once the activity is settled, this activity is able to modify the conditions of the soundscape. In this sense the proposed method in this research has shown a very interesting utility in PHASE IV.

Keywords: Soundscape, acoustic urban, commercial, urban commerce, urban comfort.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1

CONTENIDO

1. ANTECEDENTES	1
1.1 Acústica.....	4
1.2 Urbanismo.....	6
1.3 Comercio.....	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	15
2.1 El ambiente acústico urbano.....	15
2.2 El diseño del sonido ambiental en la ciudad	18
2.3 El reto del comercio.....	22
2.4 Justificación de la investigación.....	24
3. OBJETIVOS	25
4. PLANIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	26
5. MARCO TEÓRICO INICIAL	28
Primera línea de investigación: Aplicación Tangible.....	28
Libros.....	28
Artículos	32
Ponencias	33
Grupos de investigación.....	33
Mapas acústicos.....	35
Segunda línea de investigación: Aplicación Intangible	36
Libros.....	36
Artículos	37
Ponencias	38
Grupos de investigación.....	38
La actualidad en Internet.....	39
Conclusiones de las referencias analizadas	39
6. HIPÓTESIS	40
7. REFERENCIAS	41

CAPÍTULO 2

FASE I. Identificación de elementos configuradores de un soundscape

INTRODUCCIÓN A LA FASE I

COMO CONSTRUIR UN SOUNDSCAPE	43
La “sopa acústica”	45
Fuente sonora.....	48
Medio de transmisión.....	48
Receptor	49

1. OBJETIVOS DE LA FASE I	50
2. PLANIFICACIÓN DE LA FASE I	50
3. MARCO TEÓRICO DE LA FASE I	50
Conclusiones de la bibliografía estudiada en la FASE I.....	51
4. HIPOTESIS DE LA FASE I	51
5. DESARROLLO DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA: FASE I	52
5.1 Campo de estudio	52
5.2 Catalogación de elementos que configuran un soundscape	52
5.3 Modelo de Ficha.....	58
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA FASE I	59
Fuente emisora.....	59
Medio de transmisión	60
Receptor.....	60
7. CONCLUSIONES DE LA FASE I	62
8. REFERENCIAS DE LA FASE I	65

CAPÍTULO 3

FASE II. Evaluación de mediciones acústicas

INTRODUCCIÓN a la FASE II

FUNDAMENTOS ACÚSTICOS

Propiedades básicas del sonido	67
1. Onda sonora	67
2. Potencia, presión e intensidad sonora	68
3. Niveles sonoros.....	68
4. Bandas de frecuencia	69
5. Campo de percepción sonora.....	70
6. Ponderación de los niveles sonoros.....	70
7. Efectos del ruido	71
8. Propagación exterior.....	71

DESARROLLO de la FASE II

1. OBJETIVOS DE LA FASE II	73
2. PLANIFICACIÓN DE LA FASE II	74
3. MARCO TEÓRICO DE LA FASE II	74
Conclusiones de la bibliografía estudiada en la FASE II.....	77
4. HIPÓTESIS DE LA FASE II	78
5. DESARROLLO DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA: FASE II	78
5.1 Campo de estudio	78
5.2 Equipo de registro.....	82
5.3 Modelo de ficha	84
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA FASE II	90
7. CONCLUSIONES DE LA FASE II.....	101
8. REFERENCIAS DE LA FASE II	104

CAPÍTULO 4

FASE III. El comercio como un elemento configurador más

INTRODUCCIÓN a la FASE III

EL COMERCIO COMO ELEMENTO URBANO

Introducción.....	107
Estructura del comercio	107
El lugar.....	108
El producto.....	116
El cliente	116
Tácticas de venta.....	117
Tipologías comerciales desde un punto de vista acústico.....	118
Soundscape comercial.....	120

DESARROLLO de la FASE III

1. OBJETIVOS DE LA FASE III.....	122
2. PLANIFICACIÓN DE LA FASE III	122
3. MARCO TEÓRICO DE LA FASE III.....	122
Conclusiones de la bibliografía estudiada en la FASE III	127
4. HIPÓTESIS DE LA FASE III.....	129
5. DESARROLLO DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA DE FASE III	129
5.1. Campo de estudio.....	129
5.2. Datos complementarios.....	138
5.3. Selección de los límites del escenario estudiado.....	139
5.4. Herramientas utilizadas	140
5.5. Modelo de ficha.....	141
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA FASE III	153
7. CONCLUSIONES DE LA FASE III	173
8. REFERENCIAS DE LA FASE III.....	178

CAPÍTULO 5

FASE IV. Métodos de comparación de escenarios

INTRODUCCIÓN y DESARROLLO de la FASE IV

1. INTRODUCCIÓN A LA FASE IV.....	181
2. OBJETIVOS DE LA FASE IV.....	184
3. PLANIFICACIÓN DE LA FASE IV	184
4. MARCO TEÓRICO PARA LA FASE IV	184
5. HIPÓTESIS DE LA FASE IV.....	189
6. DESARROLLO DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA: FASE IV.....	189
6.1 Indicadores sonoros.....	189
6.2 Indicadores arquitectónicos.....	189
6.3 ¿Qué se analiza?	194

6.4 Campo de estudio y herramientas utilizadas.....	199
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA FASE IV	207
7.1 Análisis del impacto del comercio sobre el soundscape.....	207
7.2 ¿Cuál es el impacto de los elementos arquitectónicos sobre el soundscape y el comercio?	216
8. CONCLUSIONES DE LA FASE IV.....	224
9. REFERENCIAS DE LA FASE IV	227

CAPÍTULO 6

Conclusiones finales

Conclusiones finales de la Tesis	229
Líneas de investigaciones futuras	237

GLOSARIO	241
-----------------------	------------

FUENTES DE CONSULTA.....	243
---------------------------------	------------

ANEXOS

ANEXO A.....	261
ANEXO B.....	299
ANEXO C.....	317
ANEXO D	353

CAPÍTULO 1

“Oír es precioso para el que escucha”

Proverbio egipcio

1. ANTECEDENTES

En la última década se ha producido un considerable aumento del número de investigaciones, normativas y también de la sensibilización social, entorno al diseño acústico urbano. En un momento en el que las ciudades y la economía parecen plantear un crecimiento exponencial y sin límites la posibilidad de un hábitat social más confortable parece esfumarse.

Las ciudades, como uno de los "inventos sociales" más importantes de la humanidad cambian constantemente adaptándose a las necesidades productivas y económicas de cada sociedad. A partir de la revolución industrial cuando estas “mutaciones” del entorno urbano fueron objeto de estudio y de planificación por parte de arquitectos, ingenieros y científicos. Las urbes en "pleno desarrollo" se convirtieron en centros de contaminación, tanto química como acústica, nunca antes conocida.

Sin embargo el contexto urbano se ha basado principalmente en componentes visuales. El componente acústico ha sido olvidado. Tal vez porque se trata de un componente difícil de controlar y diseñar. No siempre se ha tenido en cuenta y pocas veces con un papel principal. La acústica forma parte de la vida cotidiana, el entorno en el que vivimos se define a través de los cinco sentidos.



Imagen 1

Times Square en New York



Imagen 2

Calle de Tokyo

La combinación de un entorno visual y un entorno acústico dan lugar a la ciudad actual

El sonido se define, según la R.A.E. [1], como *la sensación producida en el órgano del oído por el movimiento vibratorio de los cuerpos, transmitido por un medio elástico, como el*

[1] Diccionario de la Real Academia de la Lengua. www.rae.es

aire. El sonido es una vía más en el complejo mundo de la información, a través de la cuál se interactúa con el entorno.

Los arquitectos han tratado de controlar el sonido a través de una tecnología acústica. Los ejemplos son variados a lo largo de la historia. Desde los teatros griegos y romanos dónde, sin los medios electrónicos actuales, eran capaces de hacer llegar una obra teatral a miles de espectadores. Hasta las iglesias de las diferentes épocas que buscaron una acústica especial que trasportase a los fieles a un mundo diferente en el interior de los templos. Hasta llegar a arquitectos más contemporáneos.

Como escribe Palmese, C. [2]: *«Parece que la preocupación de los arquitectos es la de configurar un espacio tridimensional que satisfaga especialmente la visión, aunque se hace referencia a los sentidos en su totalidad Pero si nos detenemos en el trabajo de Le Corbusier, podemos comprobar la creciente necesidad de introducir el elemento sonoro, el mundo del sonido en su obra (...) cuándo construye la Capilla de Notre-Dame-du-Haut, en Ronchamp (1950-1955) introduce el concepto de acústica paisajística, es decir, la influencia de la reverberación acústica del entorno natural en la determinación de la forma y de los volúmenes de la capilla, situándola en correspondencia a los cuatro indicadores acústicos externos: dos valles, la llanura del Soane y la línea de las colinas alsacianas».*



Imagen 3
Vista lejana de la capilla de Ronchamp (Le Corbusier)

En la última década y a escala mundial, ha aumentado notablemente el desarrollo de estudios e investigaciones referentes a los entornos acústicos. Una nueva visión que le hace formar parte de actuaciones urbanas multidisciplinares.

La elevada presión acústica a la que se enfrenta el ciudadano cada día en una ciudad, no permite tener siempre un oído preparado para escuchar. A menudo se dice que se oye, pero es difícil escuchar. El ser humano en muchas ocasiones es incapaz de reconocer en la calle

[2] | Encuentro Iberoamericano de Paisajes Sonoros (2007). Instituto cervantes. Madrid.

todos los sonidos existentes, porque existe una mezcla enorme de distintas señales acústicas simultáneas, que en su mayoría no proporcionan información fundamental. La mayoría del sonido que se percibe contiene información poco útil o que sólo molesta, provocando estrés y otros tipos de disfunciones recogidos en numerosos estudios, cómo el elaborado por la OMS: Environmental Health Inequalities in Europe [3].

En Europa principalmente se han aprobado algunas leyes en favor de la reducción del nivel de este ruido en los últimos años. Es leyes son la respuesta a la constatación de que la acústica urbana afecta a todos los ciudadanos con repercusiones en todas las actividades. Estas leyes se han promulgado principalmente para controlar los niveles de presión sonora ambiental a lo largo del día.

Pero el confort acústico, al igual que el visual o el térmico, no se evalúa sólo con parámetro de nivel de intensidad sonora. Este trabajo parte de esta inquietud: Encontrar los elementos que construyen el soundscape y los parámetros que lo caracterizan.

[3] www.euro.who.int. Publications WHO Regional Office for Europe. Dinamarca.

1.1 Acústica

La percepción social del sonido en la ciudad en los últimos 40 años se refleja en la abundante promulgación orientada hacia normativas con un objetivo primario: la reducción y limitación del nivel de intensidad sonora en el espacio social.

En los años 70 y 80 del siglo XX algunos estados europeos empezaron a legislar sobre el nivel sonoro ambiental entendido como ruido. Se debe indicar que ruido se ha llamado, fundamentalmente, a la presión acústica del sonido o nivel sonoro.

En 1973 se aprobó la primera ley del ruido en Bélgica (**Loi relative à la lutte contre le bruit** (M.B. du 14.09.1973)), dónde ya se hablaba de la salud de las personas, su deterioro la exposición al ruido y de la limitación del nivel sonoro de ciertas prácticas, como pueda ser el transporte, así como de la utilización de instrumentos para reducir o eliminar dicho ruido. Incluso llegaba a plantear la creación de zonas protegidas, adelantando uno de los principios del diseño acústico urbano. Más tarde Bélgica aprobó otras legislaciones más actualizadas sobre la acústica urbana [4].

En 1983 se aprobó en Suiza la ley de protección del medio ambiente (**Loi fédérale sur la protection de l'environnement** (7 octubre de 1983)), que imponía restricciones y controles a la fuente emisora de contaminación de cualquier tipo. En 1986 se aprobó la ordenanza sobre la protección sobre el ruido (**Ordonnance sur la protection contre le bruit** (15 de diciembre de 1986)) que desarrollaba estas limitaciones y establecía las medidas para controlar las fuentes de emisión.

En 1992 Francia aprobó su ley de protección contra el ruido, Portugal en 2000 y así varios estados más de la Unión Europea. En 2002 la U.E. plantea unos mínimos en cuestión acústica y redacta una directiva que deberán adaptar los distintos estados miembros: la **Directiva 2002/49/CE** [5]. Algunos estados, como Francia o Bélgica, ya se encuentran cercanos a las exigencias de esta directiva. En cambio otros, como España, han debido aumentar su control para cumplir con las exigencias.

En el año 2003 se aprueba en España la **Ley del ruido** (Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido) [6]. En las disposiciones generales se dice: «*La Directiva sobre Ruido Ambiental pretende proporcionar la base para desarrollar y completar el conjunto de medidas comunitarias existente sobre el ruido emitido por determinadas fuentes específicas y para desarrollar medidas adicionales a corto, medio y largo plazo*».

[4] <http://environnement.wallonie.be/legis/legbrui.htm>

[5] http://europa.eu/legislation_summaries/environment/noise_pollution/l21180_es.htm

[6] www.boe.es/boe/dias/2003/11/18/pdfs/A40494-40505.pdf

En el año 2007 se aprobó el **Real Decreto 1371/2007**, de 19 de octubre [7] que trasladaba parte de las exigencias de la ley del ruido a la construcción de edificios. Este RD se traduce en el código técnico (CTE), a través de su Documento Básico DB-HR de Protección frente el Ruido, que no ha entrado en vigor hasta el 2009. Según se cita en el mencionado decreto: *«La contaminación acústica que soportan los ciudadanos en los edificios que utilizan es uno de los principales obstáculos para poder disfrutar tanto de una vivienda digna y adecuada como del derecho a un ambiente adecuado. El ruido es además fuente de molestias y enfermedades de los ciudadanos, por lo que las Administraciones Públicas deben establecer los mecanismos adecuados para facilitar el uso de los edificios y que éste se produzca libre de contaminación acústica».*

Todas estas normativas forman ya una densa base legal para quejas de los ciudadanos y asociaciones. Con estas leyes se pretenden poner unos límites a la molestia que el ruido puede producir en las vidas de los ciudadanos. Un ejemplo de esto son las muestras vecinales contra el ruido en la ciudad de Barcelona.



Imagen 4



Imagen 5

Ejemplo de pancartas de protesta en Barcelona exigiendo silencio en la vía pública

A raíz de todo este malestar han surgido asociaciones en favor de la lucha contra el creciente ruido. “Juristas contra el ruido” [8] o PEACRAM [9] son ejemplos de las múltiples asociaciones repartidas por todo el Estado. Este asociacionismo es un indicador muy importante del valor que las personas confieren a su calidad de vida en el aspecto acústico. La gente ha adquirido conciencia del creciente impacto del ruido y también de sus derechos en lo referente a su entorno acústico.

En este punto surge un conflicto; la mayoría de las actividades urbanas generan sonido, algunas de ellas necesitan de ese sonido para crear un ambiente que favorezca su propio desarrollo y otras en cambio precisan de silencio para su desarrollo. De este modo se plantea el complicado reto de llegar a un equilibrio que los haga compatibles. El reto se define: establecer un equilibrio dónde la actividad urbana pueda producir sonido, pero en concordancia con las necesidades de los habitantes del entorno urbano donde se sitúa dicha actividad.

[7] www.boe.es/boe/dias/2007/10/23/pdfs/A42992-43045.pdf

[8] www.juristas-ruidos.org/

[9] www.peacram.com

1.2 Urbanismo

La visión del arquitecto

El urbanismo es una disciplina que se encarga de ordenar y planificar el territorio y la ciudad. El urbanismo clásico se ha basado en el estado y regulación de parámetros arquitectónicos como la composición visual o los parámetros de movilidad. A continuación se comentan algunos textos entresacados de los libros considerados como hitos en el urbanismo de la segunda mitad del siglo XX.

1. *La imagen de la ciudad*, de Lynch, K. [10]. Su primera publicación original es de 1960. Relata su autor en el prefacio: «Este libro es un libro sobre el aspecto de la ciudades; sobre si este aspecto tiene alguna importancia y si se lo puede cambiar. El paisaje urbano, entre sus múltiples papeles, tiene también algo que ha de verse, recordarse y causar deleite. Dar forma visual a la ciudad constituye un tipo especial de problema de diseño».

Como se aprecia en estas palabras, el objetivo de este libro se centra en la componente visual del paisaje urbano. En el libro se revisan varias ciudades norteamericanas, usando la componente visual como parámetro para entender y valorar la ciudad. El autor clasifica unos elementos urbanos relativos a las imágenes diversas de la ciudad. A lo largo del texto relaciona una serie de imágenes urbanas (extraídas de su análisis de algunas ciudades norteamericanas) con unos elementos físicos que denomina sendas, bordes, barrios, nodos y mojones.

Para el autor estos elementos son la materia prima del paisaje visual. «Es necesario moldearlos conjuntamente para llegar a contar con una forma satisfactoria». En otro capítulo propone estrategias de diseño de estos elementos. Termina con tres apéndices donde proporciona referencias de orientación de este diseño y propugna un método de cómo acercarse al estudio del problema y la solución a dicho problema.

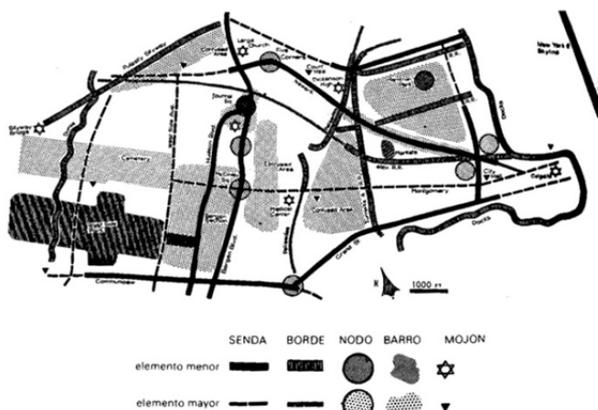


Imagen 6

Un tercer apéndice dónde se presenta dos ejemplos urbanos de análisis. Forma visual de Jersey City sobre el terreno

[10] Lynch, K. (1998) *La imagen de la ciudad*. Ed. Gustavo Gili. Barcelona.

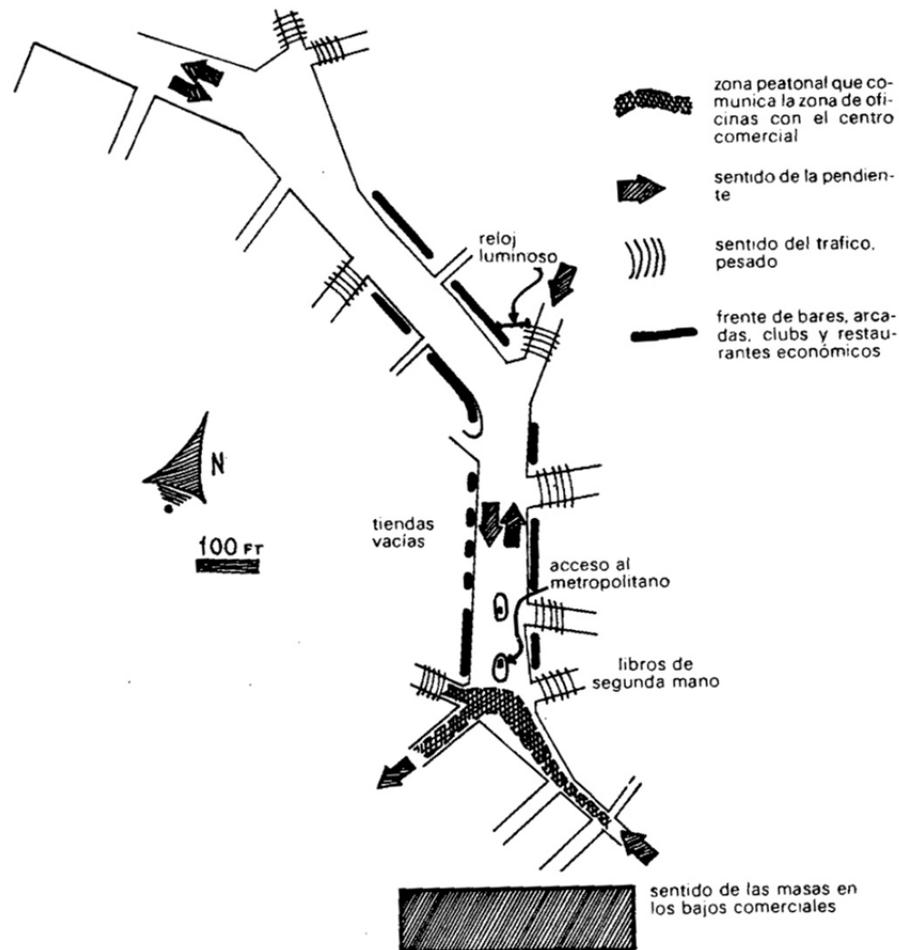


Imagen 7

Los signos de identidad visual de Scollay Square

En este libro el estudio del urbanismo, se basa exclusivamente en el estudio de su componente visual y en como los ciudadanos perciben con sus ojos el entorno urbano que los rodea.

2. *La arquitectura de la ciudad*, de Rossi, A. [11]. Publicada por primera vez en 1966. Es un libro que profundiza en la ciudad estudiando los diversos hechos urbanos desde la perspectiva de la escala urbana de la arquitectura. Es decir, que ahonda en el estudio de la historia urbana desde la historia de la arquitectura en la ciudad. Cada proyecto arquitectónico que se desarrolla en la ciudad confiere a la ciudad una parte de su escala urbana.

El autor introduce el concepto de hecho urbano, definiéndolo como el conjunto de experiencias sociales y relaciones urbanas que produce un proyecto arquitectónico en un entorno urbano. Afirma Rossi: «cualquier investigación sobre la ciudad tiene en primer plano el discurso sobre la arquitectura, llevando al filón más concreto de la arquitectura misma de estas cuestiones». El propio A. Rossi, citando a Max Sorre discute también sobre

[11] Rossi, A. (1999). *La arquitectura de la ciudad*. 10ª Ed. Gustavo Gili. Barcelona.

la ecología urbana, considerada desde el punto de vista de la influencia que el hombre tiene sobre el ambiente urbano y el hecho urbano sobre la ciudad dónde se halla.

3. *El paisaje urbano: Tratado de estética urbanística*, de Cullen, G. [12]. Publicada por primera vez en 1971. Este libro identifica los diferentes elementos urbanos, formas urbanas y también tipologías de ciudad a través de unos textos de observación muy apoyados por gran cantidad de dibujos al respecto.



Imagen 8

Ejemplo de dibujos procedentes del libro de Cullen, G.

El libro está lleno de imágenes que expresan la intención del autor: la visión de la ciudad es un objeto en sí que se puede equiparar incluso a la moda en el propio vestir. El autor transfiere esa cualidad a la ciudad y la analiza desde ese punto de vista. Una vez más la percepción visual se impone como principal y casi único parámetro a tener en cuenta en el análisis de la ciudad como ambiente social.

4. *Delirio en Nueva York*, de Koolhaas, R. [13]. Publicado por primera vez en 1978. Es un análisis de la ciudad de Nueva York a través de una perspectiva personal nueva. Según Koolhaas un manifiesto tiene la debilidad de no tener pruebas, mientras que Nueva York tiene muchas pruebas y no un manifiesto. Estas pruebas son las que recoge de un modo

[12] Cullen, G. (1971). *El Paisaje urbano: tratado de estética urbanística*. Ed. Blume. Barcelona.

[13] Koolhaas, R. *Delirio en Nueva York: un manifiesto retroactivo para Manhattan*. Ed. Gustavo Gili. Barcelona.

sutil a través de la exposición de decenas de conceptos descritos en el libro para explicar estas pruebas.

Una vez más, se constata que en este estudio sobre una ciudad el parámetro acústico no se menciona. Se analiza Nueva York desde puntos de vista arquitectónicos, formales, incluso desde un punto de vista cinematográfico, pero no se utiliza el sonido como un parámetro útil para entender la ciudad.

Parece claro pues que la acústica no ha tenido aún un lugar en el análisis urbanístico y el proyecto de la configuración urbana hasta muy recientemente. Quizá por eso a finales del siglo XX es cuándo han nacido tantas normativas y recursos legales que limitan el aspecto acústico, del que pocos hasta ahora se han ocupado y que por natural existencia ha terminado por descontrolarse y afectar de un modo poco soportable para los ciudadanos.

La ciudad

La Real Academia de la Lengua (R.A.E) define la ciudad como un *«conjunto de edificios y calles, regidos por un ayuntamiento, cuya población densa y numerosa se dedica por lo común a actividades no agrícolas»*.

No se puede encontrar una definición universal que sirva para todas las culturas y países, pero una característica que sí se cumple en cualquier lugar del planeta es que la ciudad es el lugar dentro de un territorio dónde la actividad humana es más intensa y se produce una conglomeración de actividades, ya sean de tipo económico, político o social. Otra característica de la ciudad es la frecuencia de intercambios. La ciudad es un núcleo de actividad basado en el intercambio, fundamentalmente de mercancías, información y relaciones sociales.

La información es básica para el desarrollo de cualquier actividad humana. El intercambio de información es uno de los pilares de la vida social en una ciudad. La sociedad se basa en la comunicación, ya sea para emitir ideas o para recibirlas. La ciudad como contenedor de actividades también lo es de este intercambio de información. Gracias a la información, una persona puede percibir si se encuentra en un lugar agradable, peligroso, un lugar de trabajo o un lugar para el ocio.

La información ambiental se percibe a través de los sentidos: visual, olfato, tacto y oído. Esta percepción se basa en la sensibilidad y capacidad de todos los sentidos aunque en ocasiones la mente parece que potencie más un sentido sobre el resto. El sentido de la vista es tal vez el más desarrollado a lo largo de la historia, tal como evidencia la cantidad de carteles o señales gráficas que se encuentran en una ciudad. El olfato y el tacto, menos desarrollados también tienen una presencia en la ciudad, como ejemplo, sirva el diseño de

un jardín basándose en el olor que desprende las flores o la selección de un pavimento más blando para que las pisadas sean diferentes.



Imagen 9
Señal de tráfico
"modificada"
(visual)



Imagen 10
Parque en Valencia
(olfativa)



Imagen 11
Plaza en Barakaldo
(táctil)

Ejemplos de tipologías de información ambiental sensorial que se encuentra en la ciudad

La información útil para un ciudadano está mezclada con la que no lo es tanto. Por ejemplo el comercio urbano necesita una intercomunicación con el cliente. Al igual que pasa con el comercio, hay otras actividades urbanas que requieren un intercambio acústico con el entorno. Este intercambio no debe ser sólo para introducir nuevos sonidos por parte de la actividad, sino que también puede ser un intercambio en la otra dirección, de tal forma que la ciudad introduzca sonidos en la actividad.

¿Ante estas constataciones, cómo debe proceder el diseñador urbano? Hasta ahora las políticas públicas se han orientado hacia la regulación al aspecto más apremiante y de rápida ejecución. Esta parte es la limitación del nivel de intensidad sonora (decibelios) procedente de las fuentes de sonido urbano predominante, en especial el tráfico.

Ahora se plantea desplegar un segundo paso hacia la mejora en la acústica urbana. Introducir el sonido como un elemento más del proyecto en una interacción urbanística. Se trata de "proyectar con el sonido" para que de este modo no se convierta en un residuo problemático que después haya que eliminar.

1.3 Comercio

Las ciudades han surgido, en la mayoría de los casos, como núcleos densos de población entorno al comercio surgido por su buena accesibilidad. Llega un momento en la historia humana en el que las personas ya no se dedican en su totalidad al cultivo de la tierra y se empiezan a comerciar con la producción propia excedentaria para complementarla. Una ubicación geográfica propicia, ya fuese un cruce de caminos, un puerto, etc. era esencial para el desarrollo del comercio.

El desarrollo de la ciudad está estrechamente ligado al comercio. Las ciudades impulsaban y alojaban el comercio y por ello fomentaban una libertad de circulación de productos. Esto hacía incrementar la riqueza de los habitantes y por lo tanto de la ciudad. La propia actividad comercial ha condicionado el desarrollo urbanístico de las poblaciones, llegando incluso a cambiar directamente la morfología de la ciudad. Un ejemplo de esto son los soportales en las calles comerciales en climas más lluviosos o soleados. De este modo la ciudad permitía instalarse al comercio incluso en días en los cuales era más difícil hacerlo al aire libre.



Imagen 12

Ejemplo de soportales en Ezcaray (La Rioja)

La dedicación de parte de la población al comercio favorece una especialización de los oficios y la aparición de otras actividades económicas a su alrededor, especialmente actividades artesanales que complementan el comercio y se integran en él.

El comercio se plantea pues como un buen indicador de la “salud” de una ciudad. Cuando la actividad urbana comercial aumenta es una buena señal de que hay excedentes y las personas piensan en la prosperidad mediante el intercambio. Cuando el comercio decrece el empobrecimiento de la población se hace visible y por lo tanto también de la propia ciudad. El intercambio es una actividad humana estrechamente ligada con la prosperidad.

El comercio siempre busca en la arquitectura elementos que le sirvan para aumentar su desarrollo, ya sea en aspectos de calidad, seguridad, comunicación, eficiencia o en cualquier otro. Se incorpora aquellos nuevos elementos que puedan aportar un valor añadido al comercio. En la actualidad el contexto ambiental es un valor añadido muy apreciado y con una gran expansión de futuro.

Este desarrollo urbano del comercio debe aplicarse respetando los parámetros de sostenibilidad, todo su proceso desde la procedencia de su materia prima hasta su implantación en la ciudad como un elemento urbano más. El comercio debe tener en cuenta y respetar el entorno donde se ubica y el uso que hará de él. Pero también, el comercio debe ocuparse también de su contribución a la mejora acústica del entorno.

Modelos de gestión comercial en la ciudad

Existen actualmente modelos de gestión integrada para zonas comerciales urbanas. Estos modelos se han iniciado en países anglosajones y proponen la asociación de las diversas actividades comerciales de una zona para conseguir así un mayor desarrollo de la misma. A continuación se han resumido dos de los principales modelos anglosajones y sus inicios en España.

Business Improvement District (BID).

Según la definición de Wikipedia: *«Un distrito de mejora de negocio o Business Improvement District (BID) es una asociación entre entidades públicas y privadas en la cual los negocios de un área definida pagan una fianza o incremento en sus impuestos a cambio de mejoras pactadas en la zona [...] En cualquier caso proveen de servicios como la mejora en la limpieza de la calle, mayor seguridad, inversiones de capital para los negocios o marketing. Los servicios que promueve son complementarios a los del ayuntamiento o entidad municipal».*



Imagen 13

Ejemplo de una actuación de un BID en North Carolina (USA)



Imagen 14

Ejemplo de un BID: Portobello, Londres (Reino Unido)

Town Management Center (TMC)

Estas agrupaciones se puede decir que están en un nivel superior de integración respecto a los BID, ya que son organizaciones en un contacto más estrecho con los órganos de gobierno de las ciudades en qué se establecen. Mientras que los BID son de iniciativa privada, los TMC son prácticamente de iniciativa pública. En concreto la ATMC (The Association of Town Management Center) [14], es una asociación que trabaja con todos los interesados en la promoción de la vitalidad y la viabilidad de la ciudad y de su centro, en el Reino Unido y también en otros lugares. Tiene cuatro principales áreas de trabajo y son las siguientes:

- Los lugares: trabajan conjuntamente con distritos y centros urbanos, personas, socios y políticos.
- Ayudan a las personas que se dedican al desarrollo de estos centros urbanos.
- Los socios: trabajan para crear vínculos más efectivos entre los interesados.
- Las políticas: colaboran en las políticas de desarrollo de estos centros urbanos.

España

En España estos modelos encuentran su traducción generalmente en las Asociaciones de Comerciantes. Estas asociaciones, en comparación con los BID's, tienen menos peso específico en las decisiones conjuntas llevadas a cabo en la ciudad. En el caso de implantación de un BID's es obligatorio para los comercios comprendidos, en algunos casos por ley, el pago de un cánón destinado a la mejora de la zona comercial urbana dónde se ubica. Esto permite un órgano de actuación más sólido y con más recursos para llevar a cabo sus actuaciones.

Barcelona

En Barcelona, por ejemplo, se puede citar la acción de la **Diputación de Barcelona (DIBA)**. Este organismo público, a través de su área de comercio [15] realiza un importante trabajo en este sentido, proporcionando a los comerciantes herramientas con las que desarrollar y mejorar sus negocios. También desarrolla planes específicos para el impulso del comercio en la ciudad y editan publicaciones que pueden servir de ayuda al comercio de toda la provincia de Barcelona. También apoyan estudios o investigaciones como ésta, para el avance del comercio urbano.

[14] www.atcm.org

[15] www.diba.es/web/comerc

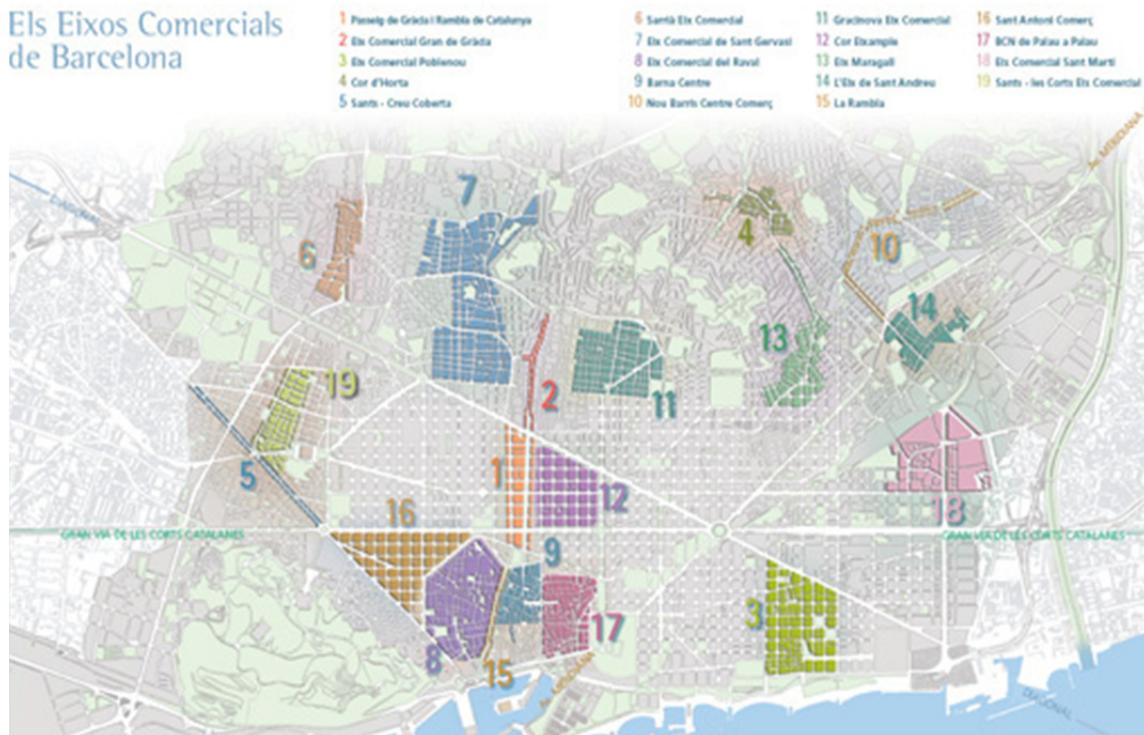


Imagen 15

Plano de la situación de los “ejes comerciales” en la ciudad de Barcelona

Existen en la ciudad zonas comerciales más activas dónde los comerciantes se han unido para formar asociaciones. Es curioso ver como el distrito territorial de estas asociaciones coinciden en muchos casos, con las estructuras comerciales de los municipios colindantes a Barcelona, que en el siglo XIX se unieron a la ciudad central. Estas zonas se identifican en lo que se ha denominado técnicamente como ejes comerciales. Existen 19 ejes censados que cada año aumentan (La última actualización es de 24). En su mayoría poseen asociaciones de comerciantes que los representan y hacen posibles acciones conjuntas que tienen un mayor calado a la hora de actuar.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 El ambiente acústico urbano

La ciudad es el lugar dónde muchas personas viven, trabajan o descansan. Por lo tanto es un entorno al que se le debe exigir un cierto confort ambiental. El confort clásicamente se ha asociado a la regulación de unas condiciones térmicas, visuales e incluso funcionales. Es conocido el confort ambiental por sus condicionantes y parámetros higrotérmicos, al igual que el confort lumínico. El confort acústico, sin embargo, parece no tenerse en cuenta aún de manera plena en la evaluación en el confort global.

El cerebro forma una “imagen” de su entorno próximo a través de los sentidos. Después el cerebro es capaz de seleccionar estas “imágenes” y recordar un lugar, un entorno o una ciudad. Es bien sabido que los sentidos son capaces también de evocar recuerdos; el olfato y el oído son los dos sentidos que tienen más capacidad de recuerdo (Rodríguez-Gil, G. [16]). y por lo tanto, son fundamentales para crearse esa “imagen” de lugar que se tendrá instalada en la conciencia.

El sonido en la ciudad produce también su impacto ambiental. Al igual que cuando se fabrica un producto, este proceso implica un impacto en el entorno, lo que se denomina la *huella ecológica*, el sonido también produce su “huella acústica”. En los dos casos, la sostenibilidad de dicho entorno se basa en una adecuación a la capacidad de éste para soportar dicha huella.

La “ecología acústica” trata de encontrar unas bases para hacer más vivible y adecuado al ser humano el sonido, tanto urbano, como rural o natural. Es una disciplina que engloba el estudio de la acústica desde múltiples ángulos y con características similares a la botánica. Existe un fórum internacional que reúne a las principales asociaciones del mundo en ecología acústica que se llama *The World Forum for Acoustic Ecology* [17], y se creó en 1993 para relacionar a distintas asociaciones acústicas internacionales y promover las investigaciones sobre el medio ambiente acústico.

La acústica debe de buscar la relación más adecuada entre el sonido y el entorno dónde se produce. Un ejemplo es el entorno de un hospital, entorno que presenta unas necesidades acústicas diferentes a las de otras zonas de la ciudad. Un adecuado análisis de qué actividades son más compatibles con el uso hospitalario ayuda a que la adecuación acústica

[16] Rodríguez-Gil, G. (2004). *El Poderoso Sentido del Olfato*. por Gloria, M.Ed. Reimpreso de reSources, Primavera 2004, Volumen 11, Número 2.

[17] <http://wfae.proscenia.net/>

sea más fácil, haya menos problemas derivados del ruido y se consiga una calidad acústica más duradera en cada entorno urbano.

Es fundamental analizar previamente cada entorno urbano desde una perspectiva acústica, teniendo en cuenta que las actividades que allí se desarrollen deben estar en concordancia en perfil e intensidad con las expectativas que los usuarios tienen de la zona. El confort acústico sólo se puede conseguir si se adecuan los sonidos producidos a las necesidades y expectativas que existen en el entorno.

La disciplina de la acústica interior se ha desarrollado más y el control que se posee de ella es mayor que en el caso de la acústica exterior. Posiblemente esto se deba a la mayor facilidad de intervención y al menor número de variables a considerar en el caso de la acústica interior en contraposición con la exterior. A veces es difícil introducir un límite entre exterior e interior.



Imagen 16

Sala Pau Casals, en el Auditori de Barcelona

Por ejemplo, cuándo se proyecta una sala de conciertos, se conocen con amplio detalle las expectativas que sus futuros usuarios tienen, también se conocen bien las fuentes de sonido y se controla el funcionamiento de la caja de resonancia (el contenedor). Los tres elementos se repiten en un entorno exterior, pero en este caso el control y sobretodo la acotación de cada uno de estos elementos se hace mucho más compleja y difícil de manejar.

Incluso las técnicas actualmente de medición y simulación de sonido son mucho más precisas en un entorno controlado, como en el caso de un auditorio, que en la calle. La simulación para un análisis computerizado del comportamiento acústico del interior de una sala es más simple que la que se puede hacer del exterior.

En el caso que se quiera reformar o rehabilitar un espacio interior, las opciones que existen para modificar su acústica interior son más “alcanzables” que en un espacio exterior. En el espacio interior estas medidas dependen muchas veces de pocos implicados y el número de agentes intervinientes en una misma obra es relativamente bajo. En cambio en entorno urbano exterior depende de diversos organismos públicos, privados, usuarios permanentes y variables, por lo que se hace más difícil alcanzar un consenso total entre ellos y la obtención de un objetivo claro común para todos.

De protección pasiva a diseño activo del confort

El diseño del ambiente sonora en un espacio exterior hasta hace pocos años se ha basado en priorizar la eliminación o la limitación del nivel de intensidad sonora, que se podía producir en la vía urbana. Esta orientación colocando al sonido urbano como un contaminante más que hay que limitar. El sonido forma parte de la vida y es un ingrediente necesario en nuestro entorno social, por lo tanto la única solución que cabe es potenciar un diseño activo con el sonido modelando este “ruido” para obtener el confort global de la ciudad.

Este principio del diseño acústico activo se está desarrollando con más fuerza desde los últimos quince años. Pascal Amphoux, Jian Kang, Dirk Booteldoren o Francesc Daumal entre otros, son algunos de los autores que más adelante se citarán y que con sus estudios han construido unas bases sólidas para el desarrollo de este diseño activo del sonido en la ciudad.

2.2 El diseño del sonido ambiental en la ciudad

El diseño sonoro debe partir de un análisis previo de los diversos métodos para estudiar la realidad ambiental. El sonido tiene, como fenómeno ondulatorio, ciertas similitudes con la luz. La luz al igual que el sonido es un modo de energía que se desplaza. La luz tiene unos parámetros descriptivos similares. Ambos se transmiten por el aire y lo hacen a través de ondas.

La propagación de la luz tiene unas características propias de intensidad, de frecuencia y distribución espectral de la energía en su espectro, parámetros que son similares para las ondas sonoras. Al igual que el confort lumínico no se mide sólo por su intensidad (Lux), el confort acústico no se debería de medir solo con su intensidad (dB).

La luz se estudia desde un punto de vista muy amplio. Son varias las variables que existen para parametrizar un tipo concreto de luz. A la luz se le dan características como la calidez o frialdad, o incluso características de color: Luces blancas, como los fluorescentes, amarillas o luces negras.

Según la marca de iluminación OSRAM promociona en su página web sobre el diseño del confort lumínico [18]; El confort lumínico se basa en las características de calidad de los sistemas de iluminación:

- Nivel de iluminación
- Distribución luminancia
- Reducir reflejos y luz direccionada
- Luz directa y los efectos de las sombras
- Colores de luz y rendimiento de colores

Cómo indican estos datos el nivel de intensidad o de iluminación es sólo uno de los cinco puntos que se describen para definir la calidad del confort lumínico. La limitación de utilizar el nivel de intensidad sonora como única variable en acústica ambiental queda claramente reflejada en un estudio llevado a cabo en la universidad de Zhejiang, China [19].

Este trabajo tiene como finalidad demostrar como sonidos con un mismo nivel sonoro (en ponderación A) pero con diferentes espectros de frecuencias, no influyen de igual manera en la percepción de confort por parte de la gente. El método que siguen es el siguiente:

1. Seleccionan 9 sonidos diferentes procedentes de nueve áreas residenciales diferentes.

[18] www.osram.es

[19] Huang Yifan, Di Guoqing, Zhu Yiting, Hong Youpeng, Zhang Bangjun (2007). *Pair-wise comparison experiment on subjective annoyance rating of noise samples with different frequency spectrums but same A-weighted level*. Applied Acoustics vol. 69 issue 12 December, 2008. p. 1205-1211.

2. Seleccionan 16 personas, 8 hombres y 8 mujeres.
3. Reproducen los sonidos grabados con unas condiciones técnicas determinadas descritas en el artículo.

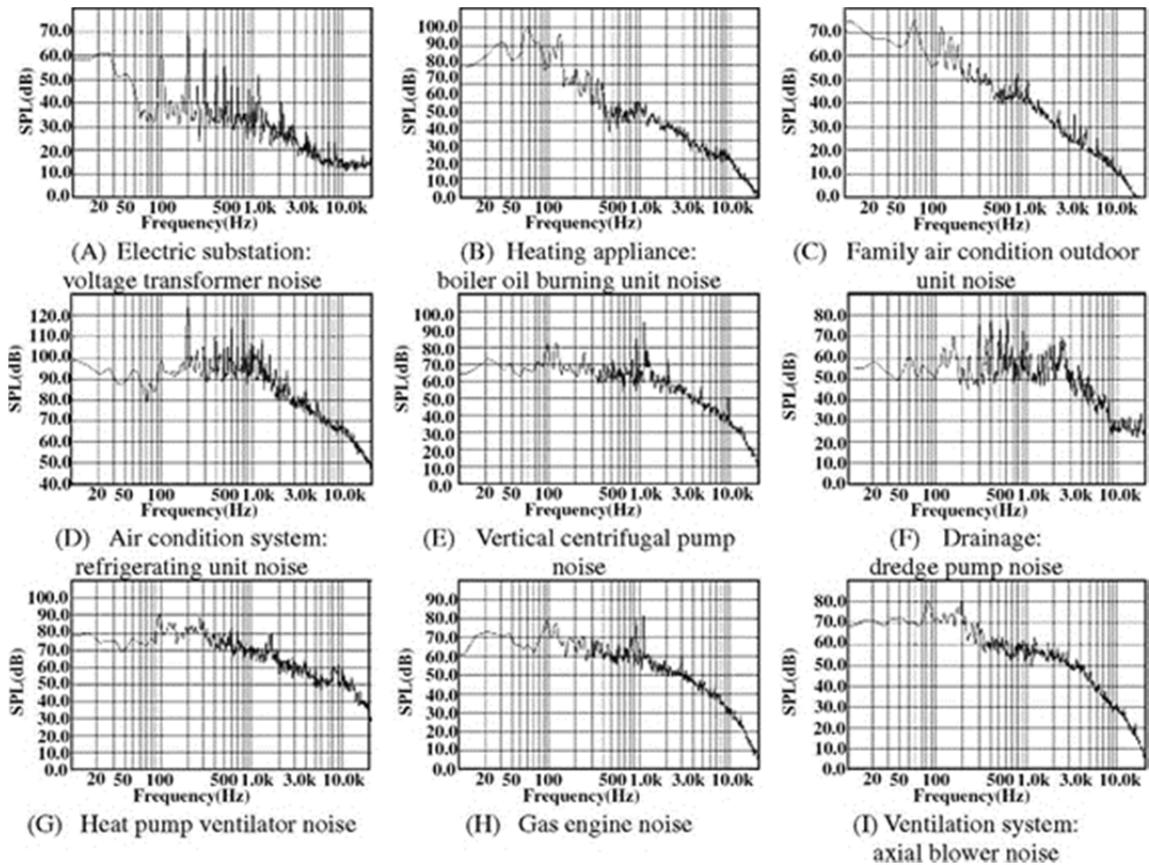
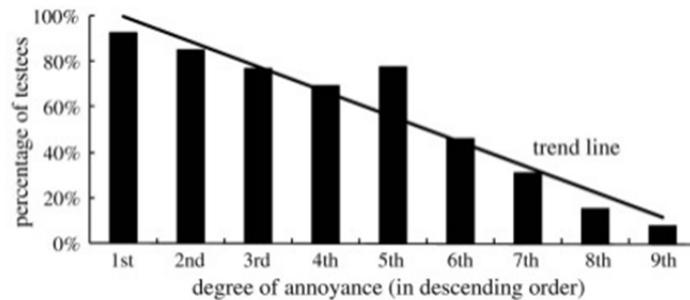


Imagen 17



Gráfica 1

Gráfica donde se representan el porcentaje de personas molestas en relación con los 9 sonidos.

Se reproducen los diversos sonidos seleccionados a los 16 encuestados, y se extraen como resultado unas gráficas en función de la valoración de la molestia producida por los 9 sonidos. Como conclusión de este trabajo, y como era predecible, no influyen todos los sonidos por igual en la valoración del grado de satisfacción.

Está comprobado que el sonido afecta simultáneamente a la mente y al cuerpo. No sólo el nivel del nivel de intensidad sonora de dicho sonido influye sobre la mente, también otras cualidades del sonido. Existen estudios sobre los efectos de aplicar diversos tipo de sonido sobre enfermos, como por ejemplo los llevados a cabo por Baker, F. [20], [21] y [22]. Otros autores han estudiado de qué modo los sonidos graves y agudos afectan al cerebro y las sensaciones que provocan, tal y cómo describe Trallero Flix, C. en su artículo *El oído musical* [23]. En este artículo trata de ciertos temas relacionados con el cerebro y su comportamiento ante estímulos referenciados en frecuencias, en espectro y no en nivel de presión. Explica la respuesta del cerebro a los diversos estímulos producidos por los diversos sonidos. Y cómo esta transformación es claramente diferente según su composición espectral.

El oído es un instrumento muy potente para el transmitir estímulos al cerebro, como Tomatis afirma: «*El oído se puede comparar con una dinamo que transforma las estimulaciones que recibe en energía neurológica encauzada a alimentar al cerebro*» [24]. Literalmente como se describe en su artículo: «*El oído es principalmente un aparato destinado a efectuar una carga cortical (es decir, a aumentar el potencial eléctrico del cerebro). El sonido es transformado en flujo nervioso por las células ciliadas del oído interno. La carga de energía eléctrica obtenida por el flujo de los impulsos nerviosos llega a la corteza, que a su vez la distribuye a través de todo el cuerpo con el propósito de tonificar todo el sistema*».

Pero no todos los sonidos son iguales, y por lo tanto no todos tienen la misma capacidad de estimular por igual al cerebro. Por lo que Tomatis, denomina sonidos con carga a los sonidos capaces de producir esta carga cortical. Las altas frecuencias producen esta carga y las bajas la eliminan. Por tanto, diseñar el sonido ambiental es también diseñar el ambiente psicológico propicio para las personas.

El concepto de Soundscape

Murray Schafer, R., es un compositor canadiense que utilizó el concepto “soundscape” (“paisaje sonoro” en castellano) y ecología acústica ya en los años 70 de siglo XX. Los usó para describir un campo de estudio entre el sonido y el ruido, el “entorno acústico” que rodea a las personas. Desarrolló, en colaboración con otros investigadores, algunos estudios

[20] Baker, F. y Tamplin, J. (2006). *Music therapy methods in neurorehabilitation*. Jessica Kingsley Publishers, London.

[21] Baker, F. (2007). *Enhancing the clinical reasoning skills of music therapy students through problem based learning: An action research project*. Nordic Journal of Music Therapy, 16, 1, 27-41.

[22] Baker, F. y Ledger, A. (2007). *An investigation of long-term effects of group music therapy on agitation levels of people with Alzheimer's Disease*. Aging and Mental Health, 11,3, 330-338.

[23] Trallero Flix, C. (2008). *El oído musical*. Documents de treball (Didàctica de l'Expressió Musical i Corporal - Educació Musical). Universitat de Barcelona, UB.

[24] Tomatis, A. (1990). *El oído y el lenguaje*. Ed. Hogar del Libro. Barcelona.

sobre campañas de campo para la recogida de sonidos de la ciudad en grabaciones tratadas como una fotografía sonora conservada para el futuro. Éste fue el caso de The World Soundscape Project.

«The World Soundscape Project (WSP) se estableció como un grupo educativo y de investigación de R. Murray Schafer en la Simon Fraser University durante los años 1960 y 1970. Se desarrolló a partir del intento inicial de Schafer de llamar la atención sobre el medio ambiente sonoro a través de un curso de contaminación acústica, así como de su disgusto personal por los aspectos más oscuros del soundscape de Vancouver que cambiaba rápidamente. Este trabajo dio lugar a dos pequeños folletos educativos: El nuevo soundscape y El Libro de ruido, además de un compendio de reglamentos canadienses sobre ruido. Sin embargo, el enfoque negativo que inevitablemente tenía la contaminación sonora sugería que tenía que encontrarse un enfoque más positivo. El primer intento fue un largo ensayo de Schafer (1973) llama "The Music of the Environment", en el que describe ejemplos de diseño acústico, bueno y malo, basándose en gran medida en ejemplos bibliográficos» [25].

Continuamente se toman fotos “visuales” de las ciudades y estas quedan como memoria de lo que la ciudad fue en un determinado momento. Schafer también empezó a registrar estos soundscapes con intención de salvaguardarlos para la memoria colectiva. En esta Tesis se ha intentado analizar estos soundscapes mediante su registro sonoro en un entorno urbano. Ciertamente es que una fotografía visual es instantánea, mientras que esta “fotografía sonora” de un soundscape debe ser necesariamente temporal. Lo suficiente como para identificar un lugar mediante los cambios sonoros.

[25] <http://www.sfu.ca>

2.3 El reto del comercio

El actual reto del comercio consiste en adecuarse al desarrollo sostenible del entorno en que sea única, también desde el punto de vista acústico. El objetivo principal es crear un ambiente acústico reconocible y agradable a los usuarios. El comercio debe integrarse en el soundscape de su ciudad y modificarlo de tal modo que sirva a sus intereses y a los de la ciudad.

A la hora de situar la actividad comercial en el soundscape de la ciudad se constata que ésta se desarrolla fundamentalmente en dos formas urbanas:

- *El centro comercial:* En general suele ser un edificio o conjunto de edificios que se diferencian del resto de la ciudad formando bien contenedor o bien formas urbanísticas autónomas dando lugar a la creación de espacios abiertos privados. Esta diferenciación consigue una condición acústica más controlada.



Imagen 18

Centro comercial **L'illa** en Barcelona, aislado mediante un contenedor



Imagen 19

Centro comercial **Glories** en Barcelona, aislado mediante formas urbanas

- *El distrito comercial:* En general suelen ser conjuntos de calles vecinas situadas en una misma zona de la ciudad, que destacan por disponer de una densidad de actividades comerciales muy alta con capacidad de atracción de clientes. Se suelen reconocer con alguna denominación relativa a la identificación del barrio. Como por ejemplo el Borne, el Raval o Gracia en Barcelona.

Para conseguir un adecuado confort acústico desde el punto de vista comercial, hay que observar y analizar la realidad presente para poder evaluar la interacción entre el comercio y la ciudad. Para alcanzarlo hay que identificar y proponer unos indicadores con los que poder llevar a cabo adecuadamente estos análisis. Como ya se ha expuesto, la principal herramienta acústica que se utiliza en el espacio exterior es el nivel de nivel de intensidad

sonora, el decibelio (dB). Muchas legislaciones basan su intervención en limitar los dB de este nivel. ¿Existen otros procedimientos? ¿Qué otros indicadores se pueden aplicar para valorar la adecuación acústica del comercio en la ciudad?

Se debe de tener en cuenta que el comercio no es igual en toda la ciudad. Existen *comercio difuso*, aquel que se encuentra en una densidad baja, como ocurre en muchos barrios periféricos de las poblaciones. O el *comercio compacto*, donde su densidad es muy alta, como ocurre en muchas de las calles peatonales céntricas de las poblaciones. Por lo tanto, la acústica y las soluciones o mejoras que se quieran proponer a ella deberán tener en cuenta el carácter comercial del entorno intervenido.

Es por lo tanto necesario que para encontrar posibles respuestas a este diseño del confort acústico comercial, primero se debe de analizar lo existente. Y para llevar a acabo esto es necesario nuevas herramientas acústicas y nuevos indicadores.

2.4 Justificación de la investigación

La investigación sobre las vías de evaluación del impacto mutuo de una actividad en el soundscape de una ciudad, es relevante para aquellos profesionales que deben tomar decisiones en la ciudad. La planificación de nuevos ensanches urbanos, la rehabilitación de zonas ya existentes o los planes de organización de actividades (tales como el comercio, el transporte, la educación, etc.) deben apoyarse en estudios de impacto acústico. Estos estudios acústicos previos pueden aportar “pistas” sobre los efectos de una nueva actividad en un entorno o del tipo de comercio que más conviene en dicho entorno.

El comercio es una actividad importante en la configuración acústica de una ciudad. En el momento de proponer nuevas políticas comerciales, la evaluación del posible impacto acústico que pueda tener el comercio en el entorno urbano puede ser utilizada como un punto que se suma al resto de condicionantes para el apoyo o rechazo de determinadas propuestas urbanístico-comerciales.



Imagen 20

Imagen de las Ramblas de Barcelona

En el desarrollo de esta investigación se ha recibido el apoyo de la **Diputació de Barcelona** para avanzar en la evaluación del impacto de la actividad comercial en la acústica de la ciudad. Este apoyo ha permitido centrar la investigación y a su vez también ha permitido que el método utilizado para el caso específico del comercio, pueda ser la base para un método de evaluación de otro tipo de actividades urbanas.

3. OBJETIVOS

El objetivo de esta Tesis es investigar si es posible establecer una correlación que permita relacionar una actividad urbana, en este caso el comercio, con el soundscape y el entorno físico en el que se desarrolla.

Este objetivo se puede especificar en los siguientes objetivos parciales:

- Identificar los principales componentes del soundscape y en particular el soundscape comercial y del entorno físico en el que se desarrolla dicho soundscape.
- Obtener un método aproximativo de caracterización de un soundscape en función del comercio en el entorno. Este objetivo principal se puede subdividir en dos secundarios que son:
 - Desarrollar indicadores que caractericen estos componentes para posteriormente evaluar su validez en el caso específico de la ciudad comercial.
 - Contrastar el método con distintos casos de estudio para su mejora y perfeccionamiento
 - Desarrollar este método con herramientas lo más sencillas dentro las posibilidades.
- A través de este método detectar aquellas correlaciones positivas entre acústica y el “éxito” del comercio urbano, en una zona urbana concreta.

4. PLANIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología propuesta para esta investigación se puede resumir en dos áreas: La primera ha consistido en encontrar un marco conceptual y teórico “inicial” que de soporte a la investigación. Este marco teórico es el punto de partida de la segunda área. Esta segunda área ha comprendido las diferentes campañas de campo de registro y el procesamiento y análisis de los datos de cada una de ellas.

1.1 Marco conceptual y teórico inicial

- Estudio de antecedentes bibliográficos relacionados con la ciudad y la normativa relativa al ruido y su impacto ambiental.
- Estudio de investigaciones existentes relacionadas con el soundscape urbano, el ruido y la acústica.
- Estudio de investigaciones existentes relacionadas con métodos de caracterización de soundscapes.

1.2 Campañas de registros

Para cada una de las FASES se ha planteado como una investigación con sus objetivos, sus marcos teóricos, hipótesis y conclusiones respectivamente. Esquemáticamente en cada FASE se ha utilizado el siguiente método:

- Un marco teórico individualizado para cada FASE: Estudio de antecedentes bibliográficos e investigaciones existentes relativas a la Campaña que se analiza.
- Propuesta de un modelo de caracterización de un soundscape. Presentación de nuevos conceptos e indicadores necesarios para el desarrollo de la Campaña.
- Recogida de datos según el modelo propuesto correspondiente.
- Análisis y procesamiento de los datos recogidos.
- Formulación de las conclusiones parciales relativas a la FASE correspondiente.

Se han seleccionado los entornos a estudiar. En este caso se ha escogido 38 escenarios repartidos en cuatro FASES con campañas de registros en tres ciudades diferentes: Melbourne, Logroño y Barcelona.

La justificación de las dos primeras ciudades es circunstancial. Debido a diferentes motivos ajenos a esta investigación se tuvo la “oportunidad” de llevar a cabo las dos primeras fases en dos ciudades diferentes como Melbourne y Logroño pero, como se ha justificado posteriormente las FASES correspondientes, se decidió que los condicionantes de estas dos ciudades podían servir para el desarrollo de la investigación. La elección de la tercera

ciudad es el resultado de acotar el ámbito de la investigación al caso de la ciudad de Barcelona, debido a la consecución de un beca por parte de la Diputació de Barcelona.

Los escenarios estudiados se han dividido de la siguiente manera:

- La FASE I ha servido para identificar elementos de un escenario que configuran un soundscape urbano de forma cualitativa. En esta FASE I se ha llevado a cabo la primera campaña de registros llevada a cabo en Melbourne (Australia) – 5 escenarios.
- La FASE II ha servido para evaluar modos de registrar cuantitativamente (numéricamente) un soundscape urbano. En esta FASE II se ha llevado a cabo la segunda campaña de registros llevada a cabo en Logroño (España) – 8 escenarios.
- De la experiencia cualitativa de la FASE I y la experiencia cuantitativa de la FASE II se desarrolla el método de la FASE III de caracterización de un soundscape, ya comercial, puesto que en esta FASE III se introduce la actividad comercial. En esta FASE se diseñan una propuesta para encontrar correlaciones entre soundscape, entorno y comercio. En esta FASE III se ha llevado a cabo la tercera campaña de registros llevada a cabo en Barcelona (Cataluña) – 16 escenarios.
- En la FASE IV se desarrolla el método expuesto en la FASE III y se diseñan nuevas propuestas para encontrar correlaciones entre soundscape, entorno y comercio. En esta FASE IV se ha llevado a cabo la cuarta campaña de registros llevada a cabo en Barcelona (Cataluña) – 9 escenarios.



Imagen 21

Esquema del desarrollo y relación entre las FASES

5. MARCO TEÓRICO INICIAL

Se han identificado dos grandes líneas de investigación del impacto del sonido en la ciudad. Esta diferenciación se basa en la diversidad de métodos y parámetros que se utilizan para analizar los hechos y efectos relativos al sonido urbano. El tema de esta tesis se sitúa entre estas dos líneas de investigación:

- Una primera línea de trabajo orientados a una aplicación práctica directa, objetiva, y en general apoyada sobre mediciones numéricas cuantitativas.
- Y una segunda línea de trabajos relacionados con la influencia cualitativa que los elementos sonoros urbanos que nos rodean tienen en la percepción sensorial y psicológica de los usuarios de la ciudad.

Esta tesis se apoya y toma referencias de ambas líneas. A continuación se presentan las referencias más importantes que han ayudado a entender y a encuadrar el objetivo de esta investigación en el marco general de las investigaciones en curso.

Primera línea de investigación: Aplicación Tangible

Libros

Ruido de tráfico urbano e interurbano: manual para la planificación urbana y la arquitectura [26]. Estudio encargado por el CEOTMA (Centro de Estudios de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, España) en 1983.

Este libro está orientado preferentemente al estudio del ruido proveniente del tráfico, problema que centraliza la atención en la España de los años 80, cuando la acústica urbana empezaba su desarrollo. A continuación se resumen las características e informaciones más relevantes de este libro:

- En una primera parte del libro se detalla, con mediciones, tablas y gráficos, los distintos tipos de vehículos y sus componentes especialmente "ruidosos", así como los niveles de sonido (en dB) que emiten los vehículos según su cantidad, tipología y velocidad. Se trata de datos de principios de la década de los ochenta, probablemente muchos desactualizados, pero que recoge los parámetros más importantes que caracterizan a los vehículos de motor de explosión.

[26] Domínguez Bustabad, M. (1983). *Ruido de tráfico urbano e interurbano: manual para la planificación urbana y la arquitectura*. Centro de Estudios de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente (CEOTMA), España.

- En una segunda parte, se trata la propagación del sonido provocado por el tráfico y sus conocidas consecuencias en la salud y en la deficiente inteligibilidad del habla entre personas. También describe el comportamiento del sonido ante los obstáculos urbanos habituales, introduciendo algunos factores que también influyen como por ejemplo el clima.
- En la tercera y última parte, se proponen soluciones reales para reducir el nivel de ruido. Las propuestas se articulan según el siguiente orden:
 1. Planificación inicial de usos: Tabla de usos dependiendo de los niveles de dB emitidos.
 2. Orientación de edificios respecto de las vías.
 3. Planificación de usos dentro del edificio y respecto de la vía.
 4. Propuesta de unos ejemplos prácticos resueltos, incluso con algún cálculo.



Imagen 22

Ejemplos de esquemas de orientación

Es una buena guía de aplicación para soluciones concretas, pero se profundiza poco en cada uno de los puntos tratados. Se plantean uno o dos ejemplos por punto y se simplifica mucho el escenario urbano. Por ejemplo se habla de zonas con edificios de 10-12 pisos y calles longitudinales con fachadas paralelas, que pueden englobar gran parte de una ciudad grande, pero no recoge más casos de otro tipo de poblaciones. Puede sin embargo ayudar a fijar un esquema general en esta investigación.

Bruit et formes urbaines: propagation du bruit routier dans les tissus urbains [27].

Libro editado por el “Centro de Estudios del Transporte Urbano” por encargo de dos ministerios franceses, en clave didáctica, en 1981. Está estructurado en una forma amena: Después de una breve introducción sobre nociones de acústica y comportamiento del sonido, se describen por capítulos los distintos sistemas urbanos y no urbanos. Esta descripción se realiza desde un punto de vista de protección contra el ruido. La principal intervención contra el ruido que se aporta en este libro se centra en la propagación del

[27] CETUR, Centre d'Études des Transports Urbains (1981). *Bruit et formes urbaines: propagation du bruit routier dans les tissus urbains*. Ministère de l'Urbanisme et du Logement, Ministère des Transports, Francia.

sonido. Se describe como la geometría del entorno, de los edificios o del terreno tiene una clara influencia en la protección de las viviendas respecto al ruido urbano.

Se trata de una forma ordenada, casi catalogada de las diversas tipologías urbanas y de sus diseños más habituales respecto del modo en que se propaga el sonido con respecto a estas tipologías. Esta investigación aporta dos cosas, una primera aproximación a los paisajes urbanos y una segunda, que es la aportación de varios elementos arquitectónicos como elementos de rediseño acústico urbano mejorado.

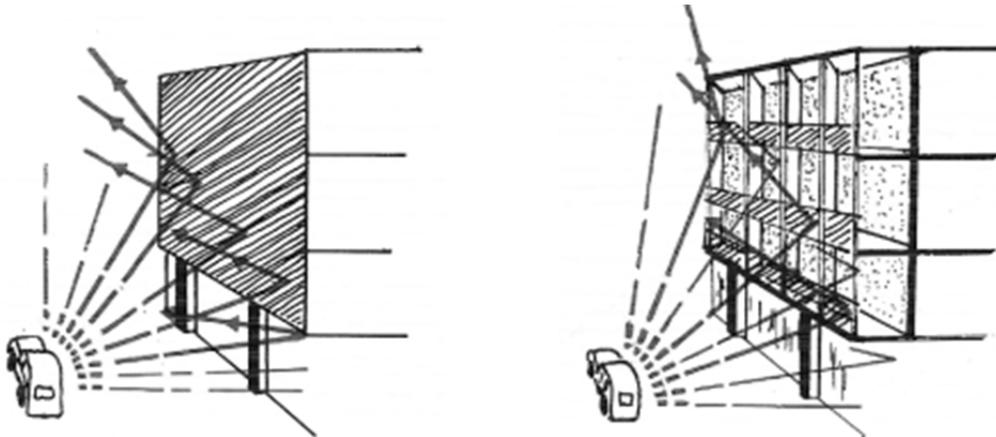


Imagen 23

Ejemplos de tratamiento de mejora de fachadas respecto del tráfico

En este libro no diferencia, cuando se habla de la propagación del sonido, la procedencia del sonido, si es de tráfico, personas u otras fuentes. Se limita a describir físicamente como se mueve y comporta el sonido propagado. Y como consecuencia, la influencia que los diseños arquitectónicos y urbanísticos en tienen en su propagación en el medio urbano.

Existen otros libros que abordan el tema de la acústica urbana desde el punto de vista del ruido. La mayoría siguen el siguiente esquema:

- Una primera parte describiendo los conceptos de acústica y sus leyes físicas con nociones descritas de forma más o menos extensa y compleja.
- Una segunda parte dónde, con mayor o menor profundidad, se describen las características de la fuente del ruido, sean vehículos u otro tipo de máquinas.
- Y una última parte que trata de recoger los métodos de control y reducción del ruido en la planificación urbanística. Siempre este capítulo ha sido el más interesante para esta investigación, puesto que aportará ejemplos prácticos útiles para el desarrollo de la metodología de la Tesis.

En este aspecto, dos libros de los más completos son los escritos por Armando García:

La Contaminación acústica: fuentes, evaluación, efectos y control [28], 1988, y sobre todo **Environmental urban noise** [29], 2001, más completo que el primero. En estos libros se trata la contaminación sonora urbana en su sentido más amplio, ya que se introducen las tres principales fuentes de ruido en las ciudades: el ferrocarril, el avión y el tráfico rodado. Estos dos libros proporcionan bastantes esquemas referentes a las abundantes formas urbanas y arquitectónicas con la intención de dar soluciones constructivas frente al ruido, apoyadas con abundantes imágenes, tablas y gráficos.

Acoustics of long spaces: theory and design guidance. [30]

Este libro del profesor Jian Kang, es un estudio basado en simulaciones informáticas y cálculos teóricos. Su objeto de investigación son los espacios urbanos alargados. Desde estaciones de metro a calles longitudinales, con fachadas a ambos lados. El libro nos da una serie de experimentos comprobados mediante simulación, de diferentes soluciones para reducir el nivel de sonido en diferentes lugares dentro de la vía, todos ellos basados principalmente en la colocación de materiales absorbentes en la superficie de las fachadas y calzada. Kang, J. da resultados de cuánto se reduce el nivel sonoro respecto de la situación, forma y cantidad de absorbente colocado.

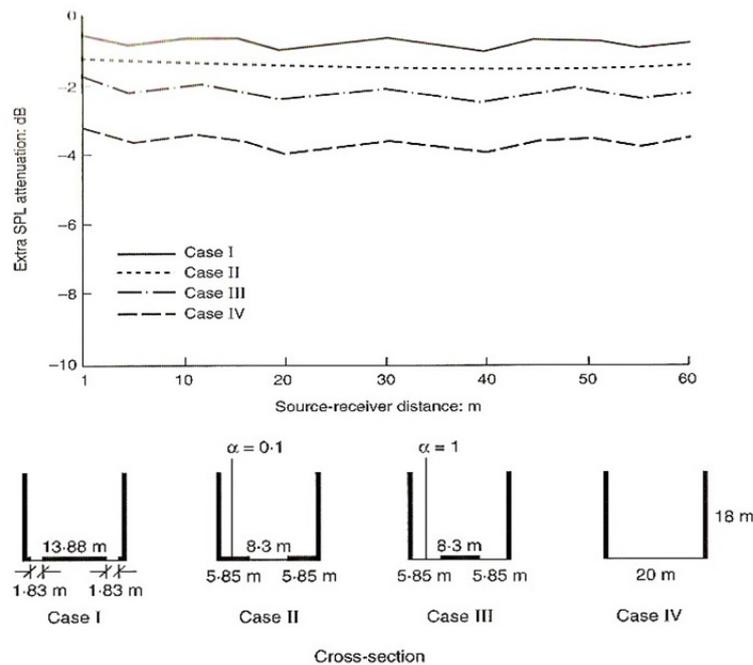


Imagen 24

Ejemplo de distintas configuraciones según la situación del material absorbente en fachadas urbanas

[28] García Rodríguez, A. (2006). *La Contaminación acústica: fuentes, evaluación, efectos y control*. Sociedad Española de Acústica, DL. Madrid.

[29] García Rodríguez, A. (2001). *Environmental Urban Noise (Advances in Ecological Sciences)*. Ed. WIT Press. UK..

[30] Kang, J. (2002). *Acoustics of long spaces : theory and design guidance*. Ed. Thomas Telford, London.

Este libro es un apoyo para un mejor diseño arquitectónico del entorno urbano desde el punto de vista acústico.

Este mismo autor, tiene otro libro titulado: **Urban sound environment** [31], que ha sido de una importante referencia para esta Tesis. Posteriormente, en los capítulos donde se desarrolla la metodología, se destacan los puntos útiles para esta investigación.

Artículos

Ruido de tráfico, movilidad y planificación urbanística [32].

En el cuál se presentan y analizan los resultados de diferentes actuaciones de mejora llevadas a cabo en el municipio de Terrassa y algún otro municipio catalán. Incluyen principalmente actuaciones de carácter pacificador, a partir de modificaciones de la vía, como la reducción del número de carriles, estrechamiento de la calzada, cambio de sentido, reducción de la velocidad, creación de zonas 30 y 10, circulación en zigzag, utilización de pavimentos reductores de sonido. Se verifica como todas estas modificaciones reducen los niveles sonoros ambientales comprobándolos con mediciones antes y después de la actuación.

Tabla 6: Reducción del ruido obtenida al aplicar pavimento sonorreductor.

Anillo 50 km/h Anillo 40 km/h	L _{Aeq}			IMD			Actuación
	A	D	Δ	A	D	%	
Avda. Santa Eulalia	74,4	70,8	-3,6	28.000	32.000	+14	Pavimento sonorreductor
Rambla d'Egara	74,9	72,4	-2,5	26.400	27.700	+7	
Ctra. de Rubí	72,1	71,2	-0,9	10.000	12.500	+25	

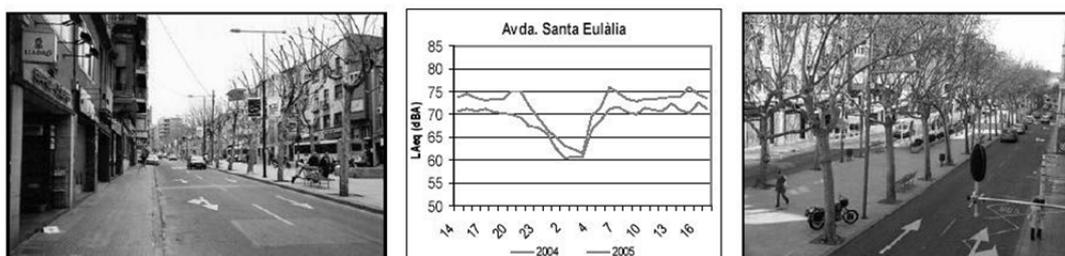


Figura 3: Perfil acústico de la Avenida Santa Eulalia, y vista panorámica de la Rambla de Egara antes y después de la pavimentación con asfalto sonorreductor.

Imagen 25

Ejemplo de ficha de actuación estudiada. Donde se exponen la zona estudiada en la primera columna, la variación de L_{Aeq} en la segunda, la variación del elemento urbano (asfalto, volumen tráfico, etc.) en la tercera columna y el tipo de modificación en la cuarta columna.

Representa la evaluación de un catalogo concreto y pequeño pero útil, para cuantificar cómo influyen algunas actuaciones de mejora urbanística en la realidad. En definitiva este

[31] Kang, J. (2007) Urban sound environment. Taylor & Francis incorporating Spon, London.

[32] Jiménez, S., Romeu, J., Cardona, J., Sánchez, A., Alsina, A., (2005). *Ruido de tráfico, movilidad y planificación urbanística*. Presentado en el congreso TecniAcústica, celebrado en Terrassa.

artículo aporta el contraste numérico de recursos aplicables y reales basados en datos numéricos, recogidos anterior y posteriormente a las modificaciones realizadas en la vía urbana, con lo que se puede evaluar la efectividad de estas acciones.

Ponencias

La lucha integral contra el ruido urbano. Actuaciones en la ciudad de León (España) [33]

Laboratorio de Acústica de la Universidad de León, 2008. En esta ponencia se ha expuesto actuaciones realizadas contra el ruido en esta ciudad castellana.

A lo largo de los años dicho Laboratorio ha desarrollado un conjunto de acciones buscando la mejora del confort acústico de la ciudad. Siendo las más relevantes de éstas: Mapa Acústico de la ciudad de León, Inteligibilidad y aislamiento acústico en Centros Escolares, Estudio de sectores específicos, Caracterización y delimitación de una Zona Acústicamente Saturada, Sistema de control telemático del ruido generado por establecimientos con actividad musical, caracterización del aislamiento acústico en establecimientos y Evaluación de transmisión de ruido y vibraciones.

A esta Tesis le interesa todo lo que son actuaciones referentes a la mejora acústica urbana, con excepción de los aislamientos que no entrarían dentro del campo de acción de esta Tesis, pero sí los ejemplos de delimitaciones y control telemático de actividad musical.

Grupos de investigación

Se han destacado en este apartado los siguientes grupos relacionados con la aplicación física de métodos de reducción y control del sonido:

Terrassa. LEAM [34]

El grupo que conforma el LEAM (Laboratorio de ingeniería acústica y mecánica), perteneciente a la UPC, tiene diversos estudios, artículos y ponencias recogiendo prácticas y herramientas aplicables a la acústica urbana.

Este grupo ha elaborado el mapa acústico de la ciudad de Terrassa y plantea el uso de estos mapas como herramientas para colaborar en la elaboración de los planes urbanísticos. También han realizado estudios sobre la manera de elaborar estos mapas de ruido,

[33] García, E., Fuentes, M., Cepeda, J., Búrdalo, G., de Barrios, M. (2008). *La lucha integral contra el ruido urbano. Actuaciones en la ciudad de León (España)*. VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008. Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre.

[34] <http://leam.upc.edu/>

involucrando a los diferentes agentes urbanos y siguiendo unas pautas para poder recoger la mayor parte de exigencias que debe de tener en cuenta un mapa acústico.

Ha presentado varios artículos en el congreso *TecniAcustica* (Terrasa, 2005), dónde han expuesto algunos de sus trabajos en colaboración con otros organismos:

- Gestión integral del ruido urbano. Mapa acústico de Terrasa. [35]
- Gestión integral del ruido urbano. Mapa de capacidad acústica de Terrasa. [36]
- Potencialidades del estudio psicosocial como herramienta complementaria de los mapas acústicos: una reflexión metodológica desde la sociología. [37]
- Ruido de tráfico, movilidad y planificación urbanística. [38]

Sheffield (Reino Unido). Acoustics Group. [39]

Grupo de investigación que se encuadra dentro de la escuela de arquitectura de Sheffield.

Realizan investigaciones en diferentes áreas de la acústica. Simulación por ordenador, soundscape y confort acústico, aspectos sociales y psicológicos. Absorción y aislamiento del sonido son uno de sus campos principales de investigación.

Relacionado con la línea de aplicación práctica, nos encontramos con estudios, realizados por este grupo, centrados en simulaciones virtuales, en hipótesis teóricas de comportamientos acústicos urbanos. Sus investigaciones pueden ayudar a entender el comportamiento del sonido en la ciudad, y en que modo afectan determinadas actuaciones en el entorno urbano, como por ejemplo, las modificaciones de las fachadas en la transmisión del sonido.

Ghent. Belgica. Grupo de acústica de la Universidad de Ghent. [40]

Según recoge su presentación en internet: sus objetivos son: «mejorar la calidad de las condiciones de vida mediante el descubrimiento de relaciones causales y proporcionando herramientas de simulación avanzadas para el apoyo a las políticas y desarrollo de productos. Los temas de investigación abarcan los aspectos físicos, tecnológicos y psicológicos del problema:

[35] Jiménez, S., Alsina, A Pàmies, T., Capdevila, R. (2005). *Gestión integral del ruido urbano. Mapa de capacidad acústica de Terrasa*. Presentado en el congreso Tecniacustica, celebrado en Terrasa.

[36] Alsina, A., Romero, J., López, S., Barrachina, M. Planas de Martí, I., Jiménez, S. (2005). *Gestión integral del ruido urbano. Mapa de capacidad acústica de Terrasa*. Presentado en el congreso Tecniacustica, celebrado en Terrasa.

[37] Moreno, R., Samper, S., Alcade, R., Romeu, J. (2005). *Potencialidades del estudio psicosocial como herramienta complementaria de los mapas acústicos: una reflexión metodológica desde la sociología*. Presentado en el congreso Tecniacustica, celebrado en Terrasa.

[38] Jiménez, S., Romeu, J., Cardona, J., Sánchez, A., Alsina, A., (2005). *Ruido de tráfico, movilidad y planificación urbanística*. Presentado en el congreso Tecniacustica, celebrado en Terrasa.

[39] www.acoustics.group.shef.ac.uk

[40] <http://acoustweb4.intec.ugent.be/en>

- La propagación del sonido al aire libre y los mapas de ruido.
- El ruido y la predicción de molestia.
- Modelado Computacional de la percepción y valoración del medio ambiente.
- Evaluación del impacto ambiental de los planes de movilidad y proyectos industriales
- Apoyo a las políticas, planes de actuación.

Los modelos de inspiración biológica, tales como los algoritmos genéticos, enjambres, colonias y la inteligencia computacional se encuentran entre las principales metodologías que aplican para la comprensión de los sistemas complejos como el soundscape urbano».

Han sido útiles para esta Tesis sus métodos de evaluación de soundscapes así como las herramientas propuestas en estos métodos.

Francia. CENTRE D'ETUDES DES TRANSPORTS URBAINS (CETUR).

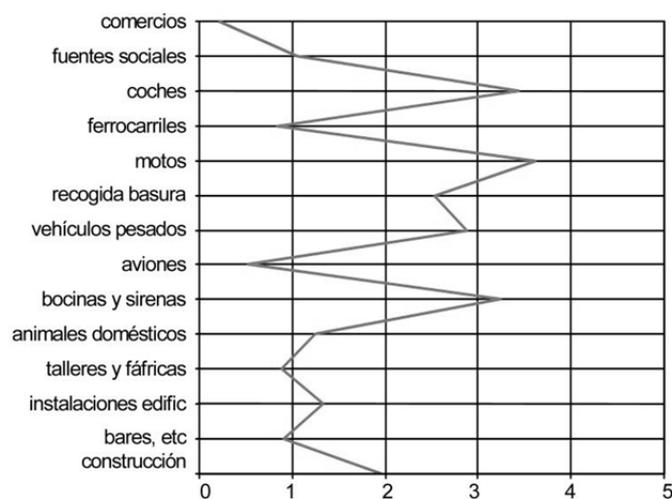
En su apartado de medio ambiente presenta investigaciones y estudios relativos al ruido urbano, proporcionando apoyo al desarrollo de estudios específicos como el que dio lugar al libro anteriormente mencionado: “*Bruit et formes urbaines: propagation du bruit routier dans les tissus urbains*”.

Mapas acústicos

Los mapas acústicos son estudios de campo para bases cartográficas que desarrollan los Ayuntamientos de las ciudades para conocer cómo se distribuye el nivel de intensidad sonora en las calles de su respectiva ciudad. Las ciudades han crecido muy rápidamente en las últimas décadas. La preocupación de la Unión Europea por la degradación del entorno urbano en las ciudades se ha incrementado y esto ha producido, en el caso de España, que muchos de los mapas acústicos se han realizado en la última década. En este apartado han sido referencia dos mapas acústicos en España, el de Bilbao y el de Barcelona:

- **Bilbao** [41]. Este mapa acústico se elabora en el año 2000 y tiene un apartado muy interesante. Se realiza un estudio psicosocial sobre la población de Bilbao, y por medio de encuestas se presentan datos sobre la opinión de los ciudadanos, los cuales que identifican las fuentes sonoras que más los molestan, o el impacto del ruido según las diversas tipologías urbanas, según el barrio y su relación con el interior de la vivienda. Es un texto muy útil para la comprensión de la visión social del ruido en las ciudades.

[41] Mapa de Ruidos de Bilbao. Ayuntamiento de Bilbao. www.bilbao.net/



Gráfica 2

Puntuación media del impacto originado por las diferentes fuentes de ruido ambiental

- **Barcelona** [42]. Existe menos información de su desarrollo, pero la cartografía si se ha podido consultar. Debido a que esta Tesis se ha centrado en entornos urbanos de Barcelona, estos datos han sido fundamentales para el desarrollo de algunas fases de la metodología de esta investigación.

Segunda línea de investigación: Aplicación Intangible

Dentro de este apartado se han clasificado las investigaciones basadas en la definición de la parte sensorial y psicológica que la acústica urbana provoca en las personas. Esta línea de investigación, al ser más difícilmente cuantificable, está menos explorada que la anterior. Los estudios son más subjetivos y es más complicado llegar a conclusiones generalizadas.

Libros

À l'écoute de l'environnement: répertoire des effets sonores. [43]

Esta publicación es un repertorio de efectos en la percepción acústica que se consiguen a través del sonido. Este repertorio describe y analiza, en términos de acústica, el entorno construido y la psicología de la persona que lo escucha. Recoge más de ochenta efectos de sonido y las correlaciones con el estado perceptivo del "oyente". Es una importante contribución al desarrollo de un instrumental para rediseñar el medio ambiente sonoro.

[42] Mapa Estratègic de Soroll. Ajuntament de Barcelona. <http://w110.bcn.cat/portal/site/MediAmbient>

[43] Augoyard, J-F, Torgue, H. (1995). *À l'écoute de l'environnement : répertoire des effets sonores*. Ed. Parenthèses, Marseille.

Arquitectura acústica: Poética y diseño. [44]

El prof. Francesc Daumal describe en este libro la acústica arquitectónica como un tipo de arquitectura capaz de diseñar el soundscape. Se definen elementos arquitectónicos acústicamente activos y se proponen relaciones entre estos elementos y su implicación en el diseño sonoro. Y para ello expone los tres interventores del mensaje sonoro: la fuente, el canal de transmisión y el oyente. También utiliza los “Paseos Acústicos” como método de percepción de la acústica ambiental cambiante de la ciudad. Este libro aporta una visión muy útil de la acústica desde la perspectiva de un arquitecto. Además se trata de un buen manual de referencia para la comprensión de muchos conceptos acústicos urbanos.

Artículos

En diferentes medios se han publicado varios artículos en referencia con esta visión más intangible de entender la acústica urbana y los soundscapes asociados.

Paesaggio sonoro urbano: Introduzione all'ascolto della città. [45]

En este artículo se habla de la necesaria búsqueda de la huella sonora de un lugar. Se presenta un repertorio de parámetros que ayudan a analizar y a describir esa identidad sonora de cada ciudad. El autor divide este repertorio en tres familias de criterios evaluables: los Espacio-Temporales, los Semántico-Culturales, y los Unidos a la materia sonora. Propone ejemplos reales a cada criterio para una mejor comprensión del concepto acústico.

Identidad sonora urbana. [46]

Los autores abogan por una orientación del diseño ambiental basado en mantener la identidad de las ciudades. Para determinar esta identidad, primero proponen un método que gestione datos subjetivos y objetivos. Mencionan al centro de investigación del CRESSON en Grenoble (Francia) y sus investigaciones como ayuda en este reto metodológico. Después de aplicar este método identifican que en las ciudades españolas, dónde han hecho el estudio, existen zonas, espacios y lugares característicos que confieren esa singularidad de cada ciudad. Concluyendo que es necesario incorporar más estudios sonoros cualitativos al diseño urbanístico.

[44] Daumal Domènech, F. (2002). *Arquitectura acústica, poética y diseño*. Edicions UPC, Barcelona.

[45] Amphoux, P. (1997). *Paysage sonore urbain : introduction aux écoutes de la ville = Paesaggio sonoro urbano : introduzione all'ascolto della città = Städtische Lautlandschaft : eine einführung in das hören der stadt*. IREC-EPFL Lausanne ; CRESSON-EAG Grenoble.

[46] Carles, J.L. y Palmese, C. (2004). *Identidad sonora urbana*. Revista Digital: www.eumus.edu.uy/ps/txt. Escuela Universitaria de Música. Universidad de Montevideo. Uruguay.

Ponencias

Can urban squares be recognized by means of their Soundscape? [47]

Presentada por cuatro investigadores de Universidad de Nápoles y del CNR, 2008.

Esta ponencia describe un experimento dirigido a estudiar cómo el soundscape de una plaza puede contribuir en sí mismo a su propia identificación social. Para esto se han tomado 12 plazas con diferentes características en las ciudades de Roma y Nápoles. Se han tomado registros sonoros de cada una de ellas y se han dado a escuchar a habitantes de las ciudades estudiadas. En un porcentaje del 44% los encuestados reconocieron sin ningún problema la plaza de la que se trataba. La conclusión de este estudio es que la huella sonora parece que puede definir la identidad de un lugar.

Grupos de investigación

Grenoble. Centre d'investigació CRESSON [48]

Centro de Investigación sobre el Espacio Sonoro y el Entorno Urbano. Es un laboratorio de investigación que depende de la Dirección de Arquitectura y Patrimonio de Francia. Está ubicado en la Escuela Nacional Superior de Arquitectura de Grenoble. Asociado al CERMA (Centro de Estudios Metodológicos en Arquitectura), de Nantes y constituyen conjuntamente desde 1997 una Unidad Mixta de Investigación (UMR) dependiente del CNRS (Centro Nacional de Investigación Científica).

Este centro realiza desde los años 80 investigaciones sobre el soundscape urbano, no sólo desde un punto de vista de la contaminación acústica asociada (ruido), si no también, cómo este soundscape se caracteriza y crea una simbología consciente-inconsciente en los habitantes.

En este centro hay autores que se acercan más con sus investigaciones al tema de esta Tesis. Entre ellos destacan Pascal Amphoux y Jean-François Augoyard, dedicados a investigar sobre soundscapes y a buscar sus parámetros específicos para poder caracterizarlos.

Napoli. Built Environment Control Laboratory Ri.A.S. Seconda Università di Napoli. [49]

Es un grupo de investigación italiano, con experiencia en estudios acústicos sobre diversos temas, que van desde: rehabilitación acústica de edificios antiguos, reutilización de los mismos para estándares actuales, estudio del comportamiento acústico de materiales, estudio de acústica en edificios clásicos, como teatros de la edad antigua, y también, los

[47] Brambilla, G., Di Gabriele, M., Maffei, L., Verardi, P., (2008). *Can urban squares be recognized by means of their soundscape?* Euronoise Acoustics 08. Paris

[48] www.cresson.archi.fr

[49] www.labrias.unina2.it

aspectos que interesan más a esta Tesis: Soundscapes. Sobre todo destaca la faceta donde se estudian los signos sonoros como faceta cultural. Tienen estudios interesantes sobre el soundscape en plazas de Roma y Nápoles, y en algunas ruinas históricas de Italia.

La actualidad en Internet

Una fuente principal para la actualidad en el campo del soundscape urbano es un foro internacional en internet, denominado WFAE (World Forum for Acoustic Ecology). que reúne a las principales asociaciones acústicas del mundo:

- Australia: Australian Forum for Acoustic Ecology (AFAE)
- Canadá: Canadian Association for Sound Ecology (CASE)
- Alemania, Austria y Suiza: Forum Klanglandschaft (FKL)
- Grecia: Hellenic Society for Acoustic Ecology
- Finlandia: Suomen Akustisen Ekologian Seura r.y.
- México: Foro Mexicano de Ecología Acústica (MFAE/FMEA)
- Japón: Soundscape Association of Japan (SAJ)
- Reino Unido: UK and Ireland Soundscape Community (UKISC)
- USA: American Society for Acoustic Ecology (ASAE)

En España existe como correspondiente la Sociedad Española de Acústica (SEA).

Conclusiones de las referencias analizadas

Conclusiones de los estudios analizados:

- La *primera línea* de investigación propone métodos con una dimensión más física cuantificable. Para aplicar estos métodos son necesarios aparatos de medición para el registro de sonido. Y así como el uso de herramientas matemáticas y software específicos para el procesamiento de estos registros. Estos registros convenientemente procesados aportan una objetividad numérica a la caracterización de un soundscape.
- La *segunda línea* de investigación propone métodos y elementos para la identificación cualitativa de indicadores que ayuden en la caracterización de una soundscape.
- Los elementos descritos por Kang, J, han sido de especial utilidad para el inicio de la metodología. Al igual que los estudios de campo elaborados por el grupo de investigación de la Universidad de Gante (INTEC). También los “Paseos Acústicos” de Daumal, F. han ayudado a la comprensión de los registros sonoros realizados “in situ”.

Posteriormente en el desarrollo de la metodología se han expuesto más detalladamente alguna de estas referencias ya que se han servido de apoyo directo para el desarrollo de la metodología.

6. HIPÓTESIS

1. ¿Es posible la caracterización de un soundscape a través de diversos indicadores de diferentes naturalezas?
2. ¿El éxito de una actividad de comunicación conlleva alguna componente correlacionada susceptible de ser repetida y controlada? Como sucede, por ejemplo, en el estudio sobre las canciones que más éxito tienen [50].
3. ¿Todos los comercios requieren las mismas características urbanas ambientales atractivas por lo que se refiere a la acústica?
4. ¿La actividad comercial sedentaria, las tiendas, se ubican preferentemente en áreas urbanas con una determinada calidad acústica (ni silenciosa ni ruidosa) en similitud con un ecosistema?
5. ¿El comercio modifica el propio soundscape urbano que le rodea en el que se establece inicialmente?
6. ¿El ambiente acústico urbano del espacio público puede ser regulado adecuadamente por el arquitecto con el fin de favorecer las actividades de comunicación e intercambio, como el comercio?

[50] www.labnews.co.uk/comment/big-ask/dr-daniel-mullensiefen-sing-along-able-tunes/

7. REFERENCIAS

Imágenes

Imagen 1	1
<i>Fuente: www.wikipedia.org</i>	
Imagen 2	1
<i>Fuente: http://www.tourist-destinations.com</i>	
Imagen 3	2
<i>Fuente: http://myriammahiques.blogspot.de</i>	
Imagen 4	5
<i>Fuente: http://www.20minutos.es</i>	
Imagen 5	5
<i>Fuente: http://blogs.timeout.cat/guillemcarbonell</i>	
Imagen 6	6
<i>Fuente: Lynch, K. (1998) <i>La imagen de la ciudad</i>. Ed. Gustavo Gili. Barcelona</i>	
Imagen 7	7
<i>Fuente: Lynch, K. (1998) <i>La imagen de la ciudad</i>. Ed. Gustavo Gili. Barcelona</i>	
Imagen 8	8
<i>Fuente: Cullen, G. (1971). <i>El Paisaje urbano: tratado de estética urbanística</i>. Ed. Blume. Barcelona</i>	
Imagen 9	10
<i>Fuente: http://oscarnprieto.blogspot.com</i>	
Imagen 10	10
<i>Fuente: http://www.urbevalencia.es</i>	
Imagen 11	10
<i>Fuente: http://www.landezine.com/index.php/2009/07/plaza-del-desierto</i>	
Imagen 12	11
<i>Fuente: www.ezcaray.com</i>	
Imagen 13	12
<i>Fuente: http://canons.sog.unc.edu</i>	
Imagen 14	12
<i>Fuente: http://fashaddict.wordpress.com</i>	
Imagen 15	14
<i>Fuente: http://w3.bcn.cat/comerc</i>	
Imagen 16	16
<i>Fuente: http://www.localesparamusicos.com/SalaConciertos.php?loc=386</i>	
Imagen 17	19
<i>Fuente: Huang Yifan, Di Guoqing, Zhu Yiting, Hong Youpeng, Zhang Bangjun (2007). Pair-wise comparison experiment on subjective annoyance rating of noise samples with different frequency spectrums but same A-weighted level. <i>Applied Acoustics</i> vol. 69 issue 12 December, 2008. p. 1205-1211.</i>	
Imagen 18	22
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 19	22
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 20	24
<i>Fuente: http://www.100destinos.com/barcelona1.htm</i>	

Imagen 21	27
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 22	29
<i>Fuente: Domínguez Bustabad, M. (1983). Ruido de tráfico urbano e interurbano: manual para la planificación urbana y la arquitectura. Centro de Estudios de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente (CEOTMA), España.</i>	
Imagen 23	30
<i>Fuente: CETUR, Centre d'Études des Transports Urbains (1981). Bruit et formes urbaines: propagation du bruit routier dans les tissus urbains. Ministère de l'Urbanisme et du Logement, Ministère des Transports, Francia.</i>	
Imagen 24	31
<i>Fuente: Kang, J. (2002). Acoustics of long spaces : theory and design guidance. Ed. Thomas Telford, London</i>	
Imagen 25	32
<i>Fuente: Jiménez, S., Romeu, J., Cardona, J., Sánchez, A., Alsina, A., (2005). Ruido de tráfico, movilidad y planificación urbanística. Presentado en el congreso Tecniacustica, celebrado en Terrasa</i>	

Gráficas

Gráfica 1	19
<i>Fuente: Huang Yifan, Di Guoqing, Zhu Yiting, Hong Youpeng, Zhang Bangjun (2007). Pair-wise comparison experiment on subjective annoyance rating of noise samples with different frequency spectrums but same A-weighted level. Applied Acoustics vol. 69 issue 12 December, 2008. p. 1205-1211.</i>	
Gráfica 2	36
<i>Fuente: Mapa de Ruidos de Bilbao. Ayuntamiento de Bilbao. http://www.bilbao.net/</i>	

CAPÍTULO 2

FASE I

Identificación de elementos
configuradores de un soundscape

INTRODUCCIÓN a la FASE I

¿SE CONSTRUYE UN SOUNDSCAPE?

El entorno urbano que los usuarios habitan cada día se percibe a través de los sentidos. Cada persona se forma en su cerebro una “imagen mental” de su entorno a través de la percepción subjetiva individual. Según Susana Martínez-Conde, directora del Laboratorio de Neurociencia Visual del Instituto Neurológico Barrow de Phoenix (USA): “La percepción se basa en una imagen subjetiva del entorno objetivo y físico creada por el cerebro” [1].

La “imagen mental” que una persona se forma subjetivamente de un lugar se basa también en aspectos no sensoriales, como por ejemplo, contexto histórico, las experiencias emocionales ligadas a ese lugar o aspectos de otra índole. El contexto histórico es importante sobre todo en algunas culturas, como las europeas, dónde el centro histórico de la ciudad posee por sí mismo unos condicionantes ambientales comunes a muchas ciudades. El trazado sinuoso y estrecho de sus calles y generalmente un ambiente pacífico, comercial y cultural son algunos de estos ingredientes reconocibles.

También el marketing juega un papel muy importante en la configuración de esta “imagen mental”. Las campañas publicitarias, los artículos “positivos” en revistas o periódicos ayudan a formar la percepción de un entorno urbano. Un ejemplo de esto es el reportaje sobre el barrio del Born en Barcelona publicado en el periódico La Vanguardia [2], donde se recogen varios artículos titulados: *El sector de la restauración, clave en el Born. Ir de compras en el Born está de moda. El Born, sede de galerías y museos de arte.* Que pretende crear una imagen más atractiva del barrio del Born.



Imagen 1

Quinta avenida de New York



Imagen 2

Torre Eiffel de Paris

Ejemplos de hitos que marcan la percepción de un entorno urbano, e incluso de una ciudad

[1] www.publico.es (artículo publicado el 25 de enero de 2010)

[2] www.lavanguardia.com (artículo publicado el 15 de julio de 2011)

La arquitectura y el urbanismo proporcionan elementos, hitos o recorridos que configuran la “imagen mental” de la ciudad. Como escribe el arquitecto Le Corbusier: «El arquitecto, organizando las formas realiza un orden que es pura creación de su mente; a través de las formas golpea con intensidad los sentidos y, provocando emociones plásticas mediante las relaciones que crea, despierta en mí resonancias profundas, nos da la medida de un orden que participa del orden universal, determina movimientos diversos de nuestro espíritu y de nuestro corazón: es aquí donde advertimos la belleza» [3]. El estudio de la percepción de la ciudad como un fenómeno multisensorial, es objeto de varias investigaciones como la llevada a cabo en el artículo de Di Gabrielle, M. y Maffei, L. [4], donde se intenta relacionar la percepción de las personas del lugar con el sonido, la luminosidad solar y la geometría del entorno.

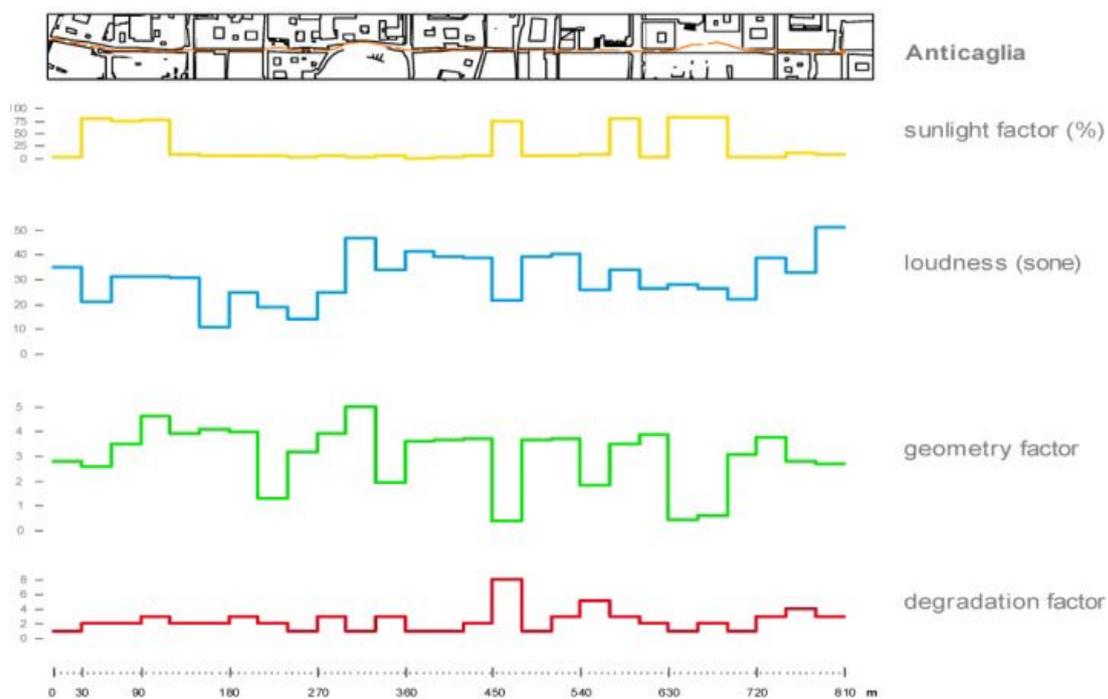


Imagen 3

Ejemplo extraído del artículo [4], donde se representa según una sección de una calle urbana, como los diferentes indicadores ambientales varían con el recorrido de la calle

El sonido es uno de los elementos configuradores de esta imagen mental que una persona se forma de un lugar en una ciudad. También forma parte de esa percepción que se mantiene presente en la memoria a lo largo de los años. Esta percepción sonora es global y se orienta hacia el soundscape del entorno, el cuál es un sistema complejo que se forma con la suma de varios sonidos con diferentes características. Conceptualmente se podría asemejar al resultado de varios ingredientes que combinados en determinadas cantidades caracterizan un plato en la cocina.

[3] Le Corbusier (1923) *Vers une architecture*. Crés, París. (trad. it. a cura di Pierluigi Cerri e Pierluigi Nicolini: *Verso un'architettura*. Milán, Longanesi, 1984.)

La “sopa acústica”

Esta metáfora hace referencia a la complejidad de ingredientes acústicos y su interrelación del entorno urbano para formar el soundscape. Lo que se percibe a través del oído en un entorno urbano depende de muchas circunstancias. Hay entornos más simples que otros y son muchos los elementos que producen sonido. Pero la cantidad y calidad de estos elementos varía según la ciudad o la zona dentro de la propia ciudad. No es lo mismo la cantidad de fuentes sonoras, que se pueden encontrar en una plaza peatonal, que en una gran avenida con tráfico, definiendo fuente sonora cómo cualquier persona, animal o máquina que produzca sonido. Es necesaria la identificación de estas fuentes sonoras para la caracterización de un soundscape.

CIUDAD COMERCIAL COMPACTA



Imagen 4

Ejemplo de una sopa acústica con muchos ingredientes

CIUDAD PERIFÉRICA DIFUSA



Imagen 5

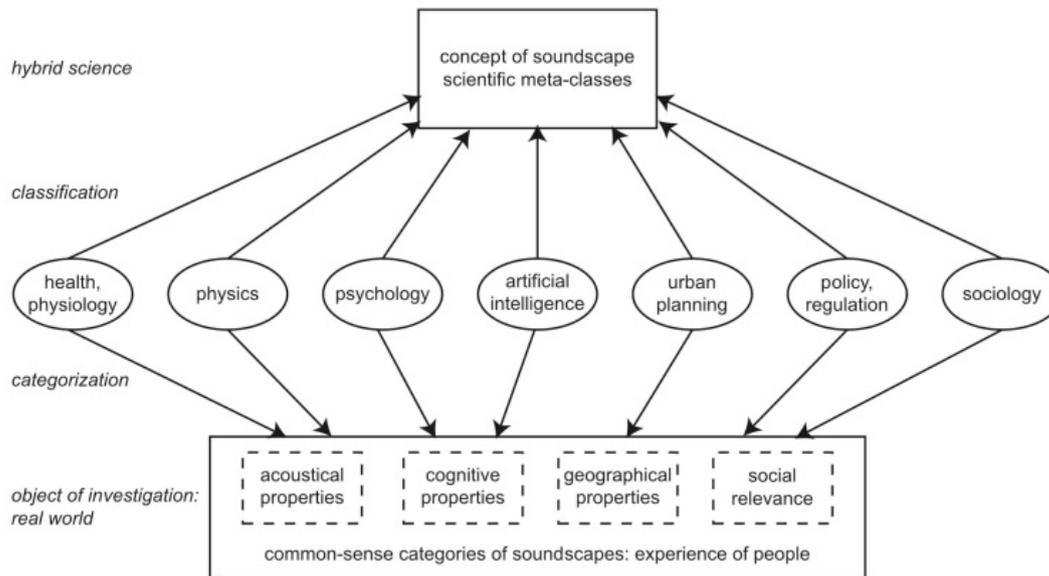
Ejemplo de una sopa acústica con pocos ingredientes

El reconocimiento, caracterización y evaluación de un soundscape es complicada. Existen múltiples interacciones entre las fuentes sonoras y entre los factores acústicos y los que no son acústicos (contexto histórico, cultura, etc.). La definición y clasificación de un soundscape varía según el autor, el momento, el país y el objetivo que se persigue. No es fácil por lo tanto estandarizar una terminología para los investigadores. Un intento en este sentido se ha llevado a cabo en la investigación presentada en el artículo *Categories for Soundscape: Toward a Hybrid Classification* [5].

Este trabajo [5] versa sobre la búsqueda de un consenso en la denominación y clasificación de los paisajes sonoros. A través del estudio de diferentes trabajos anteriores en el campo de los paisajes sonoros se ha propuesto una clasificación de los diversos ejemplos extraídos de estos trabajos. Se han identificado según la finalidad de cada investigación y con qué profundidad se aborda.

[4] Di Gabriele M., Maffei L, Aletta, F. (2010). *Urban Noise Mapping Based on Emotional Dimensions*. 1º EAA-EuroRegio 2010. Congress on Sound Vibration, Septiembre 2010, Ljubljana, Slovenia.

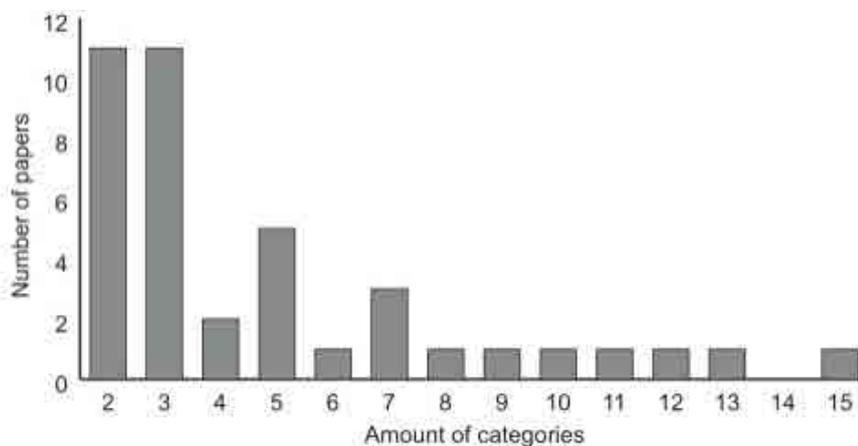
Se han analizado 166 papers, escritos en inglés desde 1979, 10 anteriores a 1999 (6%), y el resto, es decir un 94% son posteriores a esta fecha. Se agrupan en cuatro categorías según la finalidad de la investigación y el método utilizado. Se han identificado diversas categorías: como los sonidos naturales, los sonidos humanos, etc.



Gráfica 1

Diferentes aspectos de las categorías para paisajes sonoros son estudiados por diferentes ámbitos de investigación. Estos ámbitos comunican e integran sus resultados en la conformación del concepto de soundscape

Después se relacionan las veces que una categoría se nombra en relación con las otras.



Gráfica 2

Histograma de la cantidad de categorías mencionadas en los documentos. El eje horizontal muestra las cantidades posibles de categorías, y el eje vertical indica cuántos artículos menciona una cantidad determinada de categorías

Posteriormente se elabora una matriz asemejando las relaciones que existen entre las categorías. Como conclusiones se constatan entre otras que hay tres diferentes

[5] Maria N., Caroline C., Danièle D. (2010). *Categories for Soundscape: Toward a Hybrid Classification*. Congreso INTERNOSIE Junio, 2010. Lisboa, Portugal.

clasificaciones de soundscape en relación con los objetivos y especialización de los diversos autores. Esta investigación ha aportado terminología y una denominación de elementos más consensuadas con la actualidad de la investigación de los soundscapes.

La observación como método de identificación

La observación de la realidad es una parte del método científico que ayuda a un acercamiento del problema planteado. Observar es percibir discriminadamente la realidad. Sirve para detectar e identificar elementos o procesos que se producen en ella. Dentro de la observación acústica, uno de los primeros investigadores que propusieron un modo de observación como aproximación al sonido fue Barry Truax, fundador de World Soundscape Project anteriormente mencionado en el punto 2.2 del capítulo 1 de esta tesis.

Este modo específico de observación se denominó, soundwalk (“paseo acústico o sonoro” en castellano) y que el propio Truax, B. lo define así: «Soundwalk: una forma de participación activa en el soundscape. Aunque las variaciones son muchas, el objetivo esencial del soundwalk es animar a los participantes a escuchar discriminadamente. Y por otra parte, a hacer juicios críticos sobre de los sonidos que se escuchan y su contribución al equilibrio o desequilibrio del medio ambiente sonoro [6]». Este soundwalk también lo utiliza Daumal, F. en su libro *Arquitectura acústica, poética y diseño* [7], donde “estos paseos” le ayudan a entender los recorridos no sólo físicos, sino también sonoros y psicológicos que se realizan en la ciudad, y que desencadenan diversas percepciones.

La configuración de un soundscape se basa en el triángulo de flujos que forman la Fuente sonora, el Medio de Transmisión y el Receptor. Son tres elementos sin los que no se puede construir un soundscape. Son elementos de distinta naturaleza y que en conjunto fundamentan la dinámica un soundscape.



Imagen 6

Triángulo de flujos FUENTE-MEDIO DE TRANSMISIÓN-RECEPTOR

[6] Truax, B. (1978). *The Handbook for acoustic ecology*, Ed. A.R.C Publications, Vancouver, Canada.

[7] Daumal Domènech, F. (2002). *Arquitectura acústica, poética y diseño*. Edicions UPC, Barcelona.

Fuente sonora

La fuente sonora se define como todo objeto, persona o animal que produce y emite sonido. Las fuentes sonoras en el contexto urbano principalmente pueden ser de diferentes tipos:

- *Puntuales*, fuentes sonoras circunscritas a un punto en el espacio, porque la energía sonora que emiten se distribuye por igual en todas las direcciones. Pueden variar sus características acústicas, pero mantiene el carácter omnidireccional de su flujo de emisión.
- *Lineales*, fuentes sonora circunscritas a una línea en el espacio, porque la energía que emiten se distribuye con más intensidad en una dirección que en otras.

Las fuentes sonoras tienen distintas naturalezas, según el origen de su procedencia. Pueden ser de naturaleza humana, como el hablar de las personas. De naturaleza animal, como el piar de los pájaros. O de naturaleza mecánica como el sonido producido por el motor de un vehículo. La energía emitida por las diversas fuentes sonoras interactúan entre ellas, y esta combinación condiciona esencialmente la configuración de un soundscape y su percepción. Para entenderlo basta con un ejemplo simple: en una vía urbana, donde exista un tráfico intenso, raramente se podrá escuchar el piar de unos pájaros. En este caso la interacción se convierte en un dominio de la fuente sonora producida por el tráfico sobre la producida por los pájaros y, muy posiblemente, la percepción del soundscape no reflejará por igual ambas fuentes sonoras.

Las fuentes sonoras, en general, varían en presencia e intensidad de emisión con el tiempo. El tráfico por ejemplo, una de las principales fuentes sonoras urbanas, varía su cantidad de flujo entre la mañana y la noche, laborables y festivos. La observación “in situ” de una fuente sonora puede identificar también la variación de la fuente a lo largo de un periodo de tiempo.

Medio de transmisión

El medio de transmisión es el medio físico dónde se propagan las ondas sonoras desde la fuente sonora hasta el receptor. El medio de transmisión puede transmitir el sonido a través de él, puede reflejarlo o absorber parte.

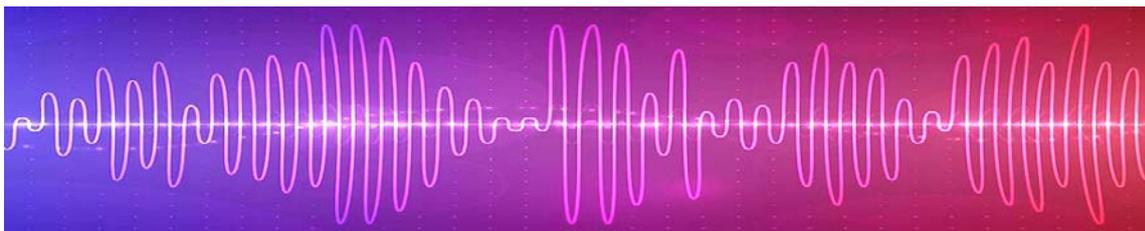


Imagen 7

Representación de diferentes ondas sonoras

En la ciudad, el principal material por el que el sonido se transmite es el aire, aunque también lo hace a través de los otros materiales. Los materiales por los que el sonido se transmite en un entorno urbano están situados en la envolvente arquitectónica de dicho entorno. Esta envolvente arquitectónica está formada por las fachadas de los edificios y los pavimentos urbanos, entendiendo por fachadas la componente vertical de la envolvente y los pavimentos como la componente horizontal de la envolvente. Y estas están constituidas por una gran variedad de materiales y formas que favorecen o dificultan la transmisión del sonido.

Receptor

Se define el receptor como la persona o personas que perciben un sonido, de forma voluntaria o involuntariamente. Todas las personas que se encuentran dentro un entorno urbano están inmersas en dicho soundscape. Estos receptores pueden estar bien en movimiento o simplemente estáticos.

Es importante considerar la sensibilidad al sonido individualmente, al igual que los significados subjetivos del sonido para cada individuo, puesto que las características de los receptores son muy variables. El aspecto demográfico, condiciones como el sexo o la edad pueden condicionar la percepción del soundscape cómo expone Taylor, M. [8], y el estudio psicosocial del mapa de ruidos de la ciudad de Bilbao [9]. El factor social también puede influir en la percepción de un soundscape. Según la investigación presentada por Schulte-Fortkamp y Nitsch [10], la evaluación de un soundscape parece estar relacionada con el tiempo que la gente lleva viviendo en el lugar, y con la capacidad de cambio en la vida social de la zona.

Las expectativas también parecen ser un aspecto fundamental a la hora de la percepción. Un claro ejemplo es un partido de fútbol: las personas que quieren verlo, por lo general, son capaces de soportar un nivel de intensidad sonora más alto que las personas que no quieren verlo y que por diversas razones se encuentran en el mismo entorno. Otro claro ejemplo, son los barrios dónde se desarrolla una intensa vida nocturna de ocio. Las personas que están dispuestas a soportar un mayor nivel de intensidad sonora, tienen unas expectativas de diversión. Mientras que las personas que habitan en el mismo entorno urbano, quieren dormir y no aceptan ese nivel de intensidad, y simplemente porque sus expectativas de lo que quieren son radicalmente diferentes.

[8] Taylor, S.M. (1984). *A path model of aircraft noise annoyance*. *Journal of sound and Vibration*, 96, 243-60.

[9] Estudio psicosocial, Mapa de Ruidos de Bilbao. Ayuntamiento de Bilbao. www.bilbao.net/

[10] Schulte-Fortkamp, B., Nitsch, W., *On soundscape and their meaning regarding noise annoyance measurements*. Congreso INTERNOISE Diciembre 1999. Florida, USA:

DESARROLLO de la FASE I

Cómo ya se ha expuesto en la introducción la acústica urbana se conforma con la suma de miles de emisiones sonoras cada día en cada escenario urbano. El fenómeno de la comunicación sonora tiene tres vértices principales que nos caracterizan el paisaje acústico urbano:

1. Fuente o emisor que lo produce, voluntaria o involuntariamente.
2. Medio que lo transmite, la ciudad.
3. Receptor que lo recibe, los ciudadanos.

1. OBJETIVOS DE LA FASE I

El objetivo principal de esta FASE es identificar los diversos elementos de un escenario urbano que configuran su soundscape a través de la observación. A su vez se ha pretendido clasificar y agrupar los elementos que se han encontrado en la campaña de observación.

2. PLANIFICACIÓN DE LA FASE I

Durante el desarrollo inicial de la Tesis se ha tenido la posibilidad de analizar varios escenarios urbanos de la ciudad de Melbourne (Australia). En las siguientes páginas se han recogido cinco experiencias acústicas urbanas en Melbourne. El tema se ha abordado con el siguiente esquema de actuación:

- Estudio de antecedentes bibliográficos relativos a la definición de un escenario urbano en función de su soundscape.
- Elección de unos "escenarios acústicos urbanos" concretos porque son lo más representativos de la ciudad de Melbourne, basados en la experiencia propia y en experiencias de habitantes continuos de la ciudad.
- Recogida de datos en dichos escenarios. El método de recogida de datos ha sido la observación. Estos datos han sido expresados mediante gráficos y recogidos en fichas.
- Catalogación y análisis de los datos recogidos.
- Conclusiones como resultado del análisis.

3. MARCO TEÓRICO DE LA FASE I

Después de un análisis de la bibliografía referente a la caracterización de un soundscape se han resumido los aspectos más relevantes para esta investigación que se han identificado en las referencias encontradas.

- Grupo de investigación CRESSON: Es un centro de investigación sobre el espacio sonoro y el entorno urbano perteneciente a la Universidad de Grenoble. Los trabajos de investigación del laboratorio se centran en el soundscape y los ambientes arquitectónicos y urbanos. Una de sus áreas es la acústica. Y en esta FASE se han estudiado especialmente los trabajos de Amphoux, P.: *Paysage sonore urbain: introduction aux écoutes de la ville* [11], *Projet urbain à Genève. Une image directrice pour un territoire en mutations. Cinq projets urbains pour le sud de l'agglomération genevoise* [12] y *Politiques urbaines : de la gestion du bruit à la création du paysage sonore*. In: *Colloque franco-italien "Politiques et gestions paysagères"* [13].
- *Arquitectura acústica: Poética y Diseño*, de Daumal, F. [14]. Es un libro muy completo sobre la arquitectura acústica escrito desde una perspectiva arquitectónica. También se tratan los sonidos asociados a los espacios arquitectónicos y urbanos desde una vertiente más psicológica, desde una percepción sensorial amplia. Además de definir elementos físicos que configuran un soundscape, también aporta conceptos espaciales del sonido, como por ejemplo la escala.

Conclusiones de la bibliografía estudiada en la FASE I

Estos dos referentes han sido útiles para la iniciación de la comprensión de los diversos elementos que configuran un soundscape y su interacción. Estas referencias han sido útiles para la clasificación propuesta de los elementos que conforman un soundscape en esta FASE I.

4. HIPOTESIS DE LA FASE I

Como única hipótesis se ha planteado que:

- ¿Para cada una de las variables (ya sean físicas, sonoras, etc.) que caracterizan acústicamente un escenario urbano y su soundscape, existen diferentes categorías en los que se pueden dividir para comprender mejor su naturaleza, su función e identificar mejor sus características?

Esta hipótesis depende de una de las hipótesis principales de la tesis en la que se pregunta si el soundscape puede ser caracterizado en indicadores o variables.

[11] Amphoux, P. (1997). *Paysage sonore urbain: introduction aux écoutes de la ville*. IREC-EPFL Lausanne; CRESSON-EAG Grenoble.

[12] Amphoux, P.; Vaucher, N. & Oberson, J-J. (2001). *Projet urbain à Genève. Une image directrice pour un territoire en mutations. Cinq projets urbains pour le sud de l'agglomération genevoise*. Editions Mardaga. p. 129-143.

[13] Amphoux, Pascal (1992). *Politiques urbaines : de la gestion du bruit à la création du paysage sonore*. In: *Colloque franco-italien "Politiques et gestions paysagères"*, 6-7 février 1992, Levens. Versailles : Ecole Nationale du Paysage.

[14] Daumal Domènech, F. (2002). *Arquitectura acústica: Poética y Diseño*. Edicions UPC. Barcelona.

5. DESARROLLO DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA: FASE I

5.1 Campo de estudio

La globalización ha propiciado una similitud en el comportamiento social urbano en las sociedades occidentales, es similar y el comportamiento urbano de las personas puede serlo también. Las configuraciones viales referidas al tráfico rodado también pueden ser similares a occidente. Por motivos circunstanciales la primera FASE de esta tesis se ha desarrollado en la ciudad de Melbourne (Australia), ciudad occidental. Se ha considerado que el centro de Melbourne, a pesar de ser en cierto modo un sistema norteamericano de Downtown, puede ser útil ya que presenta gran variedad de actividades urbanas. Entre las que se existe la vivienda, las oficinas, el comercio y diversas formas de ocio. Lo que la hace más similar a ciudades europeas. En esta FASE I solo se han estudiado casos en el centro de Melbourne.



Imagen 8

Los diversos entornos elegidos situados sobre una vista aérea del centro de Melbourne

5.2 Catalogación de elementos que configuran un soundscape

En este apartado se ha tratado de encontrar una manera idónea de describir un escenario urbano desde la perspectiva de la acústica. Es decir, un análisis identificativo del paisaje de la ciudad dónde se han clasificado los elementos que configuran el sonido en un escenario urbano, respecto al:

- Fuente sonora (qué o quién produce el sonido).
- Medio de transmisión (por donde se transmite el sonido: aire, suelo, fachadas y sus respectivos materiales).
- Receptor (personas que reciben el sonido de la fuente emisora a través del medio de transmisión).

Este esquema pretende ayudar a clasificar y entender mejor los diversos elementos encontrados como resultado de la recogida y análisis de los escenarios acústicos urbanos.

Fuente emisora

En este apartado se “ha censado” cualquier elemento que emita sonido. Habrá que tener en cuenta su posición, su movimiento (si lo posee), su periodicidad en el tiempo, su nivel y su tonalidad. En este estudio previo no se han realizado aún mediciones, ya que lo que interesa es la identificación de los elementos configuradores de un soundscape de un escenario.

Las condiciones de estudio con el cual se ha recogido los siguientes datos han sido:

- Temporal: La duración de la percepción subjetiva ha sido de dos minutos y la franja horaria del día en la que se ha realizado se ha anotado en cada gráfica adjunta a cada fuente.
- Espacial: El lugar exacto desde el que se ha estudiado el escenario solo ha tenido como condición el buen control de lo que sucedía en dicho escenario.

Para cada fuente emisora recogida se han censado cuatro aspectos de diferente tipo:

Primer dato: Se ha recogido el nombre que identifica la fuente, en este caso “Tranvía”. También se ha añadido una valoración subjetiva de lo observado en el escenario relativo a la fuente analizada.

Segundo dato: Mediante un icono se ha explicado gráficamente la percepción subjetiva de la fuente en el escenario. Se detalla a continuación la leyenda:

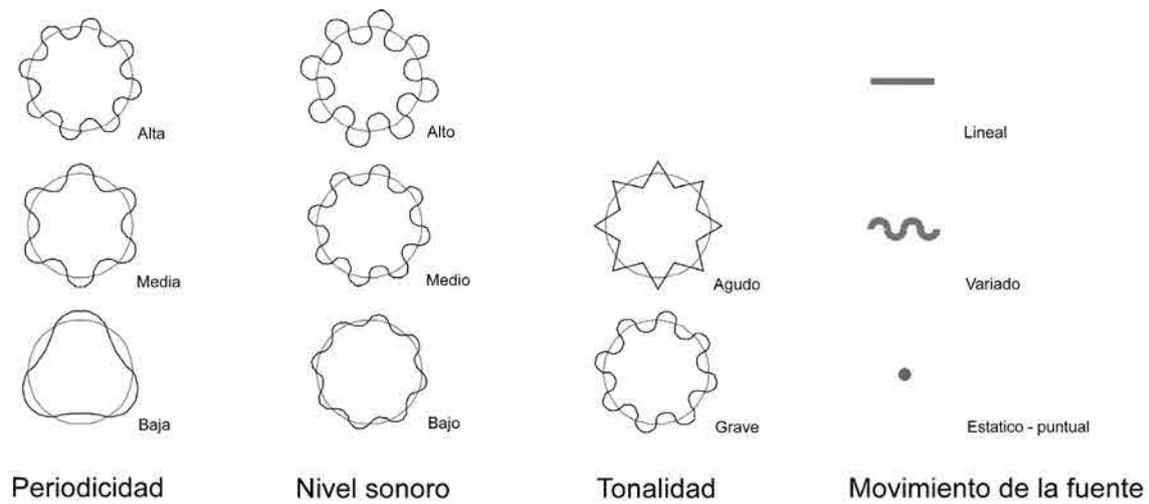


Imagen 9

Se propone un sistema gráfico, intuitivo para clasificar la frecuencia en el tiempo, nivel sonoro y tonalidad del sonido analizado y movimiento de la fuente emisora de dicho sonido.

Descripción de los términos

Todos estos términos son resultado de la percepción subjetiva del autor dentro de un escenario concreto:

- La **Peridicidad** hace referencia a la percepción de la repetición del sonido que emite una fuente emisora.
- El **Nivel sonoro** hace referencia a la percepción de nivel de intensidad sonora del sonido emitido.
- La **Tonalidad** hace referencia a la percepción del tono del sonido emitido. Y el movimiento a la percepción del modo en el que se mueve la fuente emisora. Ha sido una percepción sonora caracterizada muy básicamente. Se han distinguido dos tonos, agudo y grave. Para poder entender los dos conceptos de grave y agudo, se puede decir que se ha considerado el tono agudo como el sonido más cercano a un silbido. Y el grave a motores de vehículos a bajas revoluciones.

Un ejemplo de esto sería:

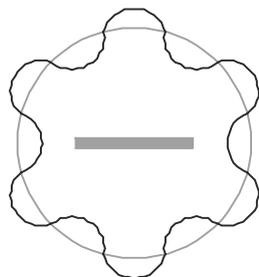


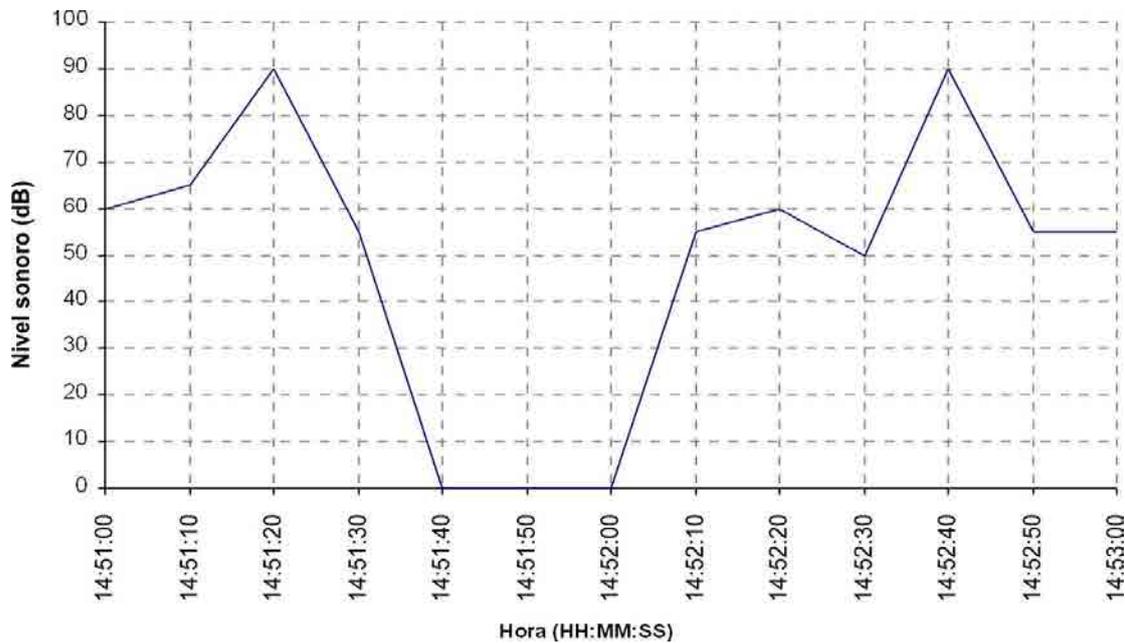
Imagen 10

Ejemplo de sistema gráfico para representar la percepción subjetiva de las características de una fuente sonora concreta

Este icono significaría:

Frecuencia (en el tiempo)	media
Nivel sonoro	medio
Tonalidad	grave
Movimiento de la fuente	lineal

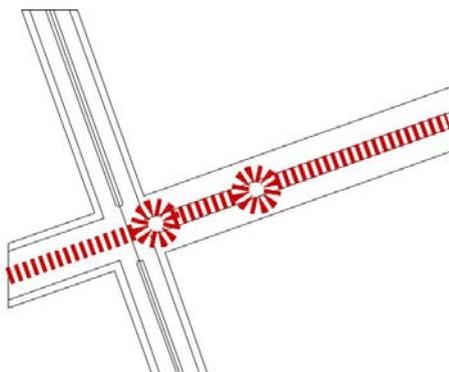
Tercer dato: Se ha recogido un modo de dibujar el nivel sonoro de la fuente según la percepción subjetiva en el periodo de observación del entorno.



Gráfica 3

Ejemplo de gráfica conceptual de la percepción del nivel sonoro obtenida tras la observación del fuente emisora analizada

Cuarto dato: Se ha recogido en la siguiente gráfica la posición y el movimiento habitual de la fuente dentro del escenario urbano analizado. Las líneas discontinuas indican el movimiento de la fuente, mientras que los círculos discontinuos indican bien una parada, en caso de un tranvía, o bien de una situación permanente, como la ubicación de un aire acondicionado.



Gráfica 4

Ejemplo de representación gráfica dónde se indica la posición y movimiento habitual del fuente emisora analizado dentro del escenario

Por lo tanto la tabla que recoge todo estos aspectos queda configurada de la siguiente manera:

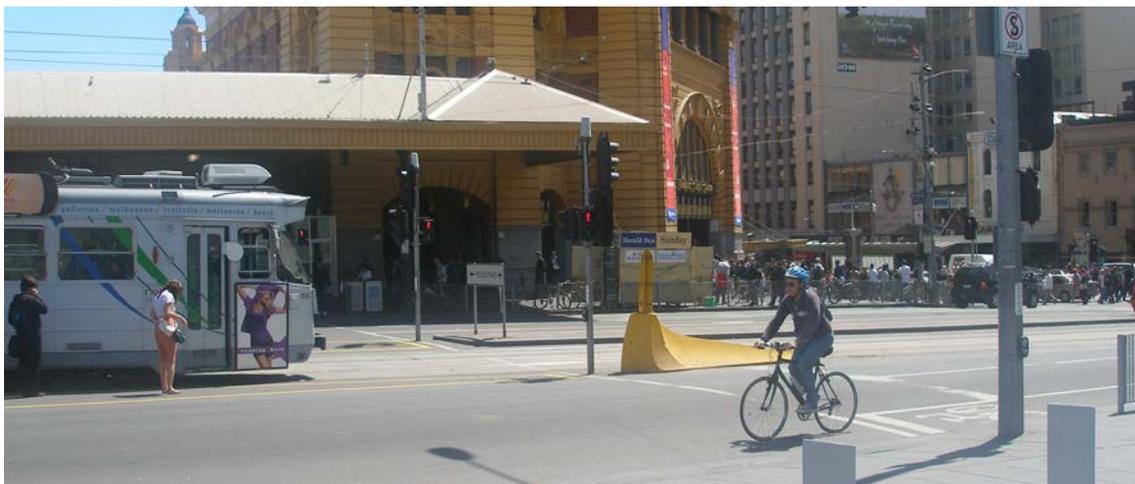


Imagen 11
Ejemplo de fuente emisora en la ciudad de Melbourne

Fuente emisora			
	Tranvía	Igual, respetan semáforos y paradas. Esto implica máximos y mínimos, único medio en la calle.	
<p><i>Gráfica temporal: los picos son debidos a su campana característica. No es un emisor continuo en el tiempo,</i></p>		<p><i>Los círculos indican los puntos donde por peligro de proximidad el tranvía hará sonar su campana característica.</i></p>	

Tabla 1
Ejemplo de tabla referente a la fuente emisora de la imagen anterior

Medio de transmisión (Entorno construido)

En este apartado se han recogido aquellos aspectos del escenario en los que un arquitecto y urbanista más pueden incidir. Es lo que propiamente denominamos arquitectura, o arquitectura urbana: la ciudad física. Esto es: las fachadas, huecos, plazas, calles, vegetación, elevaciones y demás elementos físicos que modifican el sonido emitido antes de llegar a los receptores (las personas).

Receptor (Personas)

En este apartado se identifican los comportamientos habituales de las personas en estos escenarios. Este apartado es el que requiere mayor observación. El comportamiento de las personas puede dar las pistas de la bondad o calidad acústica en ese escenario. Aquí se ha observado qué rincones prefieren las personas para hablar, dónde se paran, dónde se colocan las terrazas de los bares, protegidas, desprotegidas, etc.

Todos estos elementos se han recogido dentro de una ficha que se han identificado en cada uno de los cinco escenarios analizados.

5.3 Modelo de Ficha

Se ha propuesto un modelo de ficha de observación basada en la clasificación (fuente-medio-receptor) para recoger ordenadamente los elementos observados. En el anexo A se puede consultar todas las fichas recogidas en esta FASE I.

Fuente emisora			
Motorizados			Frecuencia
Particulares	Coches, motos, camiones		
Transporte publico	Autobús		
	Tranvía		
Maquinas			
	Acondicionamiento		
	Semáforos		
	Otras		
Naturaleza			
	Agua		
	Animales		
Música			
	Grabada		
	En directo		
Personas			
	Negocio		
	Ocio		
Medio de transmisión			
Urbano			
Fachadas	Huecos		
	Salientes		
	Línea de fachada		
Aceras	Paso		
	Estacionamiento		
	Escalera - Rampa		
Mobiliario urbano	Bancos - Asientos		
	Petos - Barandillas		
	Carteles - Expositores		
Para el transporte			
	Aparcamientos		
	Carriles		
	Transporte público		
Receptor			
Personas			
	Dinámicas		
	Estáticas		

Tabla 2. Modelo de ficha dónde se han recogido los elementos de un escenario urbano.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA FASE I

El análisis de los datos recogidos se ha dividido en los tres elementos anteriormente descritos: Fuente, Medio de transmisión y Receptor.

Fuente emisora

La fuente esta ligada fuertemente al mensaje que proporcionan y por lo tanto su clasificación depende de este mensaje. Las fuentes se han clasificado según la siguiente tabla:

F.1 Si el mensaje aporta información voluntaria.		
F.1.1 Artificial		
Transporte (Elementos de aviso), Máquinas, Música		
El mensaje tiene una finalidad, está pensado y diseñado, su frecuencia, tono, situación... y se produce con dispositivos artificiales mecánicos, electrónicos... objetos que no se pueden encontrar en la naturaleza tal cual.		<i>Ejemplo de una fuente emisora con un mensaje artificial voluntario</i>
F.1.2 Natural		
Elementos naturales, Personas		
El mensaje tiene una finalidad, esta pensado y diseñado, situación... pero a diferencia del otro caso se produce con elementos naturales, que se pueden encontrar en la naturaleza tal cual.		<i>Ejemplo de una fuente emisora con un mensaje natural voluntario</i>
F.2 Si el mensaje aporta información involuntaria.		
F.2.1 Artificial		
Transporte (Ruido tráfico), Maquinaria (Acondicionamiento, obras)		
El mensaje no tiene una finalidad. Es consecuencia de una actividad. Se produce con mecanismos mecánicos, electrónicos... objetos que no se pueden encontrar en la naturaleza tal cual.		<i>Ejemplo de una fuente emisora con un mensaje artificial involuntario</i>
F.2.2 Natural		
Naturaleza (Ríos, animales)		
El mensaje tiene no una finalidad. Es consecuencia de la presencia natural. Se produce por fenómenos naturales que se pueden encontrar en la naturaleza tal cual.		<i>Ejemplo de una fuente emisora con un mensaje natural involuntario</i>

Tabla 3
Clasificación de la fuente emisora según su mensaje

Medio de transmisión

Es el entorno físico de la ciudad, principalmente producto del urbanismo y la arquitectura. Los elementos físicos censados se han clasificado en dos grupos:

- Pasivos: Referentes a los elementos físicos que modifican la transmisión del sonido. En este grupo se incluye la superficie de los edificios y pavimentos urbanos que forman la envolvente del soundscape estudiado.
- Activo: Referentes a los elementos físicos del medio que son capaces de modificar las fuentes sonoras existentes en el entorno. Estas modificaciones pueden ser en número, situación, etc. Por ejemplo una rampa, un semáforo, es un elemento físico que modifica el flujo de vehículos y por lo tanto el soundscape.

E.1 Pasivo	
Fachadas	Mobiliario urbano
Medio físico que modifica la transmisión del sonido al intervenir en los procesos de reflexión y absorción.	
E.2 Activo	
Aceras	Para el transporte (Carriles, aparcamientos)
Medio físico que modifica las fuentes sonoras en sí. Puede modificarlas en numero, situación...	

Tabla 4
Clasificación del medio de transmisión según su forma de emisión de sonido

Receptor

Al final de todo el proceso el receptor es quien que analizará la señal recibida la cuál forma parte de su percepción del lugar. Esta percepción puede estar en consonancia o no con sus expectativas o necesidades. Esta expectativa con la que el usuario se encuentra en cada lugar es fundamental para establecer sus rangos de permisibilidad a los la señales acústicas recibidas y la percepción derivada de su valoración e interpretación. Intentan definir sus expectativas y necesidades puede ser interesante con el objetivo de poder detectar mejor los discomforts acústicos y plantear las soluciones más ajustadas.

R.1 Dinámico	
R.1.1 Pasivo	
Ocio	No ocio
<p>Persona en movimiento. Y no forma parte de una fuente sonora premeditada. Pasa inadvertido.</p>	
R.1.2 Activo	
Ocio	No ocio
<p>Persona en movimiento. Y forma parte de una fuente sonora premeditada. No pasa inadvertido.</p>	
R.2 Estático	
R.2.1 Pasivo	
Ocio	No ocio
<p>Persona estática. No forma parte de una fuente sonora premeditada. Pasa inadvertido.</p>	
R.2.2 Activo	
Ocio	No ocio
<p>Persona estática. Si forma parte de una fuente sonora premeditada. No pasa inadvertido.</p>	

Tabla 5
Clasificación del receptor según su forma de posicionamiento en el escenario

7. CONCLUSIONES DE LA FASE I

Resultados

Esta FASE I ha dado como resultado la identificación de diversos elementos o indicadores que se pueden agrupar según su naturaleza. Depende de su origen y la función que desempeñan en la configuración de un soundscape.

Conclusiones

Sobre la metodología utilizada

La identificación y clasificación de elementos han dado una visión global de la complejidad de un soundscape. Estos elementos configuran un soundscape dentro de un escenario.

Recopilar esta identificación y clasificación basadas en la observación ha ayudado a una mejor comprensión de la “sopa acústica” que se produce en un entorno urbano. En las próximas fases toda esta información se ha tenido que simplificar debido al gran número de indicadores que resultarían.

A continuación se han separado conclusiones teniendo en cuenta las tres familias individuales para los elementos identificados:

Fuente emisora

Cada fuente emisora parece depender de múltiples variables. Algunas fuentes emisoras parecen mostrar patrones de comportamiento que se repiten a lo largo del tiempo. Un soundscape se configura con la suma de diversas fuentes emisoras. Individualizar el sonido de cada fuente es útil para un análisis profundo del lugar. Pero no es útil para una caracterización de un soundscape para comparar con otros soundscapes, ya que se añaden demasiadas variables. Además, lógicamente, cualquier usuario no percibe las distintas fuentes emisoras de soundscape por separado, sino su mezcla.

Los gráficos conceptuales temporales de las fuentes emisoras han evidenciado que la temporalidad es un aspecto fundamental en la caracterización de un soundscape. Después de esta campaña de observación la variación a lo largo del tiempo presenta dos problemas a priori: ¿Cuánto tiempo es necesario para caracterizar un soundscape? ¿Es igual cualquier momento del día y de la semana para esta caracterización?

Medio de transmisión

Se han obtenido numerosos elementos que han mostrado repercusión en la configuración de un soundscape. Parece que los elementos más influyentes han sido los elementos capaces de modificar los flujos o comportamientos de las fuentes sonoras (vehículos y personas) y las superficies de rozamiento.

Estas dos categorías de elementos (modificadores y superficies de rozamiento) se pueden complejizar en gran medida, como ya se ha visto en esta FASE. Pero para la comparación entre escenarios se deben de refinar y simplificar.

Receptor

El receptor se ha mostrado como un elemento muy relativo, difícil de evaluar, tanto sus expectativas como su movimiento dentro del escenario. Se debe desarrollar un modo de introducir a los usuarios o sus actividades en la caracterización de un entorno sonoro.

Sobre la ciudad elegida

Melbourne (Australia) es una ciudad de cultura anglosajona y por lo tanto occidental. Su configuración urbana es occidental y lo que es más importante para esta Tesis: posee casi todos los ingredientes de una ciudad europea como pueda ser Barcelona. Su cultura social es similar y el comportamiento urbano de las personas también ha parecido serlo. Aunque la configuración total de la ciudad sí difiere con una ciudad como por ejemplo Barcelona, ya que presenta un modelo urbanístico de desarrollo de tipo norteamericano. Como ya se ha justificado, el caso del Downtown de Melbourne es diferente, ya que en él se desarrollan más actividades que las propiamente comerciales, también existen viviendas, comercio y locales de ocio.

Por lo tanto, desde esta perspectiva se ha considerado que puede utilizarse como modelo cercano de ciudad, en los aspectos físicos, sonoros y sociales, a las ciudades europeas, como por ejemplo Barcelona. Por lo que también se han considerado útiles los elementos identificados en esta FASE.

Recomendaciones para FASES posteriores

La observación proporciona muchos elementos de configuración de un soundscape. La observación recoge una percepción subjetiva de la realidad (más cualitativa), en este caso la del autor de esta Tesis. Para completar esta percepción subjetiva con una vertiente más objetiva de la realidad se pueden valorar métodos de medición (cuantitativos) para el sonido. Estos métodos cuantitativos se han valorado en las siguientes FASES de esta Tesis.

Existe gran cantidad de elementos identificados para el medio de transmisión, pero para la comparación entre escenarios se deben de refinar y simplificar.

Para caracterizar el receptor dentro de un soundscape puede ser posible realizar encuestas u otros métodos. En FASES posteriores será necesaria la búsqueda de bibliografía al respecto para encontrar un método útil de caracterización.

8. REFERENCIAS DE LA FASE I

Imágenes

Imagen 1	43
<i>Fuente: http://viajeteca.com/m/33</i>	
Imagen 2	43
<i>Fuente: http://blog.infoviajero.es/paris/torre-eiffel/</i>	
Imagen 3	44
<i>Fuente: Di Gabriele M., Maffei L, Aletta, F. (2010). Urban Noise Mapping Based on Emotional Dimensions. 1º EAA-EuroRegio 2010. Congress on Sound Vibration, Septiembre 2010, Ljubljana, Slovenia.</i>	
Imagen 4	45
<i>Fuente: http://castellonsinruidos-prensa.blogspot.de/2010/04/viernes-30-de-abril-de-2010.html</i>	
Imagen 5	45
<i>Fuente: www.sansebastianturismo.com</i>	
Imagen 6	47
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 7	48
<i>Fuente: www.hdfondos.com</i>	
Imagen 8	52
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 9	54
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 10	54
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 11	56
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	

Tablas

Tabla 1	56
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Tabla 2	58
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Tabla 3	59
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Tabla 4	60
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Tabla 5	61
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	

Gráficas

Gráfica 1.....	46
<i>Fuente: Maria N., Caroline C., Danièle D. (2010). Categories for Soundscape: Toward a Hybrid Classification. Congreso INTERNOSIE Junio, 2010. Lisboa, Portugal</i>	

Gráfica 2..... 46
Fuente: Maria N., Caroline C., Danièle D. (2010). Categories for Soundscape: Toward a Hybrid Classification. Congreso INTERNOSIE Junio, 2010. Lisboa, Portugal

Gráfica 3..... 55
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4..... 55
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 3

FASE II

Evaluación de mediciones acústicas

INTRODUCCIÓN a la FASE II

Fundamentos acústicos

En este capítulo se han introducido brevemente los conceptos fundamentales del sonido que han servido de base para el siguiente paso de la investigación.

Propiedades básicas del sonido

1. Onda sonora

El sonido es la energía en forma de vibración mecánica que se transmite a través de fluidos, sólidos o gases. Esta energía hace vibrar las partículas del material que transmite el sonido en la dirección de la propagación de la onda. El sonido se desplaza en forma de onda longitudinal. El tiempo que transcurre entre dos puntos equivalentes de una onda se denomina periodo **T**, es decir, el tiempo que tarda una partícula en completar un ciclo de vibración.

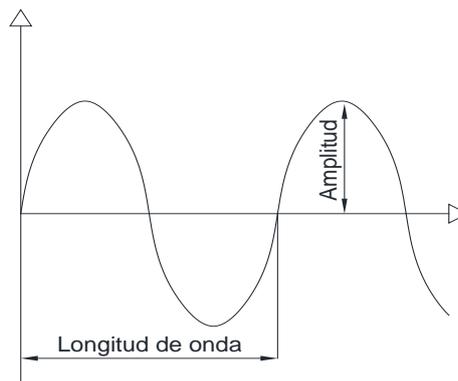


Imagen 1

Representación gráfica de la longitud de onda y amplitud de una oscilación sonora

El punto instantáneo dentro del ciclo de una onda acústica se denomina **Fase**. La variación máxima del desplazamiento de la onda se denomina **Amplitud**. En general, las oscilaciones sonoras se repiten en el tiempo, la magnitud que mide el número de oscilaciones por unidad de tiempo se denomina frecuencia **f**, y su unidad de medida es el Hercio **Hz**. La distancia entre dos puntos con características iguales dentro de una misma onda se denomina longitud de onda λ . La velocidad de propagación del sonido en unas condiciones normalizadas de presión atmosférica (760mm Hg) y a una temperatura de 20°C es de $c=340$ m/s. Y la relación entre la frecuencia, el periodo, velocidad del sonido y longitud de onda es la siguiente:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{c}{\lambda}$$

«Es importante tener presente en cualquier caso que, dado que se trata de un fenómeno ondulatorio, el sonido posee todas las propiedades generales de las ondas. En consecuencia, los sonidos pueden ser reflejados y refractados. Pueden superponerse también unos con otros para dar lugar a los fenómenos de interferencia». [1]

2. Potencia, presión e nivel de intensidad sonora

Las fuentes sonoras emiten sonido, y este sonido tiene una potencia sonora. E indica la cantidad de energía que se transmite por unidad de tiempo. Su unidad de medida es el vatio **W**. «La presión acústica se define como la diferencia entre la presión instantánea y la presión atmosférica estática» [2]. La presión instantánea es causada por la propia onda sonora. Y la unidad de medida es el N/m^2 . El nivel de intensidad sonora, es la media de la energía sonora que se transmite por unidad de área perpendicular a la dirección de la propagación de la onda.

$$I = \frac{P}{N}$$

Siendo **P** la potencia sonora y **N** la unidad de área perpendicular a la propagación. Para una fuente sonora puntual en la que el sonido se emite y se propaga en todas las direcciones el cálculo de su intensidad se determina por la ecuación:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

Siendo **r** la distancia entre el receptor y el foco de la fuente sonora. Y se ve que la intensidad es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, lo que indica que el nivel de intensidad sonora no disminuye linealmente con la distancia, sino exponencialmente.

3. Niveles sonoros

El nivel de intensidad sonora se puede considerar desde dos puntos de vista, el físico o el fisiológico. El rango de intensidad entre el umbral de audición y el umbral del dolor es cerca de 10^{12} . Por esta razón representar el rango humano de audición requeriría una escala muy grande. Además de que el oído humano no responde linealmente al sonido. El oído no percibe el doble de sensación con dos fuentes sonoras que con solo una fuente. Debido a que la sensación sonora se comporta aproximadamente según la ley de Weber-Fechner, que establece que la magnitud de la sensación percibida es proporcional al logaritmo del estímulo que la provoca, es decir: $L = k \log I$ donde **L** sería el nivel de sensación percibida, **I** es

[1] García Rodríguez, A. (2006). *La Contaminación acústica: fuentes, evaluación, efectos y control*. Sociedad Española de Acústica, DL. Madrid.

[2] www.wikipedia.org

el valor del estímulo y **k** es una constante adimensional. En acústica la unidad que se usa es el **dB**. Se pueden calcular los niveles sonoros de potencia, presión e nivel de intensidad sonora según las siguientes fórmulas:

$$\text{Potencia sonora (P): } L_p = 10 \log \left[\frac{P}{P_0} \right] \text{ (dB)}$$

$$\text{Nivel de intensidad sonora (I): } L_I = 10 \log \left[\frac{I}{I_0} \right] \text{ (dB)}$$

$$\text{Presión sonora (p): } L_p = 20 \log \left[\frac{p}{p_0} \right] \text{ (dB)}$$

Siendo $P_0=10 \text{ W}$, $I_0=10 \text{ W/m}$ y $p_0=20 \text{ N/m}$

4. Bandas de frecuencia

Los sonidos son complejos y contienen muchas frecuencias de oscilación, formando un espectro sonoro específico para cada sonido. Un sonido se puede descomponer en intervalos de frecuencias. Estos intervalos de frecuencias se denominan **bandas de frecuencia**. Los intervalos estandarizados más comunes son las bandas de octava y las bandas de tercio de octava, que son la banda de octava dividida en tres. El conjunto de todas las bandas de frecuencia en las que se descompone un sonido se denomina espectro de frecuencias y representa la cantidad de nivel sonoro, que corresponde a cada intervalo de frecuencia.

El centro de las bandas de octava es el medio geométrico de la banda y sus valores estandarizados según la norma ISO 266 son: 31.5Hz, 63Hz, 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz, 4kHz, 8kHz y 16 kHz.

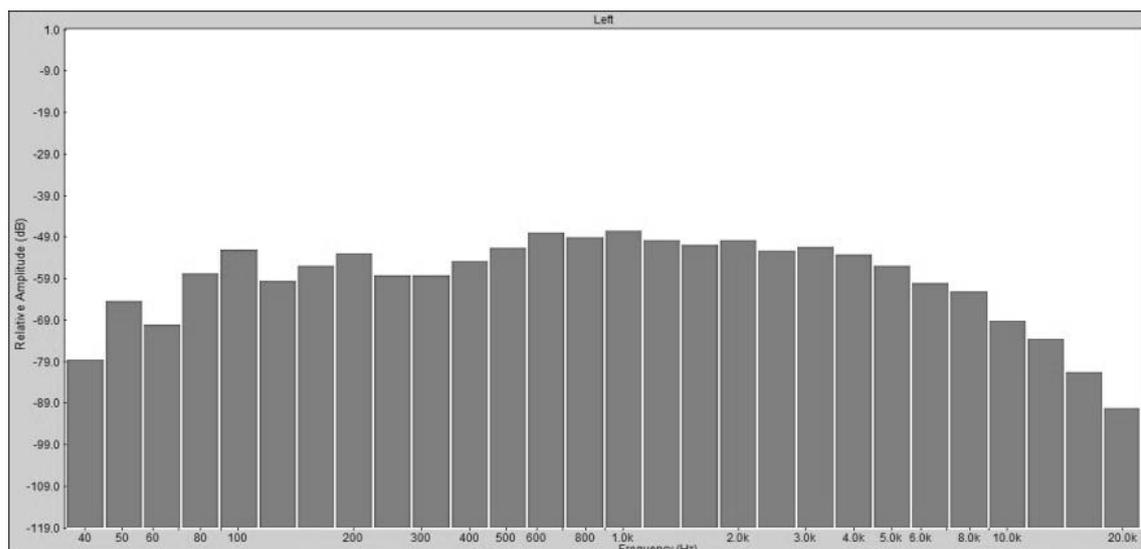


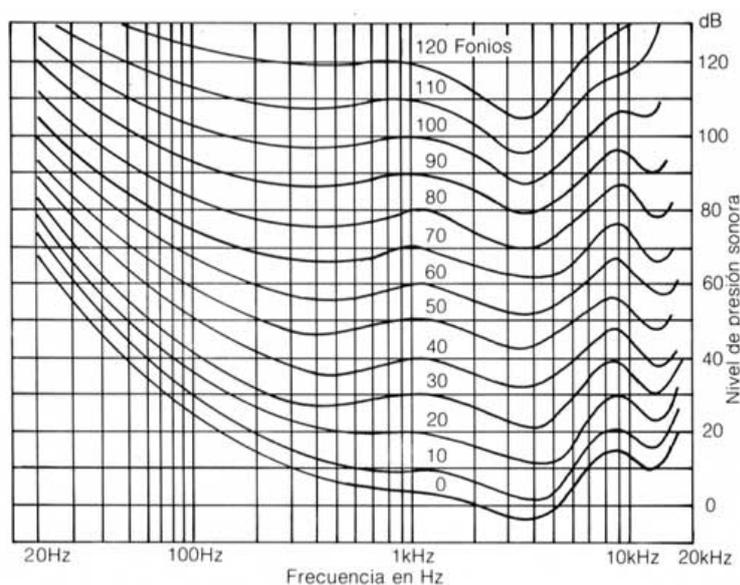
Imagen 2

Ejemplo de espectro de frecuencias de un sonido concreto, distribuido en bandas de tercio de octava

5. Campo de percepción sonora

El oído humano es capaz de percibir sonidos entre un rango aproximado comprendido entre los 20Hz y los 20 kHz. Por debajo de los 20Hz se sitúan los denominados infrasonidos y por encima de los 20 kHz los denominados ultrasonidos. También se sabe que por debajo de 15 dB un oído humano normal no es capaz de percibir sonido alguno y que por encima de 140 dB el oído puede sufrir daños físicos.

En los años 30 del siglo XX se establecieron las primeras curvas isofónicas, como resultado al trabajo de los físicos norteamericanos Fletcher y Munson. Estas curvas representan los niveles de la percepción sonora equivalente en fonios, que es la unidad que usaron para ello. Una misma curva fónica representa la misma sensación auditiva, aunque los dB sean diferentes. Estas curvas se normalizaron en la norma ISO 266:2003.



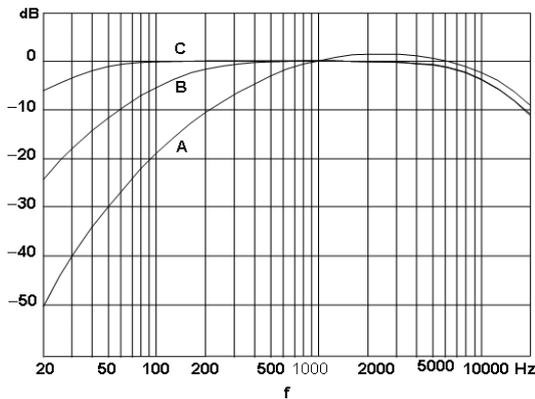
Grafica 1
Gráfico de las curvas isofónicas

Tal como se observa la sensación de nivel de intensidad sonora que produce un sonido de 40 dB y emitido a 1000Hz es igual a la sensación producida por un sonido de 75 dB y emitido a 30Hz.

6. Ponderación de los niveles sonoros

Cuando se evalúa mediante equipos de medición el nivel de intensidad de un sonido, se debe tener en cuenta que el resultado no refleja exactamente la sensación del oído humano, ya que como se ha presentado antes, el oído no percibe proporcionalmente el nivel de intensidad sonora. Se debe modificar pues el resultado de la medición para equiparlo a la percepción del oído humano. Esto se hizo a través de unas curvas de ponderación, normalizadas posteriormente, y que se denominan curvas de ponderación A, B y C. La A se

diseño para adaptar los niveles medios y bajos, la B para niveles de nivel de intensidad sonora más altos y la C para niveles de nivel de intensidad sonora muy altos.



Grafica 2
 Grafico de las curvas de ponderación A, B y C según las frecuencias

7. Efectos del ruido

Entendiendo ruido como el sonido molesto, desagradable e incluso perjudicial para la salud. Los efectos del ruido en la salud de las personas son numerosos: disminuye el rendimiento de trabajo o alteran el sistema inmunitario entre otros. El nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) en España establece una limitación del nivel de nivel de intensidad sonora dentro de las viviendas, según el tipo de estancia y con relación al nivel del nivel de intensidad sonora exterior.

Tabla 2.1 Valores de aislamiento acústico a ruido aéreo, $D_{2m,nT,Atr}$, en dBA, entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido día, L_d .

L_d dBA	Uso del edificio			
	Residencial y hospitalario		Cultural, sanitario ⁽¹⁾ , docente y administrativo	
	Dormitorios	Estancias	Estancias	Aulas
$L_d \leq 60$	30	30	30	30
$60 < L_d \leq 65$	32	30	32	30
$65 < L_d \leq 70$	37	32	37	32
$70 < L_d \leq 75$	42	37	42	37
$L_d > 75$	47	42	47	42

⁽¹⁾ En edificios de uso no hospitalario, es decir, edificios de asistencia sanitaria de carácter ambulatorio, como despachos médicos, consultas, áreas destinadas al diagnóstico y tratamiento, etc.

Tabla 1
 Tabla extraída del documento básico DB-HR del CT

8. Propagación exterior

Varios aspectos se deben de tener en cuenta a la hora de la evaluación de la propagación exterior del sonido. Se deben considerar dos aspectos importantes en la recogida de datos como son el condicionante de la climatología y la reverberación ambiental.

La climatología influye a través de la variación de las propias condiciones atmosféricas. Uno de los medios fundamentales por donde se transmite el sonido es el aire, y las condiciones atmosféricas modifican las condiciones físicas del aire. El aire puede absorber parte de la energía sonora que a través de él se transmite. «*Generalmente, el efecto es solo significativo en grandes distancias y en frecuencias altas. Típicas atenuaciones en 100m causadas por aire a 20°C y humedad relativa del 50% son las siguientes: 0.032dB en 125Hz, 0.072dB en 250Hz, 0.18dB en 500Hz*», 0.42dB en 1kHz, 1.0dB en 2kHz, 2.6dB en 4kHz, y 8.3dB en 8kHz [3]. La absorción del aire bajo varias condiciones de temperatura y humedad se establece en la normativa ANSI (1999a) [4]. La velocidad del viento también influye en la toma de registros, incluso pudiendo modificarlos sustancialmente. El efecto de la temperatura atmosférica también puede modificar la evaluación de la propagación exterior del sonido.

En esta tesis no se han tenido en cuenta las posibles modificaciones producidas por las condiciones atmosféricas por las siguientes razones:

- Porque el objetivo de esta investigación ha sido la comparación en igualdad de condiciones, y no la exactitud de las mediciones conforme a los parámetros normalizados. Además de que los registros tomados en las diferentes campañas realizadas en Logroño y Barcelona, se han realizado en el mismo día o días cercanos y con condiciones atmosféricas similares.
- Porque se han protegido los micrófonos de los diferentes aparatos con los que se han llevado a cabo los registros, con cortavientos adecuados.

[3] Lawrence, A. (1970). *Architectural acoustics*. London: Elsevier.

[4] Kang, J. (2007). *Urban sound environment*. Taylor & Francis incorporating Spon, London.

DESARROLLO de la FASE II

La búsqueda de una forma completa, compacta y simple caracterización pero a la vez compacta y simple de un soundscape ha sido una de los objetivos de esta tesis. *Completa* para que englobe la mayor cantidad de aspectos, *compacta* y *simple* para que sea factible su valoración y comparación entre diferentes soundscapes.

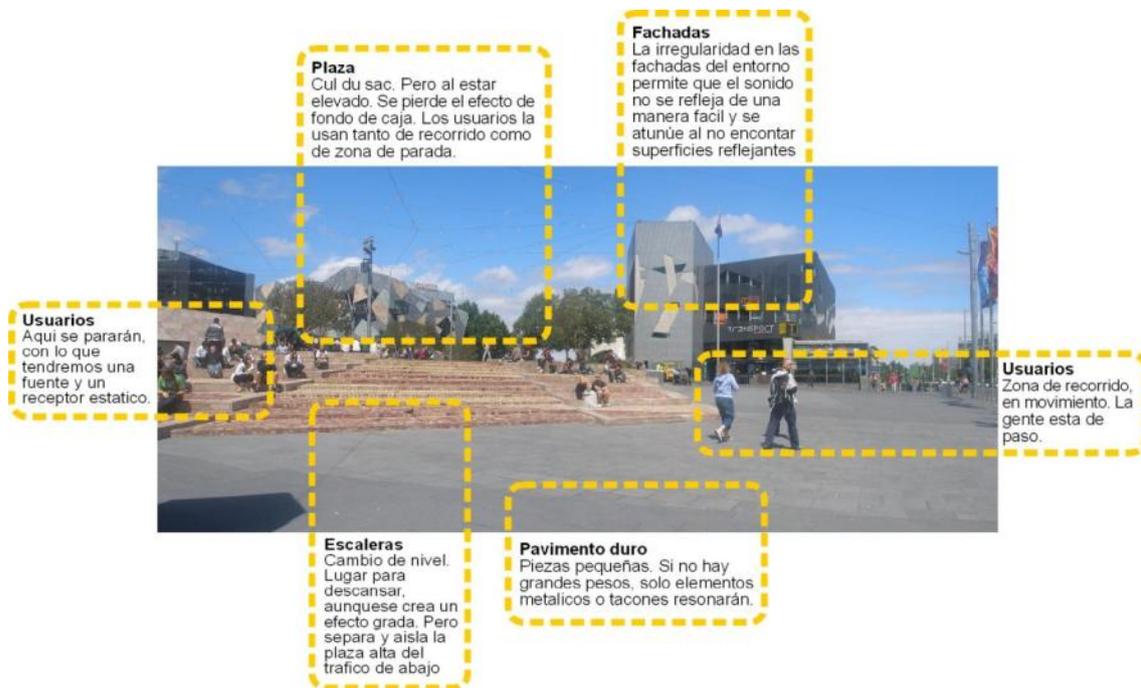


Imagen 3

Ejemplo de uno de los escenarios urbanos censados en Melbourne con elementos a estudiar

Se ha realizado una primera campaña de reconocimiento cualitativo en la ciudad de Melbourne, identificando los diferentes elementos que forman un soundscape a través de un método inicialmente descriptivo.

Mientras que en la FASE I aplicada en Melbourne las herramientas de análisis han sido la observación personal basada en el triángulo de la comunicación (**fuentes/señal** → **medio de transmisión** → **receptor**). Esta FASE II se ha basado en el análisis de grabaciones digitales de sonido ambiental tomadas mediante diferentes aparatos de registro de medición y su posterior procesamiento con un software informático.

1. OBJETIVOS DE LA FASE II

El objetivo fundamental de esta FASE II ha sido aplicar nuevas herramientas de análisis con capacidad más objetiva de medición y procesamiento que complementen el análisis cualitativo. Por lo tanto, con este nuevo estudio se ha pretendido evaluar si estas mediciones pueden servir para caracterizar cuantitativamente un soundscape urbano.

Un objetivo complementario ha sido la evaluación de la capacidad de estas herramientas para la caracterización. Evaluar si estas nuevas herramientas son capaces de identificar los elementos que configuran un soundscape. Evaluar si tiene la capacidad de mostrar diferencias y similitudes entre los diferentes soundscapes. A su vez esto puede permitir el análisis de correlación entre sonido y escenario urbano.

2. PLANIFICACIÓN DE LA FASE II

En la FASE II se ha aplicado un método basado en la recogida de señales acústicas mediante instrumentos de medición y grabación digital. Con la finalidad de aportar una valoración cuantitativa a la caracterización de un soundscape. En esta FASE se ha evaluado la viabilidad de este método para el estudio de soundscapes. La metodología de trabajo se puede resumir en cinco puntos:

- El primero, análisis y reflexión de bibliografía.
- El segundo punto dónde se expone el campo de estudio y la justificación de los casos elegidos.
- El tercer punto, dónde se proponen las herramientas a utilizar para las mediciones y recogida de datos.
- El cuarto punto que corresponde a la recogida y procesamiento de los datos y mediciones recogidos en los casos de estudio.
- El quinto punto que es análisis y las conclusiones parciales extraídas de esta FASE II.

3. MARCO TEÓRICO DE LA FASE II

Después de una búsqueda de referencias sobre metodologías de estudio cuantitativo aplicadas a soundscapes urbanos, se han resumido las más relevantes para esta investigación.

- De Coensel, B. En su tesis doctoral *Introducing the Temporal Aspect in Environmental Soundscape Research* [5], realiza una investigación sobre el impacto del flujo variable de las fuentes sonoras en un soundscape a lo largo del tiempo. Presenta herramientas matemáticas y conceptuales para el estudio de un soundscape, como la transformada de Fourier y el análisis del espectro.
- Can, A. Leclercq, L. Lelong, J. Botteldooren, D. En el artículo *Traffic noise spectrum analysis: Dynamic modeling vs. experimental observation* [6]. Presenta una metodología de comparación entre una simulación informática y una medición real en

[5] De Coensel, B. (2007). *Introducing the Temporal Aspect in Environmental Soundscape Research*. PhD dissertation. Faculty of Engineering Sciences, Ghent University, Belgium, Feb. 6, 2007

[6] Can, A., Leclercq, L., Lelong, J., Botteldooren, D. (2010). *Traffic noise spectrum analysis: Dynamic modeling vs. experimental observation*. Applied Acoustics.

varios lugares de una misma vía urbana. Esta investigación tiene como objetivo comparar modos de evaluar el espectro sonoro del tráfico. Tres son los métodos que van a comparar, aunque dos se podrían englobar en una categoría. Con lo que se podrían clasificar en:

- Experimentación real: Se trata de unas mediciones realizadas en Paris, en una calle de 3 carriles. Se toman unos puntos en el escenario estudiado, se anotan flujos de coches, paradas, arrancadas, itinerario de los autobuses, etc. (Plano inferior)

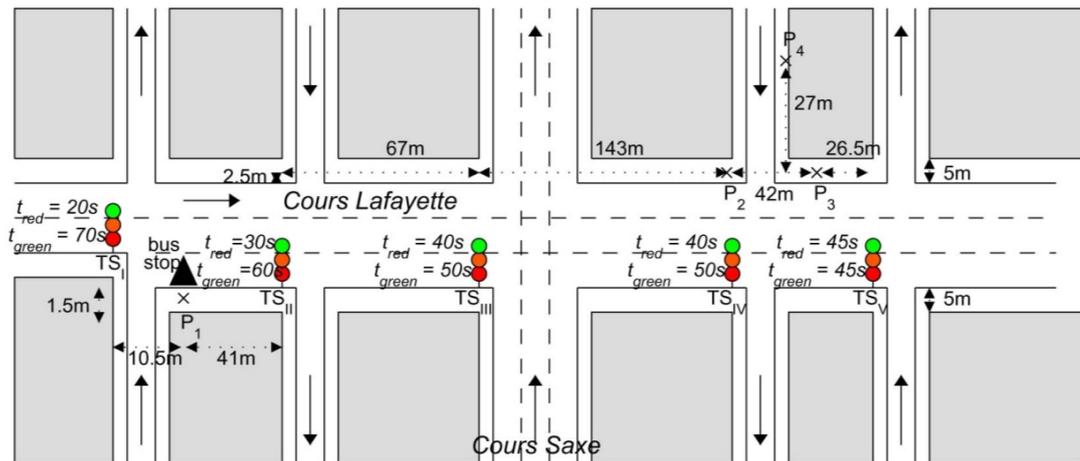


Fig. 1. Experimental site. Position of traffic signals TS and their green time t_g and red time t_r durations.

Imagen 4

Plano extraído del artículo presentado por sus autores en el portal “elsevier”

- Representación de modelos, modelos matemáticos de estimación, con la equiparación de las variables recogidas previamente en el trabajo de campo. Se pueden dividir en dos:
 - . Modelo estático: Cálculo de un modelo con el flujo del tráfico a velocidad constante.
 - . Modelo dinámico: Cálculo con variación de la velocidad del flujo de vehículos.

Se comparan sus cálculos, viéndose que el modelo estático difiere de la realidad al no tener en cuenta la variación de velocidad del flujo de tráfico.

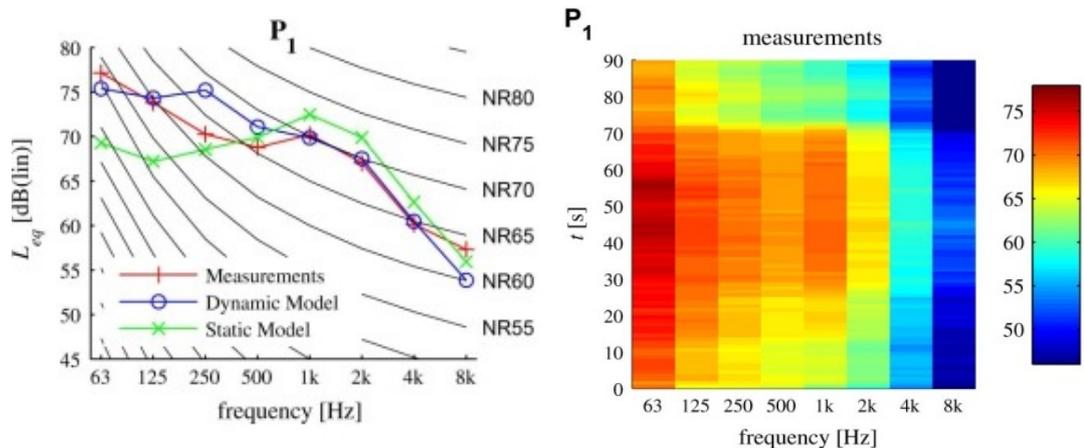


Imagen 5

Gráficas para representar las características sonoras del registro estudiado

- J. Kang y su Grupo de Acústica de la Universidad de Sheffield ha desarrollado y ensayado varias metodologías de caracterización de un soundscape. Dos de los campos que han desarrollado han sido; uno, la simulación informática de la transmisión del sonido en la ciudad y un segundo campo focalizado en la percepción de las características del sonido por parte de los usuarios a través de campañas de entrevistas, ambos presentados en publicaciones como el libro *Urban Sound Environment* [7]. Dónde han estudiado en varios espacios urbanos de diversos países como la gente percibe psicológicamente un lugar a través de la acústica y posteriormente relacionan esta percepción con los elementos que existen en ese lugar. Es una metodología basada en la correlación entre la percepción subjetiva – objetiva.

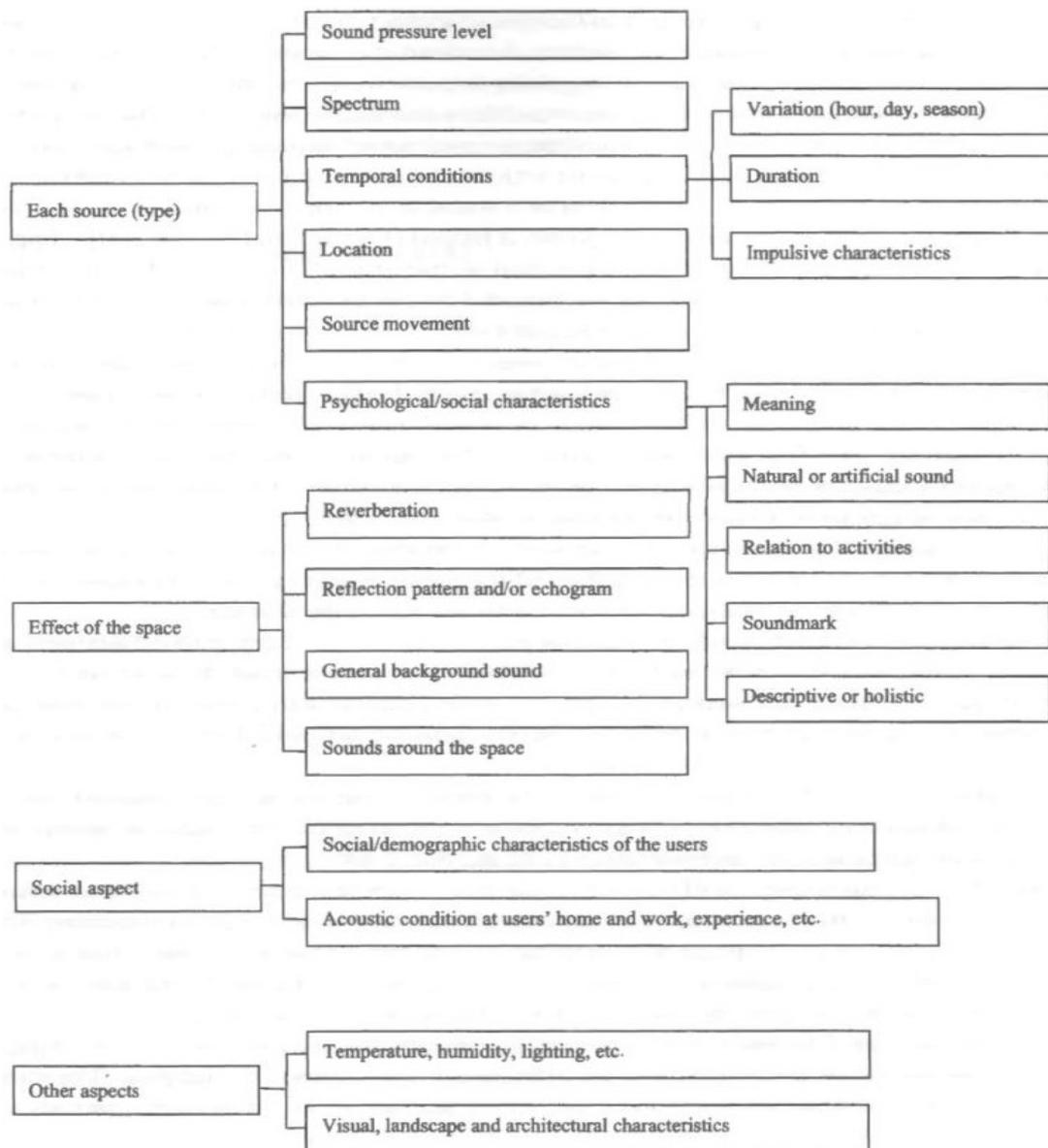


Imagen 6

Modelo para describir el soundscape de espacios urbanos abiertos

[7] Kang, J. (2007) *Urban sound environment*. Taylor & Francis incorporating Spon, London.

- Gortari Ludlow, J. [8]. En su tesis doctoral ha buscado también una caracterización acústica de los espacios urbanos que analiza, pero desde un punto de vista de la comparación. Ha utilizado como aparatos de registro una grabadora digital y un sonómetro CESVA SC-310. Evaluando estos registros según su nivel sonoro, su presión sonora y su variación a lo largo de un recorrido.
- Consultas a expertos. En este caso se ha visitado a Miguel García, catedrático del Departamento de Ingeniería Electrónica de la UPC. El tema de la reunión ha sido para conocer software relativo al procesamiento acústico.

Conclusiones de la bibliografía estudiada en la FASE II

La investigación presentada por De Coensel, B. sirve como apoyo a esta investigación sobre cómo un soundscape cambia en el tiempo y aporta nuevas herramientas matemáticas y conceptuales para el estudio de un soundscape, como la transformada de Fourier y el análisis del espectro.

La investigación presentada por Can, A. Leclercq, L. Lelong, J. Botteldooren, D. es relevante para esta FASE el método para definir unas mediciones con espectro de frecuencias y que en una de sus conclusiones apunta la existencia de muchas variables a la hora de medir en el campo real (distancia a la calle, carriles, forma, etc.). Esta investigación aporta además dos puntos importantes. Primero, la consolidación de métodos de medición y tratamiento de datos sonoros. Como la “Fast Fourier Transform” FFT. Y un segundo punto que demuestra la variación de dos mediciones en un mismo escenario urbano, pero en lugares diferentes.

La metodología presentada por Kang, J. ha ayudado a evidenciar las dificultades de la percepción humana para caracterizar un soundscape con todos sus elementos. Este autor presenta en el libro mencionado un diagrama donde organiza y clasifica los diversos elementos que conforman y caracterizan un soundscape.

La entrevista con García, M. ha sido un gran aporte para el entendimiento de conceptos técnicos y sobretodo del procesamiento de los registros acústicos, así como de su lectura e interpretación. Además ha presentado algunos de los programas que se han utilizado en esta investigación y ha colaborado en su utilización racional para la búsqueda de los objetivos propuestos.

[8] Gortari Ludlow, J. (2010). *La revalorización de los sonidos y la calidad sonora ambiental del Barrio Gótico, Barcelona*. Departamento de Construccions Arquitectòniques I. UPC. Barcelona.

La tesis de Gortari Ludlow, J. proporciona una caracterización por comparación. Aporta una metodología de registro de datos bien argumentada y con la presentación de la problemática asociada muy útil para esta investigación.

4. HIPÓTESIS DE LA FASE II

- La primera hipótesis que se ha intentado demostrar en esta FASE ha sido: ¿Cómo depende el perfil sonoro de un soundscape respecto a:
 - el lugar dónde se realiza el registro sonoro?
 - el momento en el que se realiza el registro sonoro?
 - la duración del registro sonoro?
- Una segunda hipótesis de este estudio ha sido: ¿Las mediciones con estas herramientas reflejan las diferencias existentes entre los diferentes soundscapes urbanos?

5. DESARROLLO DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA: FASE II

5.1 Campo de estudio

Para esta FASE II se necesitaba una ciudad con diversidad de tejidos urbanos claramente diferenciados. Por diversas circunstancias y por logística la ciudad elegida para la realización de las mediciones ha sido en esta FASE Logroño. Logroño es la capital de La Rioja (España) y es una ciudad de 150.000 habitantes y con más de 1000 años. Estas características permiten una buena variedad de escenarios urbanos, dónde se hallan soundscapes diferenciados. Ya que existen dentro de la ciudad diferentes trazados urbanos de distintas épocas y desarrollos urbanísticos. Se han realizado las oportunas mediciones en diversos escenarios seleccionados con el fin de verificar las dos hipótesis anteriormente presentadas.

Para verificar la primera hipótesis se han seleccionado dos escenarios urbanos en función de sus características urbanas. Para cada aspecto de la primera hipótesis se ha seleccionado un escenario o diferentes situaciones dentro de un mismo escenario.

- Para el primer punto: *El lugar de la medición*. Se han buscado escenarios que proporcionasen varias situaciones diferenciadas dentro de cada escenario para la comparación de sus mediciones. En este caso la Gran Vía y la calle de San Antón.



Imagen 7
Calle de San Antón



Imagen 9
Plano de Logroño y situación del escenario

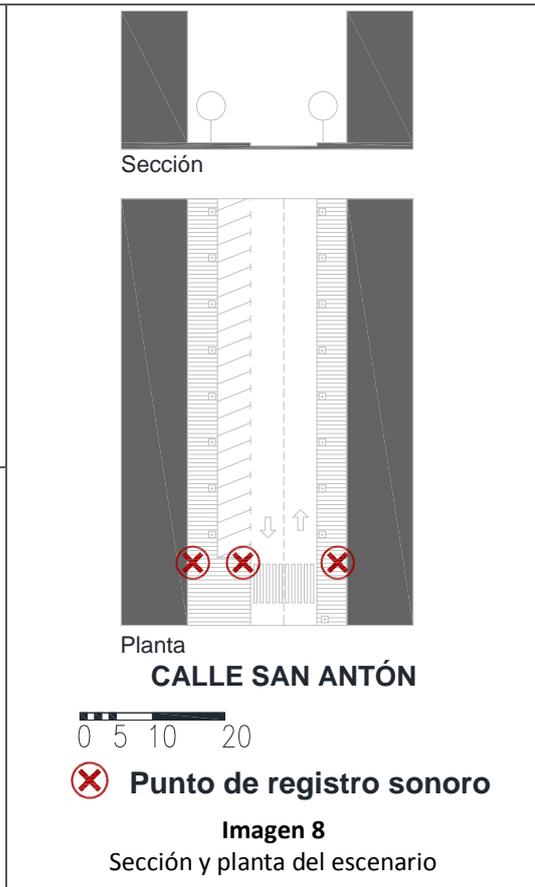


Imagen 10
Gran Vía

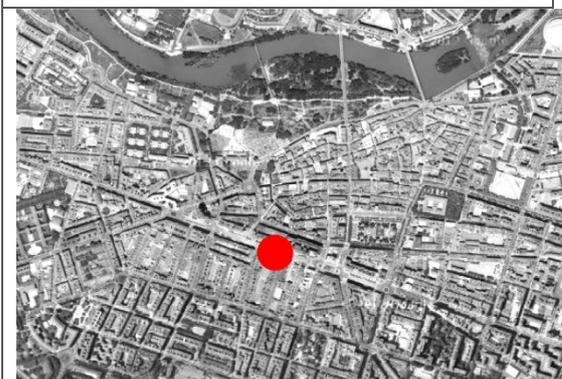
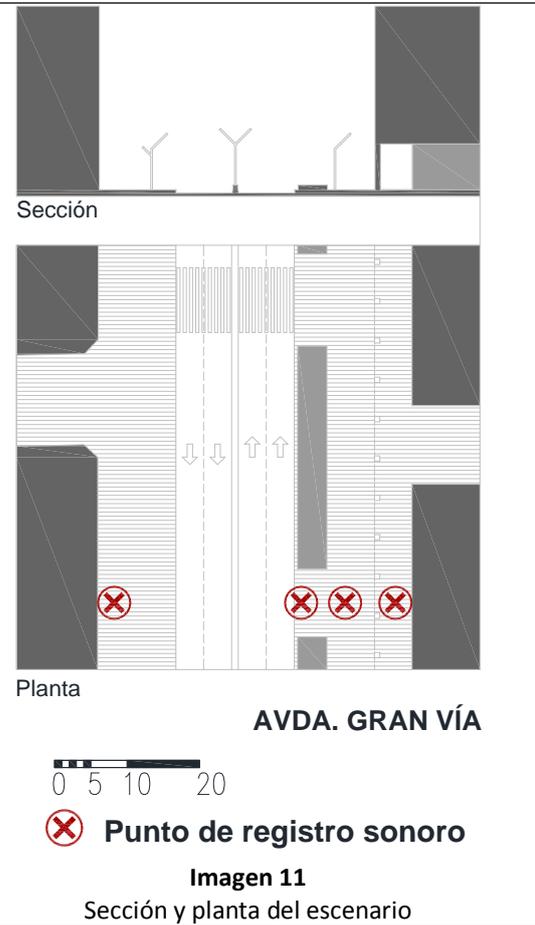


Imagen 12
Plano de Logroño y situación del escenario

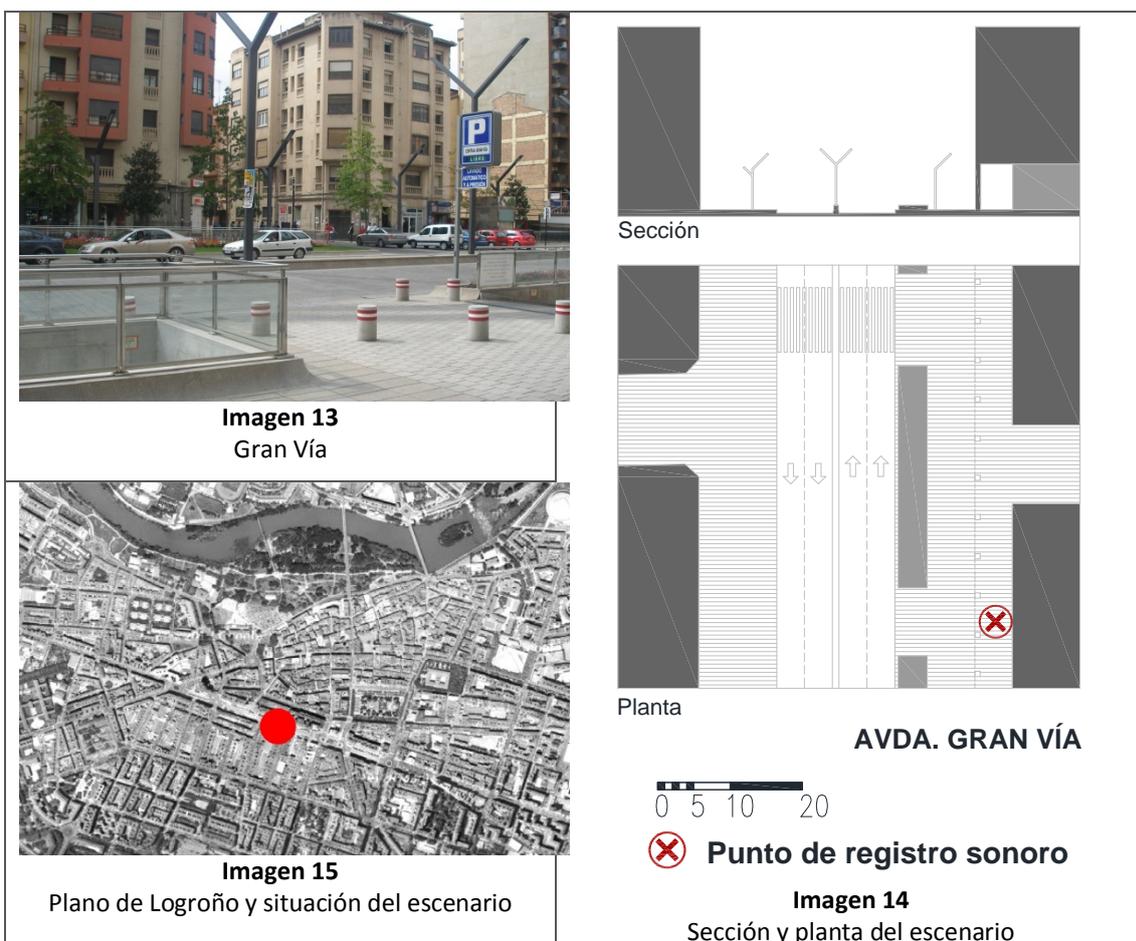


Y los puntos elegidos para estudiar. La elección de los puntos de registro sonoro se justifica porque se han buscado puntos a lo largo de la acera transita por personas que reuniese las siguientes condiciones:

1. No obstaculizar la marcha de las personas que se desplazan por la acera.
2. El punto de registro haya sido lo más similar a la trayectoria de las personas que se desplazan por la acera.

En la Gran Vía una de las aceras es más ancha, en este caso se ha decidido tomar un registro en una zona intermedia.

- Para el segundo y tercer punto: El momento y la duración. Se ha escogido el escenario de la Gran Vía. Para analizar el momento se han realizado mediciones a las 16.23 h, 17.32 h y a las 21:02 h. Para analizar la duración se han escogido los intervalos de tiempo de registro estudiados han sido de 30 segundos, 1 minuto, 3 minutos, 5 minutos y 15 minutos.



Para la verificación de la segunda hipótesis se han seleccionado escenarios urbanos con características claramente diferenciadas. Partiendo de una clasificación básica de los tramas urbanas se han buscado ubicaciones urbanas en:

- Centro histórico, tejido más compacto e irregular.
- Ensanche de diversas épocas, siglo XIX, XX y XXI.
- Polígono industrial.

Se ha pretendido escoger escenarios urbanos que representen diferentes modelos históricos de ciudad. Ligadas a unas características urbanas determinadas y que sean una muestra heterogénea de las diversas morfologías urbanísticas que existen en las ciudades modernas españolas. En la siguiente imagen se ha presentado el plano de Logroño con la ubicación de los respectivos escenarios escogidos.

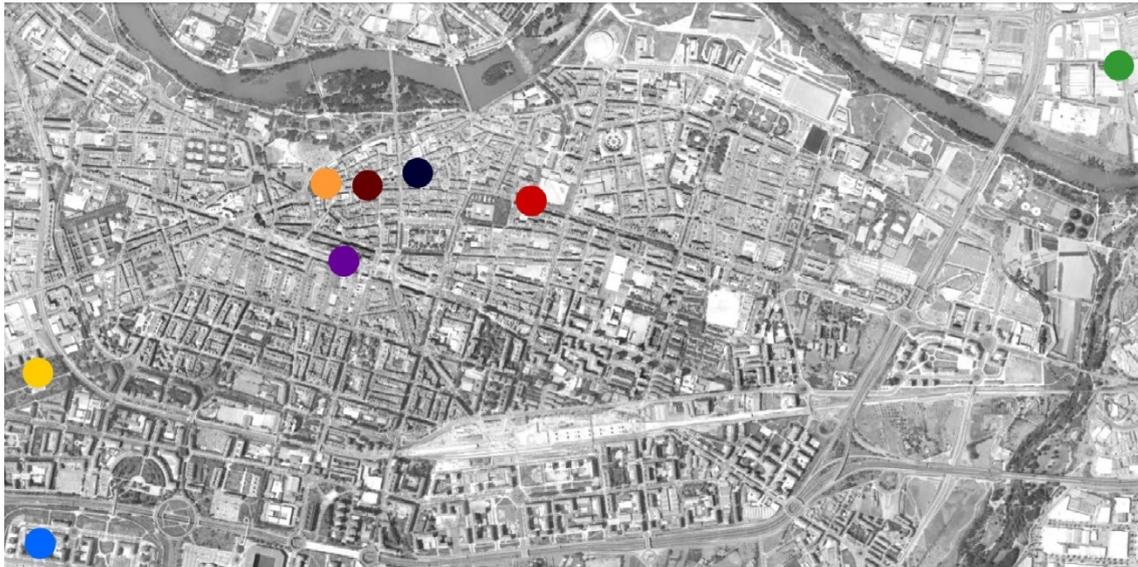


Imagen 16

Plano de Logroño con los ocho escenarios seleccionados

A continuación se ha detallado la planta cartográfica próxima de los ocho escenarios escogidos. Se evidencia a través de su trazado que se trata de escenarios urbanísticamente claramente diferenciados.

**Imagen 17**

Plantas de los escenarios analizados y su denominación en esta FASE II

Los siete días de la semana, desde el punto de vista de los horarios de lo que se puede considerar la mayoría de la población, se puede clasificar en tres tipos. 1. Días laborables, de lunes a viernes, 2. laborable-festivo, el sábado y 3. festivo, el domingo. Esta clasificación no es aplicable a la totalidad de la población, pero en general es una clasificación válida para el calendario de la gran mayoría de los ciudadanos.

Esta división laboral de la semana implica flujos diferenciados de los de personas durante la semana. Según la experiencia del autor de esta investigación algunos ejemplos de estos cambios de flujos son los siguientes:

- El centro histórico de Logroño por lo general se densifica más un sábado que cualquier otro día de la semana.
- Las calles con tráfico rodado se colapsan los días laborables especialmente en la franja de entrada o salida del trabajo.

Se han propuesto, en base a lo anteriormente expuesto, tres días de registros para cada escenario. Uno para cada tipología de día (Laboral, Laboral-festivo, Festivo). Cada una de estas zonas se ha estudiado con registros de 1 y 3 minutos.

5.2 Equipo de registro

Se han utilizado como aparato de registro: un dispositivo MP4 marca Zipy, con micrófono incorporado y como aparato de medición: un sonómetro, marca CESVA, modelo SC-160, con posibilidad de espectrómetro, y para los registros gráficos una cámara fotográfica compacta digital OLYMPUS SP-350.

Para el análisis posterior de las grabaciones digitales se han utilizado varios programas como software de procesamiento:

1. **CAPTURE STUDIO**: Proporcionado por CESVA. Propuesto para el tratamiento directo de los registros obtenidos con el sonómetro-espectrómetro.
2. **WAVEPAD Sound Editor** (v 4.24). Distribuido por NCH Software. Con el que se ha obtenido el análisis de frecuencias (a través de FFT) y un análisis temporal de frecuencias (a través de TFFT).
3. **AUDACITY 1.13.12-Beta** (Unicode). Distribuido Audacity Team. Propuesto para el procesamiento del espectro para su posterior comparación.
4. **Minitab** (v 15.1.0.0). 2006 Minitab Inc. Propuesto como procesador matemático de datos.

Es necesario definir dos conceptos matemáticos que se han utilizado en esta FASE y en las siguientes para la obtención de datos relacionados con el espectro sonoro de un sonido. Para obtener de los espectros por frecuencias de los archivos digitales de los registros sonoros, el software utilizado en esta tesis utiliza la función matemática **FFT**: Es la abreviatura usual (del inglés Fast Fourier Transform) de un eficiente algoritmo que permite calcular la transformada de Fourier discreta (DFT) y su inversa [9]. Mientras que una DFT es un tipo de transformada discreta utilizada en el análisis de Fourier.

Otro cálculo que realiza este software es lo que, utilizando el término usado en el software **WAVEPAD Sound Editor**, se ha denominado **TFFT** (Temporal Fast Fourier Transform). Esta TFFT Es el cálculo de una FFT en el tiempo. Un término adoptado del programa **WAVEPAD Sound Editor** (v 4.24). Distribuido por NCH Software.

Inicialmente se ha utilizado como aparato de registro el dispositivo MP4 con micrófono integrado y posteriormente como software de procesamiento **AUDACITY 1.13.12-Beta**.

[9] www.wikipedia.org



Imagen 18

Imagen tipo del análisis de frecuencias del software AUDACITY 1.13.12-Beta

El gráfico resultante de este procesamiento del análisis de frecuencias es exportable a Microsoft Excel, lo que ha ayudado a compararlo por superposición en la misma gráfica con otras mediciones. Para analizar el sonido registrado el programa AUDACITY realiza una FFT (Fast Fourier Transform) sobre el bloque de espectro seleccionado. El bloque de espectro es un concepto similar a las bandas de octava. Se define como el intervalo donde se integra su valor para reducir número de puntos y simplificar el perfil resultante del espectro. El tamaño del bloque del espectro a procesar es seleccionable.

5.3 Modelo de ficha

Para la verificación operativa de la segunda hipótesis se ha creado una ficha que recopila los datos registrados por cada soundscape. Se ha propuesto un modelo simplificado de ficha por cada uno de los soundscapes estudiados para su presentación.

Para cada escenario se han tomado registros en tres días diferentes, según las tipologías descritas en el punto 4.1. Cada día se ha aplicado un nuevo modo de medir sumándolo a los anteriores. Es decir, se ha comenzado grabando con el sonómetro CESVA en intervalos de 3 minutos. El segundo día se ha grabado con el sonómetro CESVA y el dispositivo MP4 en intervalos de 3 minutos. Y el tercer día se ha medido con el sonómetro y el dispositivo MP4 en intervalos de 1 y 3 minutos. La justificación de este método de uso de aparatos ha sido la asimilación del manejo progresivo según avanzaban los días. El modelo de ficha recoge los siguientes registros:

	Foto representativa del lugar		
	Registros por días y el tipo de dato que se han recogido en cada uno dellos		
Aparato	Sábado	Domingo	Lunes
CESVA SC-160	<i>Espectro integrado en 3 min.</i>	<i>Espectro integrado en 3 min.</i>	<i>Espectro integrado en 3 min.</i>
			<i>Espectro integrado en intervalos de 1 segundo durante un minuto</i>
MP4		<i>FFT de 3 min.</i>	<i>FFT de 3 min.</i>
		<i>TFFT de 3 min.</i>	<i>TFFT de 3 min.</i>
			<i>FFT de 1 min.</i>
			<i>TFFT de 1 min.</i>

Tabla 2

Tabla de registros según su tipo y el aparato con el que se han realizado

Espectro integrado en 3 min. Análisis de frecuencias integrado en 3 minutos.

Espectro integrado en intervalos de 1 segundo durante un minuto. Análisis de frecuencias integrando in intervalos de 1 segundo durante un minuto.

FFT de 3 min. Análisis del espectro de frecuencias con un registro de duración 3 minutos.

TFFT de 3 min. Análisis temporal de frecuencias con un registro de duración 3 minutos.

FFT de 1 min. Análisis del espectro de frecuencias con un registro de duración 1 minutos

TFFT de 1 min. Análisis temporal de frecuencias con un registro de duración 1 minutos

Todos estos conceptos se detallan en las próximas páginas. A continuación se presenta el modelo de ficha para recoger los datos de los ocho escenarios analizados, que se presentan en su totalidad en el Anexo B de esta Tesis:

Parque

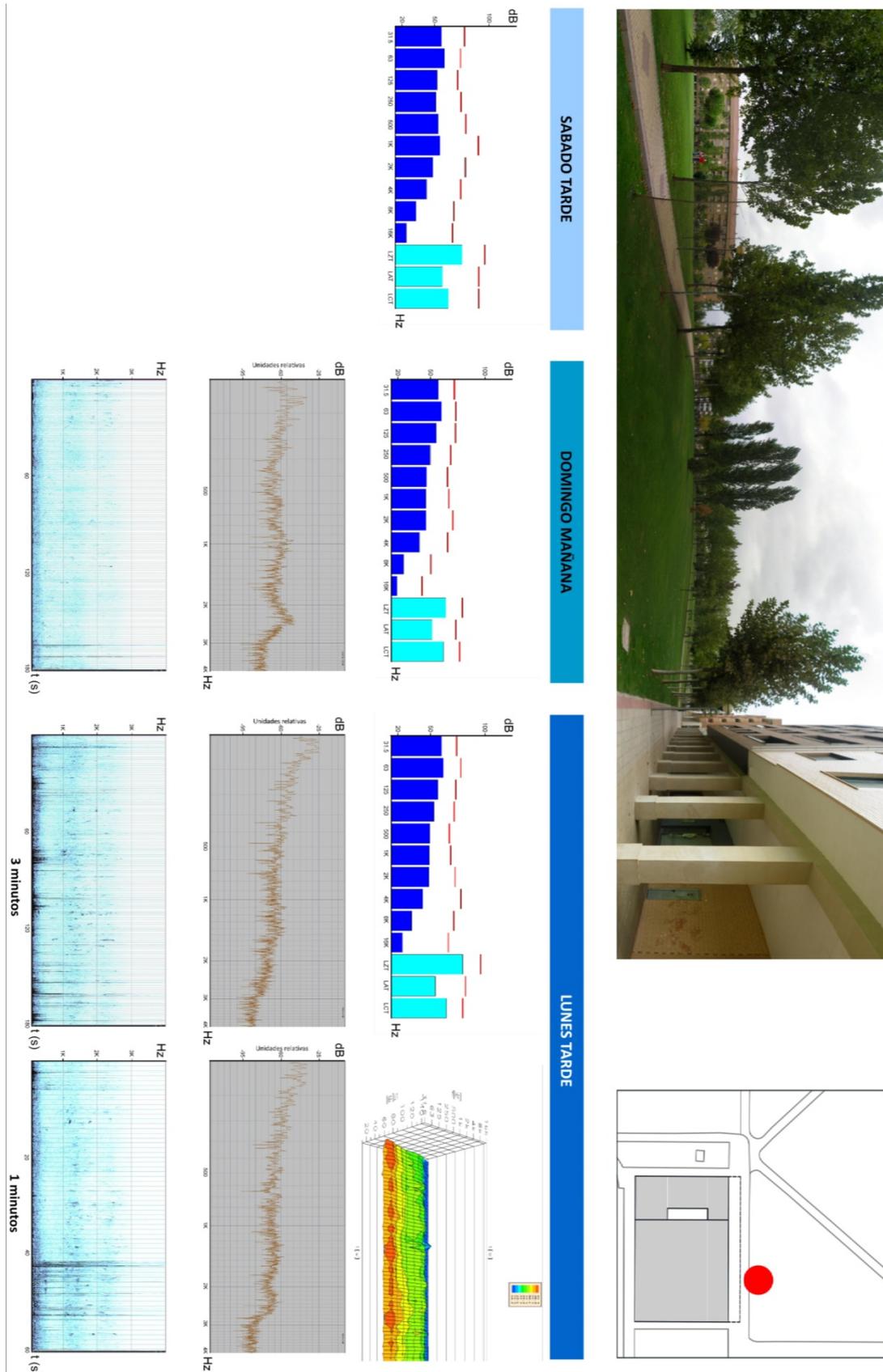


Imagen 19
Ficha de registro del escenario urbano denominado "PARQUE"

A continuación se han descrito los elementos que se han presentado en la ficha modelo:

GFMA (Gráfico Frecuencial del Modo Analizador) procedente del sonómetro CESVA SC-160:

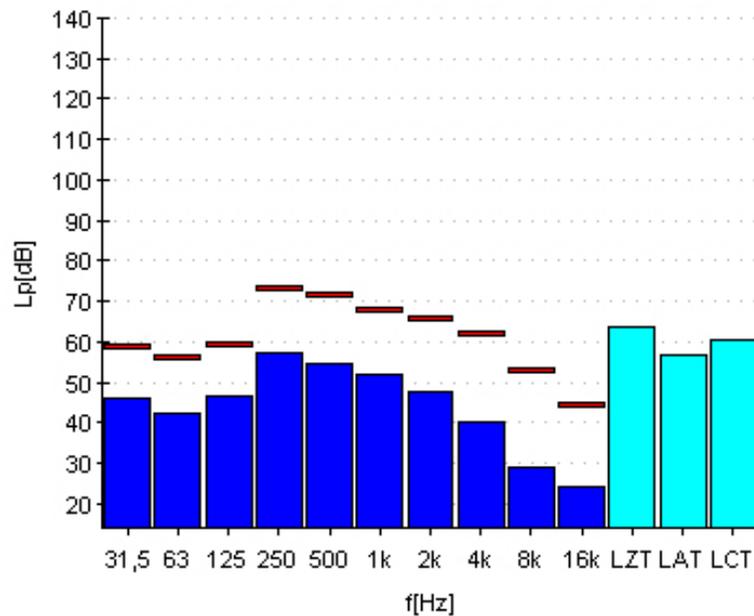


Imagen 20

Gráfico Frecuencial del Modo Analizador procedente del sonómetro CESVA SC-160. Espectro de frecuencias integrado para un t=3 minutos.

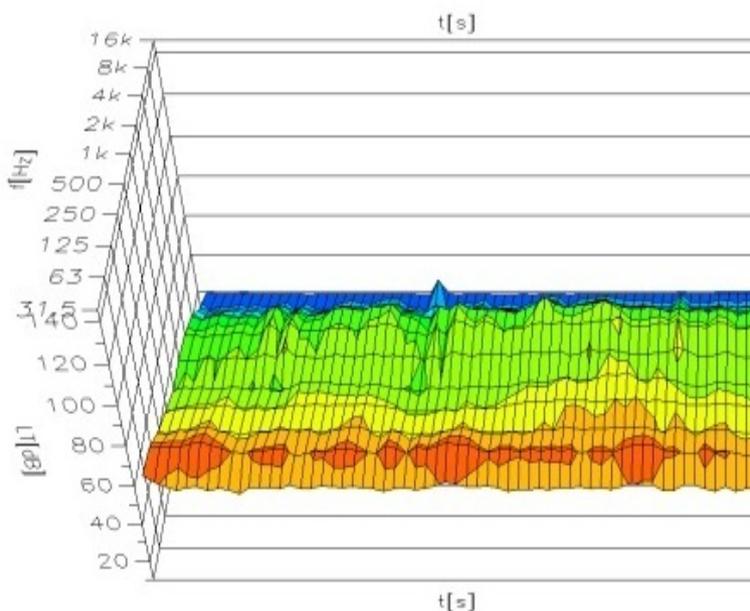
Es un gráfico que se obtiene como resultado del programa CAPTURE STUDIO. Es un espectro de frecuencias en Hz de un sonido integrando la totalidad del tiempo de registro, en este caso de 3 minutos. Se representa en bandas de octava. El programa permite varias ponderaciones para la escala de dB. En este caso se ha decidido la opción de desestimar la ponderación en la representación del espectro sonoro por bandas de octavas. En esta Tesis se ha considerado válida la comparación mientras las condiciones permanezcan iguales en todos los casos que se comparen.

Aparecen simultáneamente representados diferentes datos en este gráfico frecuencial del Modo Analizador. Se representan separadamente mediante dos tonalidades de color azul y unas líneas rojas. Su significado es el siguiente:

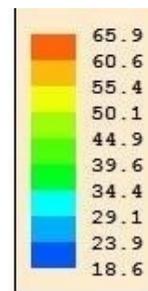
- **Azul oscuro:** representación espectral de los niveles equivalentes sonoros en Hz, por bandas de octavas y sin ponderación alguna.
- **Azul claro:** son los valores globales con ponderación frecuencial A, C y Z. La ausencia de ponderación es la que se denomina Z, que corresponde a la primera barra azul claro empezando por la izquierda. Son datos que por defecto proporciona el programa pero que no se han usado en el análisis de esta FASE.
- **Líneas rojas:** indican los niveles sonoros alcanzados puntualmente para cada banda de frecuencia que se sitúa debajo.

G3DA (Gráfico 3D modo Analizador):

Es un gráfico tridimensional con tres ejes de coordenadas, X, Y, Z:



- **X**, El tiempo (segundos), que permite ver la variación en el tiempo.
- **Y**, La frecuencia (Hz)
- **Z**, El nivel equivalente (dB), que se representa con una escala de colores en función del nivel sonoro alcanzado.



Escala de niveles (dB)

Imagen 21

Gráfico 3D modo Analizador. Ejemplo de espectro de frecuencias integrado para un t=1 minuto

Es un gráfico que proporciona también el mismo programa CAPTURE STUDIO. Es un espectro de nivel sonoro filtrado por frecuencias en Hz, de un sonido integrando un intervalo de tiempo, en este caso 1 segundo, durante 1 minuto. Este gráfico muestra una representación espectro-temporal del nivel equivalente.

FFT (Análisis de Frecuencia):

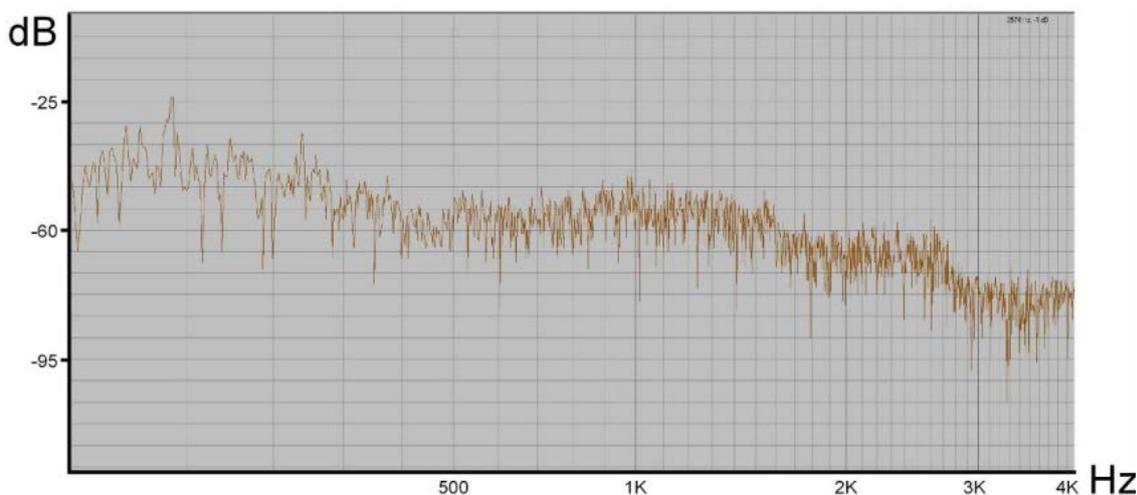


Imagen 22

Análisis de Frecuencia. Ejemplo de análisis de frecuencia integrado para un t=3 minutos. En el eje horizontal se representa las frecuencias en Hz y en el eje vertical el nivel de intensidad sonora en dB

Es un gráfico que proporciona el programa WAVEPAD SOUND EDITOR. Esta herramienta utiliza una transformada rápida de Fourier discreta (siglas en inglés DFFT) para separar el audio en la posición actual seleccionada de la forma de onda de sus componentes de frecuencia.

Los valores de los ejes que representa la grafica van desde 0 dB decibelios en la parte superior, hasta -127dB en la parte inferior. El rango de frecuencia depende de la frecuencia de muestreo del archivo de audio, que van desde 0 Hz a la izquierda a la mitad la tasa de muestreo del audio a la derecha [10].

TFFT (Análisis de frecuencia temporal):

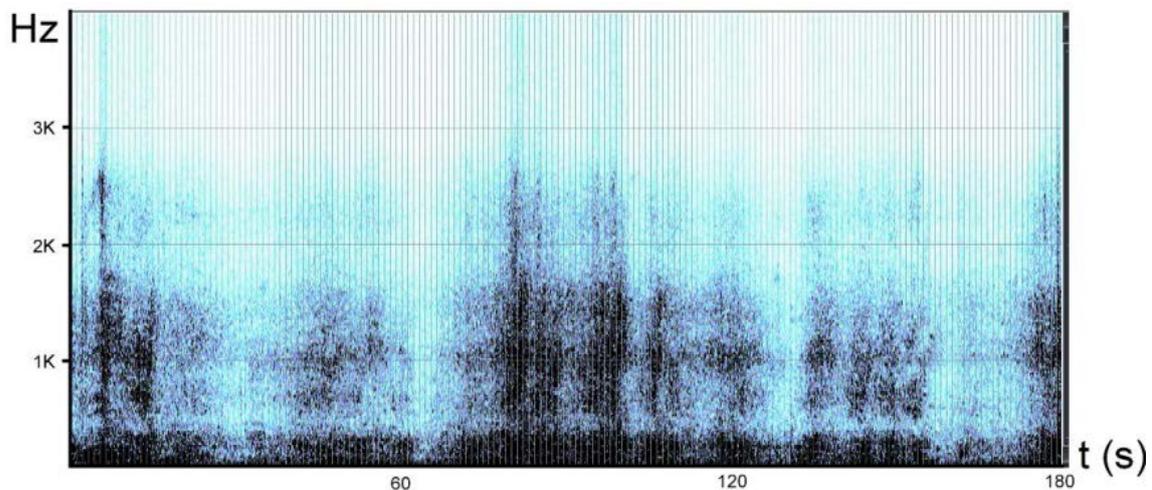


Imagen 23

Ejemplo de análisis espectral integrando para un t=3 minutos.

En el eje horizontal se representa el tiempo en segundos, en el eje vertical las frecuencias en Hz, y las manchas de color representan el nivel de intensidad sonora en dB (cuanto más oscuro es el color más nivel de intensidad sonora representa)

Es un gráfico que proporciona el programa WAVEPAD SOUND EDITOR. Esta herramienta efectúa un análisis FFT en el tiempo (TFFT), y utiliza el color para mostrar la intensidad de la información espectral sobre el fondo blanco.

El tiempo de registro se representa en el eje horizontal. La frecuencia se representa en el eje vertical, y va desde cero hasta la mitad de la frecuencia de muestreo de la onda de audio. Los colores representan los niveles de decibelios para una frecuencia específica en un punto específico en el tiempo, con colores más oscuros que significa fuerte intensidad. Los valores de decibeles de 0 (el más oscuro) hasta -127dB (más claro) [11].

[10] Contenidos del menú ayuda proporcionados en el software WAVEPAD SOUND EDITOR por NCH.

[11] Contenidos del menú ayuda proporcionados en el software WAVEPAD SOUND EDITOR por NCH.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA FASE II

A partir de los registros recogidos en esta FASE II se ha procedido a su análisis de la siguiente manera; en un primer lugar se ha comprobado si el registro de un soundscape depende de la situación, la duración y el momento de su adquisición. En un segundo lugar se ha analizado si los datos recogidos reflejan la presencia de los elementos que existen en ese lugar. Si se establece esta correlación se puede afirmar que estas herramientas propuestas son capaces de caracterizar un soundscape y por lo tanto proporciona una información concreta y relativa a un determinado escenario. Con esta información se puede comparar soundscapes y buscar sinergias entre los elementos que lo conforman.

Para la verificación de la primera hipótesis, se han utilizado los archivos WAV procedentes del dispositivo MP4. Se debe señalar que los archivos WAV registrados con el MP4 recogen un rango de frecuencia entre 80 Hz-4 kHz. Y que el nivel de intensidad sonora no está calibrada, por lo que no ha interesado su valor absoluto, sino su valor relativo. El método de procesamiento de los mismos ha sido:

1. Posteriormente se han tratado con el software AUDACITY 1.13.12-Beta para su exportación final a Excel. El analizador de frecuencias del software realiza una FFT.
2. Posteriormente se ha elegido un tamaño de bloque adecuado para conseguir un resultado fácil de comparar, es decir, no interesa integrar intervalos más grandes de frecuencia, porque si no se acumulan muchos datos para un solo registro.
3. Después de aplicar este proceso a los diversos registros realizados en los escenarios urbanos descritos anteriormente (punto 4.1), se han obtenido sus respectivas gráficas y se han agrupado obteniendo los siguientes gráficos:

Situación del registro sonoro

Se han analizado varios puntos de registro en 2 escenarios diferentes.

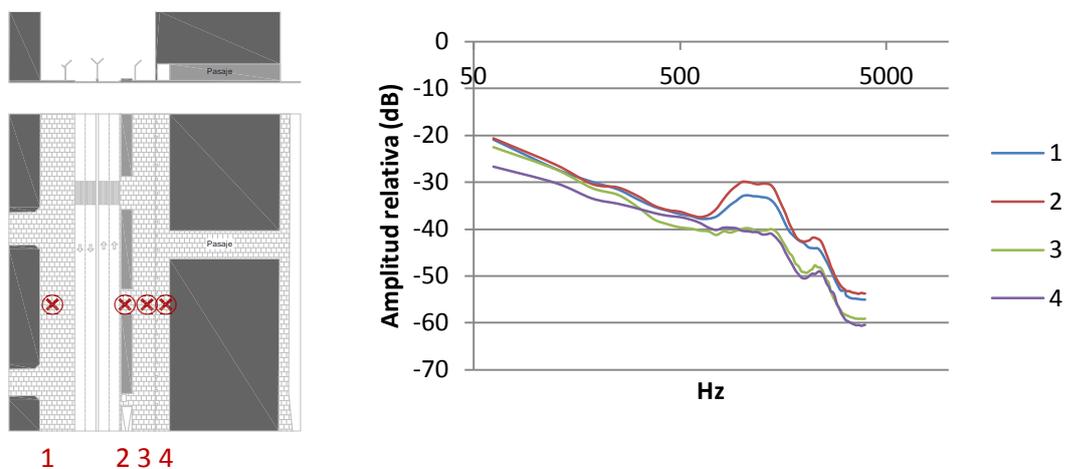


Imagen 24

GRAN VÍA. Gráfico comparativo de los espectros sonoros integrando intervalos de 3 minutos los cuatro puntos señalados. Los registros se realizan continuados en horario. El eje horizontal representa frecuencias en Hz, y el eje vertical representa nivel de intensidad sonora en unidades relativas.

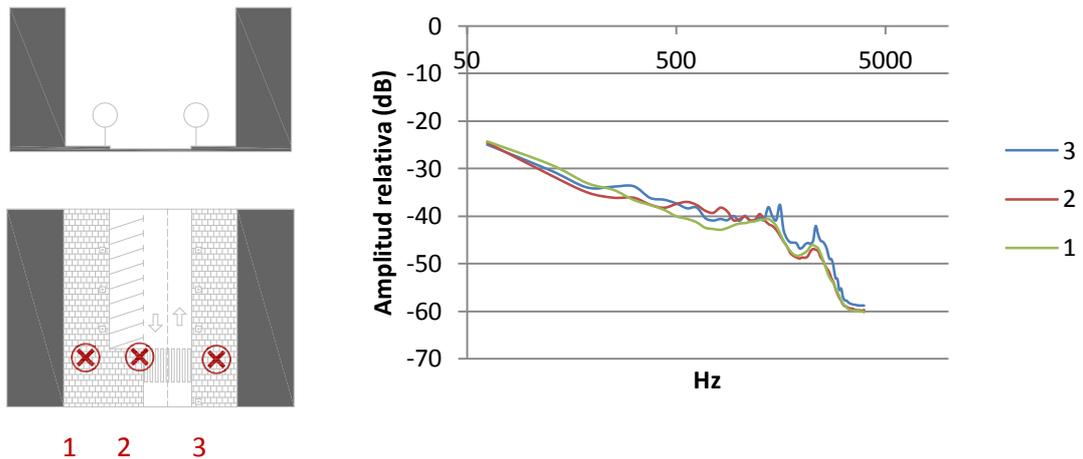


Imagen 25

CALLE SAN ANTÓN. Gráfico comparativo de los espectros sonoros integrando intervalos de 3 minutos en los tres puntos señalados. Los registros se realizan continuados en horario. El eje horizontal representa frecuencias en Hz, y el eje vertical representa nivel de intensidad sonora en unidades relativas.

Las primeras evidencias que se han podido obtener de las dos graficas anteriores ha sido que la caracterización espectral de un soundscape depende claramente de la situación del punto de registro. Aunque la cercanía de los registros permite deducir que la diferencia entre los espectros de dichos registros disminuye proporcionalmente con la distancia entre la situación de los registros.

Se ha de destacar que al ser dos calles con tráfico rodado, se establecen las mayores diferencias debido a la existencia de esta fuente sonora tan potente (trafico) y de perfil dominante.

Duración del registro sonoro

Se han analizado cinco registros sonoros de diferentes intervalos de duración, en una misma ubicación y registrándolos continuos en el tiempo.

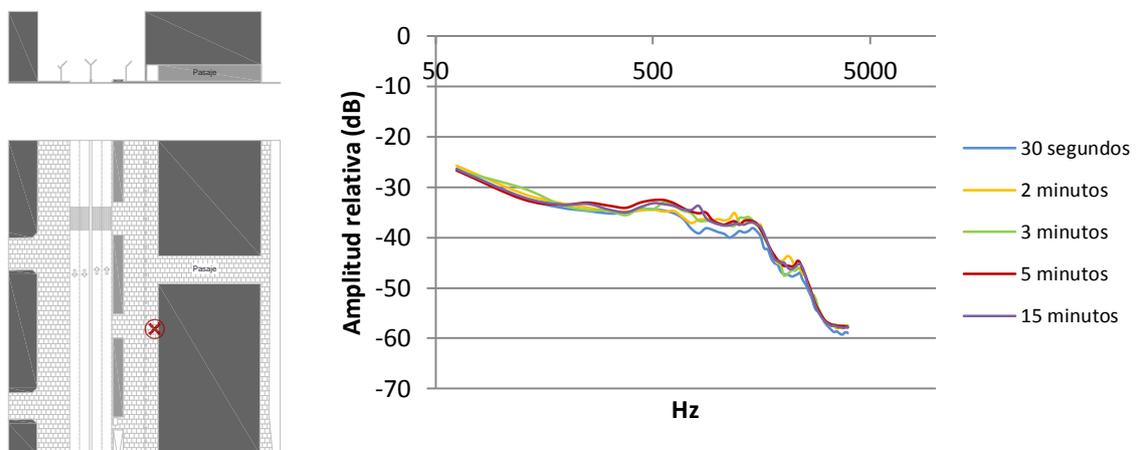


Imagen 26

GRAN VÍA. Gráfico comparativo de las grabaciones realizadas. El eje horizontal representa frecuencias en Hz, y el eje vertical representa nivel de intensidad sonora en unidades relativas.

El espectro 30' presenta la variación más grande y menos estable, ya que presenta más picos de intensidad que ninguno. El espectro 2'' presenta menos picos de intensidad y menos variaciones que el de 30', al igual que sucede con el espectro 3'' respecto del espectro 2''. Se ha podido afirmar por tanto, como era lógico de esperar, que cuanto más tiempo se integra, más estabilidad se obtiene en los valores del espectro sonoro y se acerca al espectro caracterizador.

Franja horaria en la que se realiza el registro

Se han realizado para una misma ubicación registros en tres horarios diferentes. A las 16.23 y 17.32 el nivel de nivel de intensidad sonora. A las 21:02 de la noche, el nivel de nivel de intensidad sonora resultante ha aumentado ya que se trata de un sábado y de una zona muy céntrica de Logroño. Además se ha podido apreciar que su cambio de espectro es también importante.

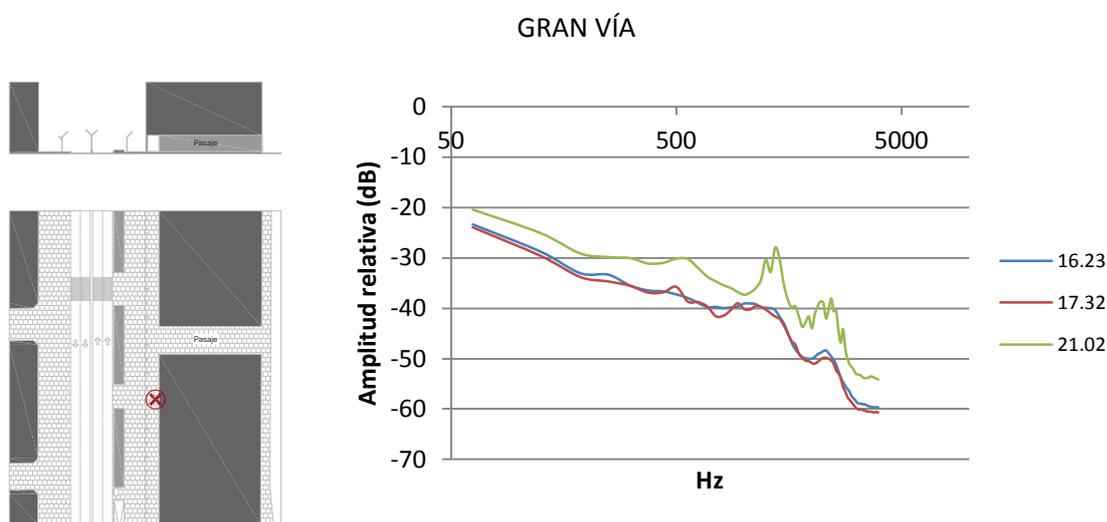


Imagen 27

Gráfico comparativo de las grabaciones realizadas.

Caracterización de los elementos existentes

El objetivo ha sido verificar si las herramientas de análisis propuestas son capaces de reflejar adecuadamente la presencia caracterizadora de los diversos elementos que conforman un soundscape y en segundo lugar si es posible diferenciar entre sí los soundscapes correspondientes a las diferentes configuraciones de trama urbana.

Se ha procedido a analizar dos escenarios urbanos distintos: Los escenarios anteriormente ya denominados como Portales y Avda. de La Paz (Imagen 16).

Portales

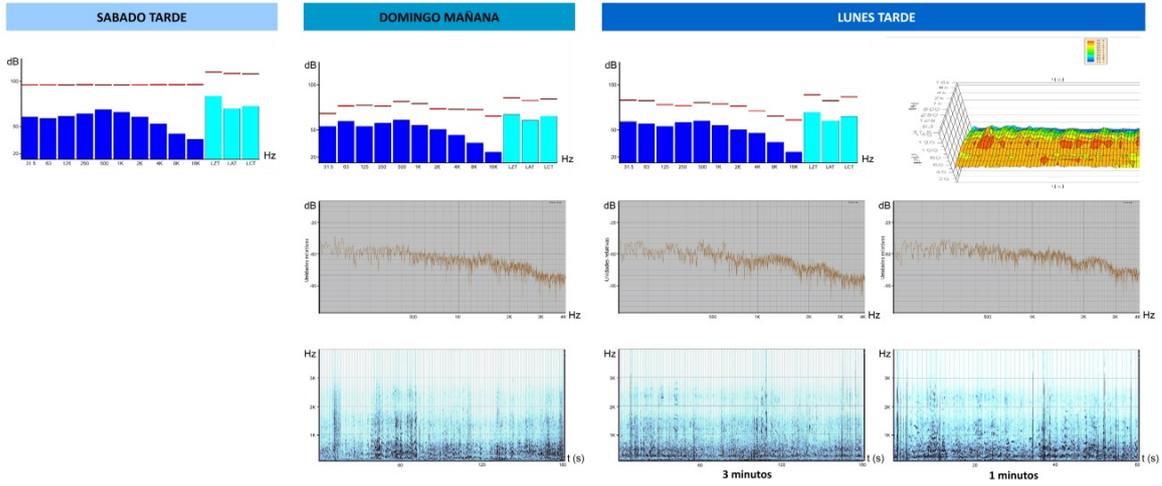
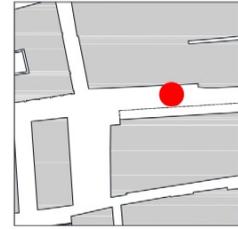


Imagen 28

Gráfico comparativo de las grabaciones realizadas en PORTALES.

Avenida de la Paz

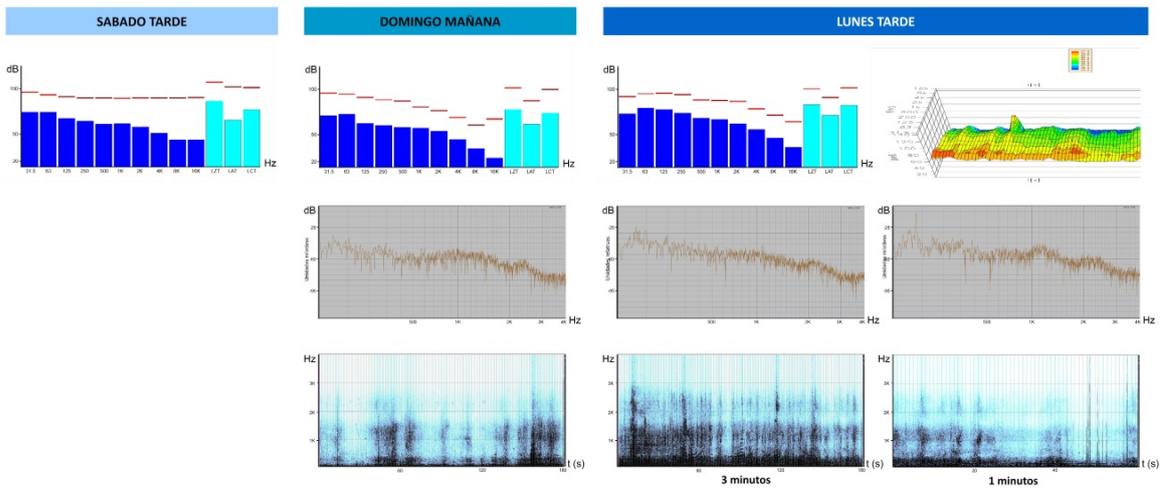
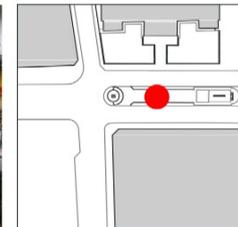


Imagen 29

Gráfico comparativo de las grabaciones realizadas en AVDA. DE LA PAZ.

Después de analizar los respectivos espectros resultantes de los registros de duración de 3 minutos del sábado, domingo y lunes se ha podido observar que en la ubicación portales las frecuencias pertenecientes a la voz humana son las que prevalecen:

PORTALES

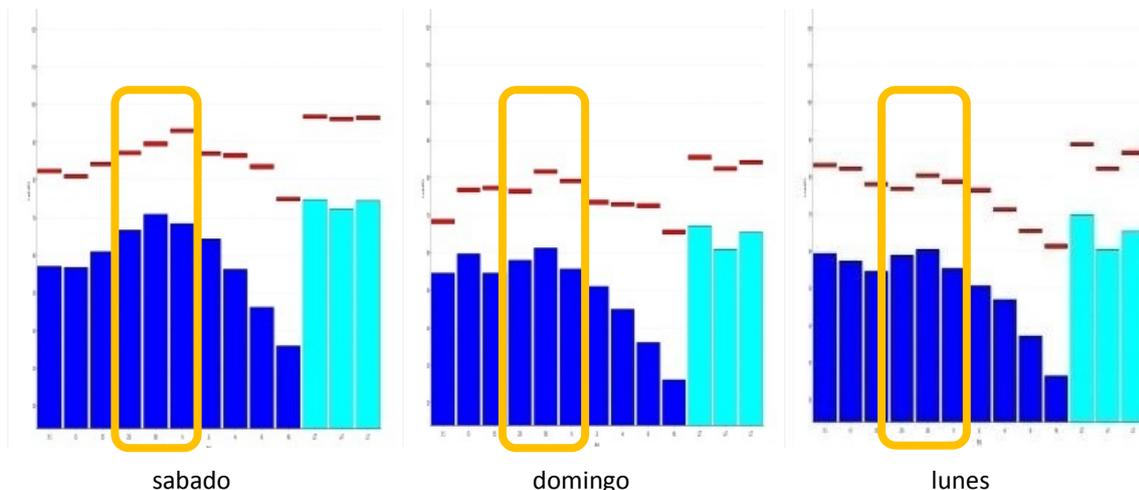


Imagen 30

Ejemplo de gráficos comparativos de las grabaciones realizadas. En eje vertical se representa el nivel de intensidad sonora (dB) y en el eje horizontal la frecuencia (Hz) por bandas de octava.

Es un tipo de espectro característico que parece depender del flujo de personas, el sábado ha sido el día más concurrido y ha sido cuando su espectro ha presentado un perfil más claro. En el otro escenario (Avda. de la Paz) los espectros registros para los mismos intervalos son:

AVDA. DE LA PAZ

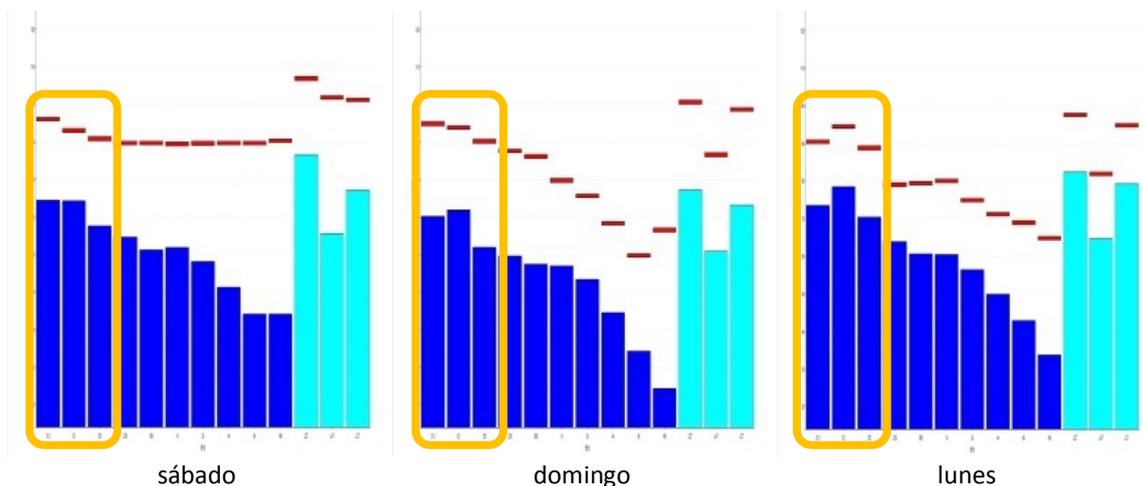


Imagen 31

Ejemplo de gráficos comparativos de las grabaciones realizadas. En eje vertical se representa el nivel de intensidad sonora (dB) y en el eje horizontal la frecuencia (Hz) por bandas de octava.

Es un tipo de espectro en el que el flujo de personas (frecuencias medias) parece no tener un papel predominante y no se caracteriza por ellas. En cambio los vehículos de motor parecen predominar y caracterizar el lugar. Los siguientes gráficos (Imagen 32 y 33) son los espectros tipo de la voz humana y del motor de un vehículo.

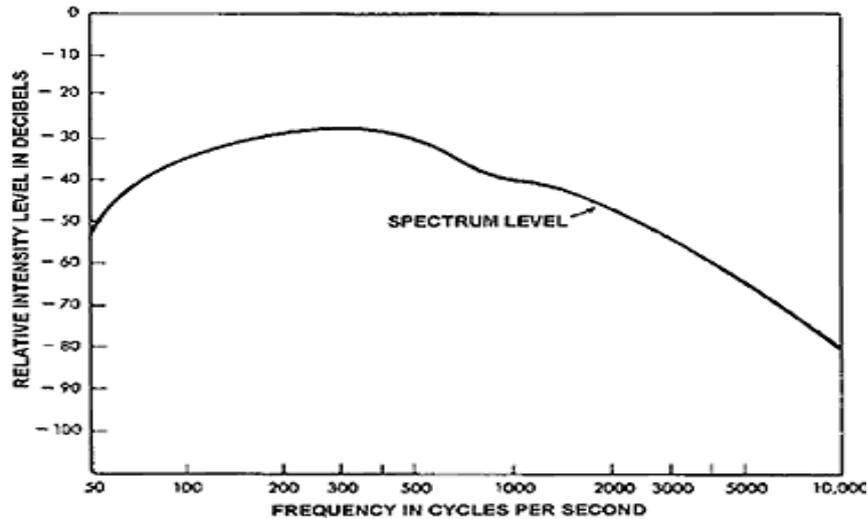


Imagen 32
Espectro de la voz humana

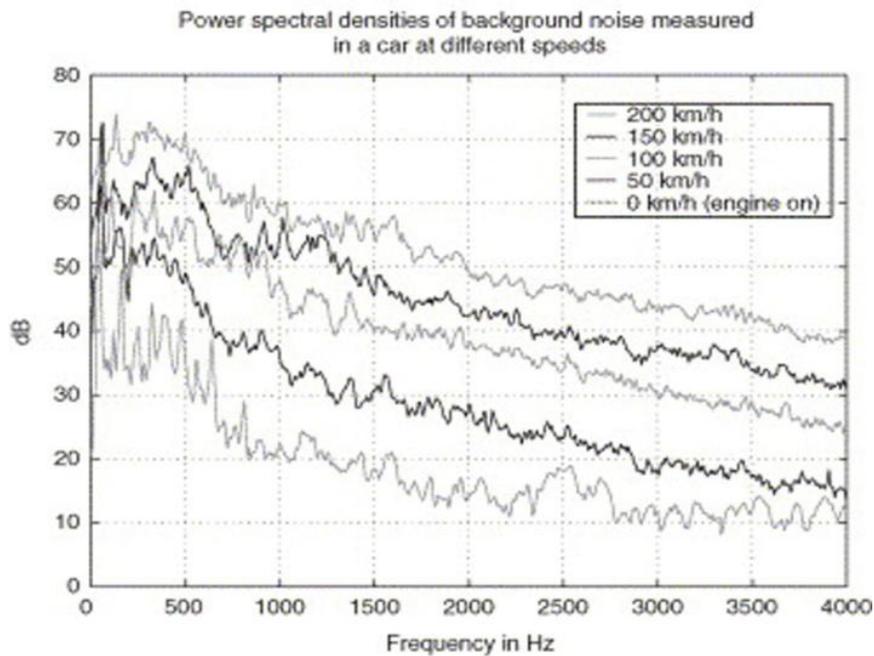


Imagen 33
Espectro del motor de un vehículo

Estos espectros tipo presentados sobre la voz humana y el motor de un vehículo a diferentes velocidades han proporcionado una primera información valiosa. Se puede avanzar en la identificación de las principales fuentes sonoras que caracterizan un soundscape según el predominio relativo de las frecuencias correspondientes de estas dos importantes fuentes sonoras. El análisis de frecuencias se puede considerar como una huella del soundscape.

Un espectro sonoro prácticamente es imposible que sea exactamente igual a uno anterior en el mismo sitio y a la misma hora. La ciudad, acústicamente hablando, no es un calco exacto día tras día, pero sí parece presentar un comportamiento cíclico que proporciona espectros similares. Estos espectros parecen mantener su proporción en el reparto de la energía por Hz

en un intervalo de tiempo superior a cuatro o cinco minutos. Parece que a partir de esta longitud de intervalo se conserva una relación estable en la distribución de la energía por frecuencias. Esto puede ayudar a caracterizar el perfil acústico de un soundscape. Esta herramienta ha parecido ser capaz aproximar a la identificación acústica de un lugar.

Espectrograma

Otra de las herramientas con capacidad de caracterización ha sido el espectrograma. El espectrograma es un análisis temporal de frecuencias con el acrónimo TFFT (Temporal Fast Fourier Transform). A continuación se ha presentado dos TFFT pertenecientes al escenario PORTALES y referidas a los registros del domingo y del lunes.

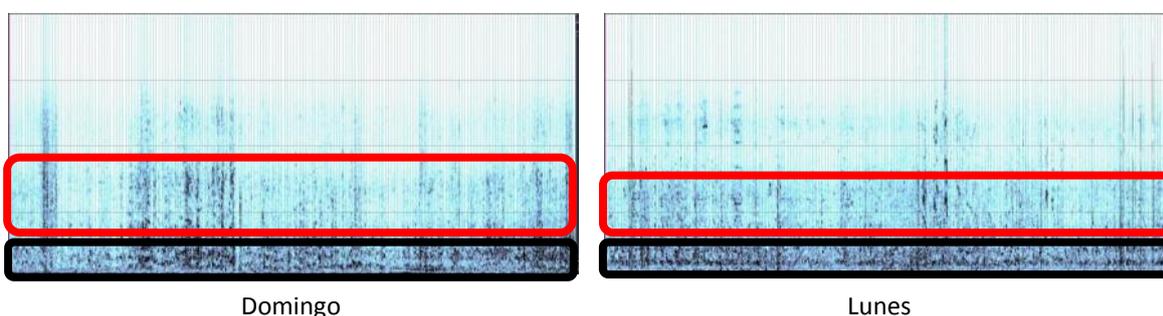


Imagen 34

Ejemplo de gráficos comparativos de los TFFT referentes a los registros realizados en el escenario **Portales**. En el eje horizontal se representa el tiempo en segundos, en el eje vertical las frecuencias en Hz, y las manchas de color representan el nivel de intensidad sonora en dB (cuanto más oscuro más nivel de intensidad sonora representa)

Dos características parece que se han evidenciado en estos espectrogramas. La primera, el ruido de fondo y la segunda, los picos de nivel de intensidad sonora sobresalientes al ruido de fondo. Los rectángulos negros enmarcan lo que se percibe como el ruido de fondo, que parece representar un nivel de nivel de intensidad sonora en un rango de frecuencias bajas más constante en dos días diferentes.

Los picos sobresalientes, enmarcados con rectángulos rojos, se puede apreciar que el domingo han sido un poco más intensos, pero con una constancia parecida al lunes. Parece que no se puede establecer ningún ciclo.

A continuación se ha presentado dos TFFT pertenecientes al escenario AVDA. DE LA PAZ y referidas a los registros del domingo y del lunes.

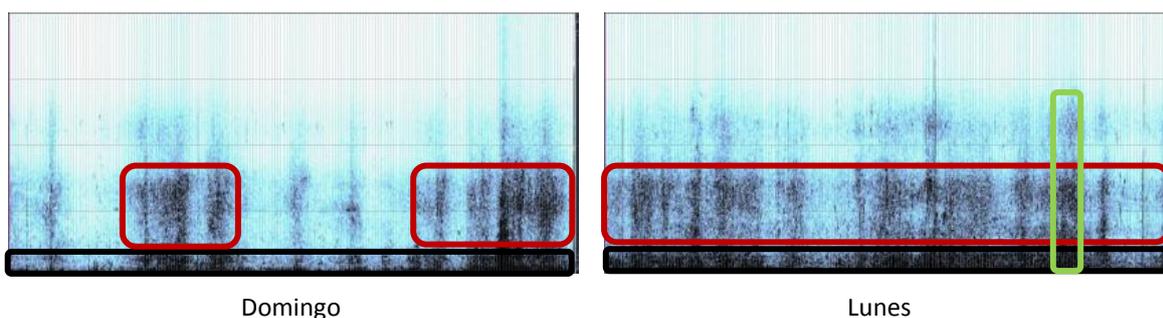


Imagen 35

Gráfico comparativo de los TFFT referentes a los registros realizados en el escenario **Avda. de la Paz**. En el eje horizontal se representa el tiempo en segundos, en el eje vertical las frecuencias en Hz, y las manchas de color representan el nivel de intensidad sonora en dB (cuanto más oscuro más nivel de intensidad sonora representa)

Se han analizado las dos mismas características anteriormente expuestas. El ruido de fondo parece ser más intenso, sobre todo el lunes. El domingo se manifiesta una mayor discontinuidad. Los picos sobresalientes, enmarcado en verde, también parecen ser más intensos que el anterior, y más discontinuos, ya que se identifica más fácil su presencia en el espectro. Esto se ha traducido en un conjunto en el que hay intervalos con marcadas diferencias. Por lo tanto, parece ser que la variación ha sido grande.

A continuación se ha comparado el espectrograma (TFFT) de cada uno de los 8 soundscapes estudiados hasta ahora:

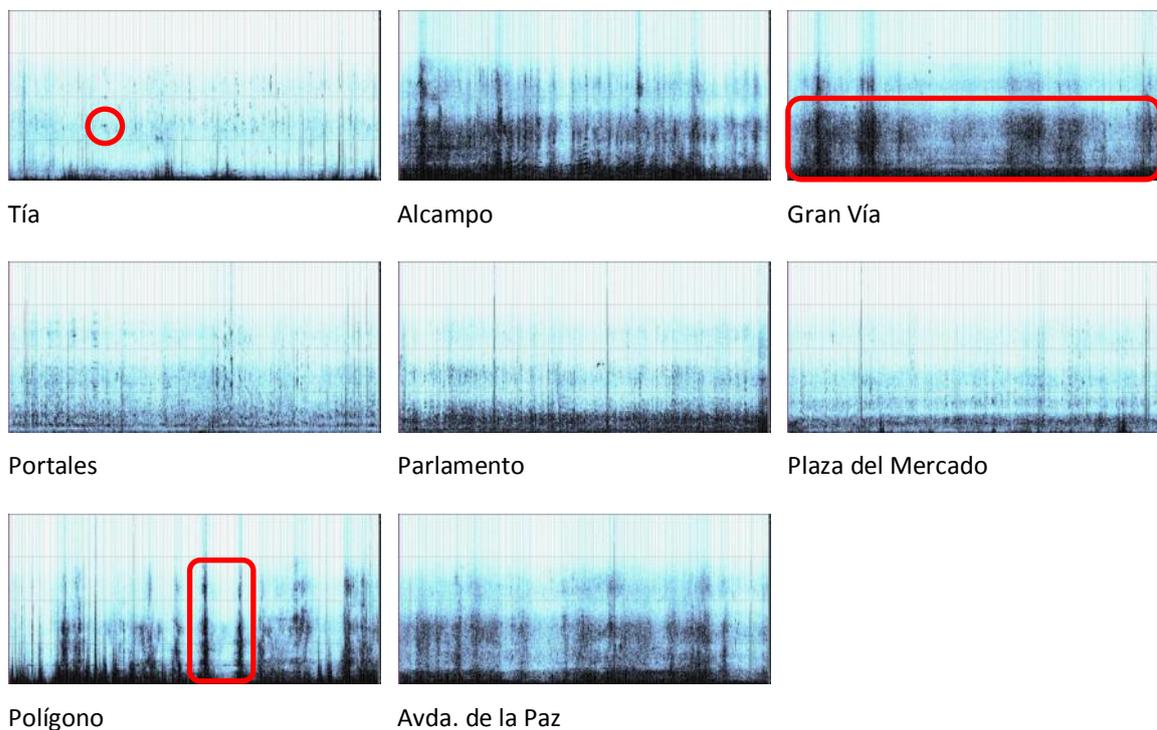


Imagen 36

Gráfico comparativo de los TFFT referentes a los registros realizados en los 8 soundscapes

Estos espectrogramas (TFFT) han permitido la identificación inicial de ciertas fuentes sonoras por su forma en el espectro temporal. Por ejemplo en el espectrograma (TFFT) del soundscape denominado **Parque**, se han podido observar grupos de puntos en unas frecuencias más altas. Estas señales han reflejado alguna fuente puntual y de altas frecuencias, como el pjar de los pájaros que en este escenario urbano de interior de manzana arbolada y se pueden oír con claridad cuando uno se encuentra en el lugar.

En la imagen TFFT denominada **Gran Vía**, se ha podido observar que el recuadro rojo indica las existencia de un ruido de fondo que alcanza unos niveles de intensidad medios y una continuidad hasta una cierta altura del grafico que corresponde a un frecuencia concreta, alrededor de 1650 Hz, sin que se haya podido deducir la causa.

En la imagen TFFT denominada **Polígono**, se ha podido observar que el ruido de fondo constante ha sido bajo en referencia al rango de frecuencias, pero que las fuentes con presencia puntual han contrastado con más intensidad con el ruido fondo en frecuencias de rango más alto.

Se ha podido verificar que esta herramienta (espectrograma) ha sido capaz de caracterizar elementos que conforman un soundscape y como se puede apreciar en la imagen 36. Parece que se han podido diferenciar claramente los diferentes escenarios urbanos y se han podido encontrar relaciones los espectrogramas (TFFT) con elementos que componen la “sopa” acústica del soundscape analizado.

No parece que con esta herramienta del espectrograma y con las condiciones temporales utilizadas en esta FASE, se puede llegar a establecer la existencia clara de ciclos sonoros provocados por una repetición de la emisión por parte de las fuentes que conforman el soundscape. Esto puede indicar que la elección de 3 minutos como intervalo de registro sonoro no ha sido acertada.

Nueva variable

Es una obviedad que la variación sobre la homogeneidad atrae la atención del sistema perceptivo. Un ejemplo claro es el siguiente:



Imagen 37

Ejemplo de atracción de la atención hacia el punto rojo. La variación de la homogeneidad de los puntos grises atrae la atención al punto inevitablemente.

La variación genera una atracción de los sentidos, tanto visual como acústicamente. Esta variación puede ser una fuente de molestia o satisfacción. Por lo tanto una variable pertinente de estudio en un soundscape es la variación del perfil sonoro de un soundscape a lo largo del tiempo. De esta apreciación ha surgido una nueva pregunta: ¿alguna de estas herramientas anteriormente expuestas son capaces de representar grafica o numéricamente de forma adecuada esta variable?

La variación se produce cuando sonidos en un soundscape sobrepasan el ruido de fondo. Se ha buscado datos que representasen la media y los picos máximos en el espectro sonoro de un soundscape. Se ha tomado como base el modo en el que registra datos el sonómetro CESVA SC-160, porque el sonómetro registra los picos máximos por banda de frecuencia para el intervalo total del registro.

Este sonómetro a través de su software permite obtener unas graficas que se han presentado a continuación:

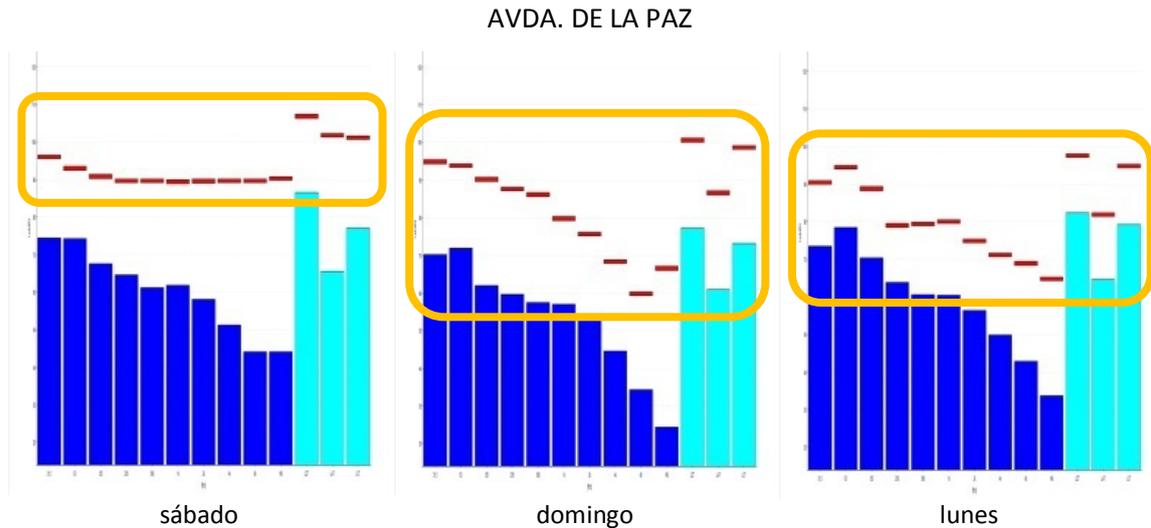


Imagen 38

Ejemplo de gráficos dónde se muestran los espectros sonoros con sus valores medios (barras azules) y sus picos (líneas rojas) por cada banda de frecuencia. En eje vertical se representa el nivel de intensidad sonora (dB) y en el eje horizontal la frecuencia (Hz) por bandas de octava.

Las líneas rojas posicionadas sobre cada banda de octava indican que en el intervalo de tiempo analizado, en este caso 3 minutos, en cada octava ése ha sido el máximo alcanzado. Es decir que cada gráfico proporciona, para cada banda de octava, el valor promedio registrado durante los 3 minutos y además su máximo alcanzado en esa misma frecuencia. En definitiva permite obtener numéricamente la distancia que existe entre la media y el máximo, es decir, ha permitido estudiar, por frecuencias, como varía la máxima presión sonora respecto a la media. Este valor numérico que cuantifica como varían las medias este concepto se ha denominado **VARIABILIDAD**.

Aplicando este parámetro al resto de los soundscapes anteriores, se obtiene el siguiente gráfico (imagen 39). Obtenido después de exportar los gráficos (imagen 38) de todos los escenarios urbanos a un Excel y tratados posteriormente con un función BoxPlot del software Minitab v 15.1.0.0.

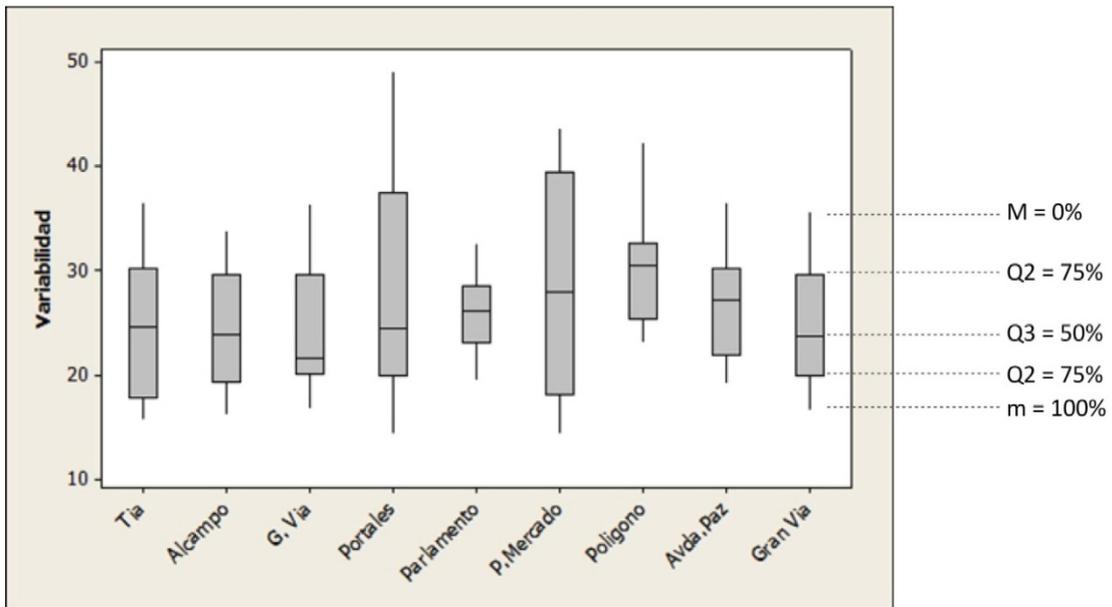


Imagen 39
Gráfico comparativo de la variabilidad de los 8 soundscapes

Es un gráfico que suministra información sobre los valores **mínimo** (m) y **máximo** (M), también considerados atípicos. Los **tres cuartiles** Q1, Q2 o mediana y Q3. Este tipo de gráficos son una presentación visual que describe varias características importantes, al mismo tiempo, tales como la dispersión y simetría de los valores.

Este gráfico indica para cada soundscape que cantidad de la suma de las variaciones entre máximos y media por cada banda de octava superan el 100%, 75%, 50%, 25% y el 0%.

7. CONCLUSIONES DE LA FASE II

Resultados

Se ha comprobado que se debe seleccionar rigurosamente la situación de dicho registro dentro de un escenario urbano. Ya que el resultado de tal grabación dependerá en gran medida de tal situación.

El segundo aparato de grabación (CESVA SC-160) ha proporcionado dos herramientas (espectro de frecuencias y el espectrograma) para medir cuantitativamente un soundscape.

Los espectrogramas (TFFT) son una representación gráfica de la distribución de la energía sonora en el tiempo.

Conclusiones

Sobre la metodología utilizada

En la FASE I se han identificado de manera subjetiva diferentes elementos que conforman un soundscape. Y se han descrito unas graficas con la variación de nivel de intensidad sonora percibida (cualitativa-observación). Se ha encontrado necesaria una aportación más objetiva a la caracterización de las fuentes emisoras, que son las que en última instancia producen el sonido que llega a los oídos de los usuarios.

Por eso el objetivo fundamental de esta FASE II ha sido la búsqueda de herramientas objetivas y su valoración para ser utilizadas en la caracterización de un soundscape.

Se han propuesto registros sonoros “in situ” con dos aparatos electrónicos. Con el primero (MP4) y el segundo aparato (CESVA SC-160). Se ha comprobado en los resultados que son dos herramientas que muestran variaciones entre diferentes soundscapes y pueden ser capaces de caracterizarlos. Es un método matemático, por lo tanto numérico y más objetivo para comparar diferentes escenarios.

Los espectrogramas (TFFT) pueden ser una herramienta útil para profesionales gráficos como los arquitectos o urbanistas.

Un simple registro sonoro en archivo digital se puede analizar con distintos software para obtener estas dos herramientas (FFT y TFFT). Con lo que el sonómetro y los datos que éste proporciona pueden asimilarse a una grabación en un archivo digital más un tratamiento posterior con un software adecuado.

Todavía hay que definir un modo de comparar numéricamente los soundscapes, ya que las herramientas (FFT y TFFT) por si mismas son difíciles de comparar. Se deberá buscar en las FASES posteriores cómo comparar los diferentes soundscapes a través de estas dos herramientas.

Sobre la ciudad elegida

Logroño dispone de diferentes tejidos urbanos y esta amplia variedad ha facilitado que la caracterización del soundscape haya mostrado diferencias entre tejidos tan dispares.

No es posible establecer comparaciones entre Logroño (FASE II) y Melbourne (FASE I), ya que los objetivos, herramientas y elementos estudiados en ambas ciudades son diferentes y por lo tanto no se pueden comprar resultados.

Sobre los aparatos utilizados

Para la primera hipótesis se ha podido disponer únicamente del aparato de registro Zipy MP4. Se ha considerado como válido este aparato ya que su función era únicamente la comparación de diferentes casos medidos con el mismo aparato. De todos modos no puede ser un aparato para reflejar magnitudes exactas o bien calibradas.

Según la primera hipótesis se ha buscado experimentar la igualdad en la grabación de diversos puntos de la ciudad y con diferentes duraciones. Para esta simple comparación se ha considerado válido el MP4.

Para la segunda hipótesis se ha podido disponer del sonómetro CESVA SC-160. Con el cuál se han podido tomar registros y mediciones más rigurosas. Y sobre todo proporciona datos numéricos exportables a diversos software, fácilmente manipulables y comparables entre los diversos escenarios.

Análisis crítico de la toma de datos

A la hora de realizar los registros se han encontrado varias limitaciones que condicionan el trabajo de campo. Inherente a todo trabajo “in situ” existen elementos externos incontrolables que pueden variar los resultados de una campaña. En este caso significa que temporalmente, en intervalos variables de minutos a meses, un soundscape puede modificarse radicalmente en su perfil, por ejemplo, debido a unas obras de construcción en la vía pública.

La climatología es también otro elemento importante en este tipo de trabajo de campo. Una grabación se ve irremediamente alterada si se presentan fenómenos climatológicos asociados importantes, como pueda ser una fuerte lluvia o un viento intenso. En este caso se ha desechado algún el registro realizado. Las espumas cortavientos protegen de las

interferencias del viento y otros fenómenos climatológicos hasta un límite; una lluvia fina no altera sustancialmente una registro aunque si se debe de tener en cuenta.

En ocasiones las mismas fuentes sonoras, como son las personas, pueden también “personalizar” en exceso un registro por diversos motivos, algo que no se corresponde a un estado real de escenario sonoro normal. Pero en este caso también se desecha alguna medición realizada.

Errores de los aparatos

El registro de datos para la medición ambiental depende de la disponibilidad de aparatos capaces de medir lo que se busca. Pero a veces incluso con aparatos de contrastada solvencia se pueden producir algunos errores. En esta grafica (imagen 40) se ha presentado como los niveles pico en varias frecuencias tiene el mismo valor, lo cual hace pensar que algún sonido propio del sonómetro modifica el sonido registrado. Es por lo tanto una medición que es inservible ya que está muy alterada.

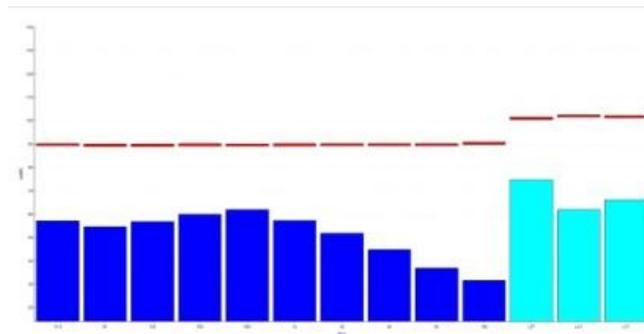


Imagen 40

Ejemplo de error en el gráfico de un espectro recogido con el sonómetro CESVA SC-160 en el escenario **Portales (Sábado Tarde)**

Recomendaciones para FASES posteriores

En las próximas campañas de recogida de datos para la caracterización de un soundscape se tienen en cuenta los siguientes puntos:

- Necesidad de acotar al máximo posible el escenario urbano objeto de estudio como un soundscape. Se ha constatado después de la toma de datos de esta FASE que la medición cambia de valores según la posición que se escoja para la realización del registro. Y que por lo tanto, se debe establecer un criterio estable en la posición de registro que se ajuste a los objetivos de la campaña.
- Necesidad de intervalos de registro de un intervalo de tiempo más largo. Las mediciones a partir de 3 minutos son bastante estables ya que la lectura de los diversos espectros sonoros ha variado muy poco, pero pueden ser insuficientes.

8. REFERENCIAS DE LA FASE II

Imágenes

Imagen 1	67
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 2	69
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 3	73
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 4	75
<i>Fuente: Can, A., Leclercq, L., Lelong, J., Botteldooren, D. (2010). Traffic noise spectrum analysis: Dynamic modeling vs. experimental observation. Applied Acoustics</i>	
Imagen 5	75
<i>Fuente: Can, A., Leclercq, L., Lelong, J., Botteldooren, D. (2010). Traffic noise spectrum analysis: Dynamic modeling vs. experimental observation. Applied Acoustics</i>	
Imagen 6	76
<i>Fuente: Kang, J. (2007) Urban sound environment. Taylor & Francis incorporating Spon, London.</i>	
Imagen 7	79
<i>Fuente: Imagen capturada de Google Street View</i>	
Imagen 8	79
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 9	79
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 10	79
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 11	79
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 12	79
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 13	80
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 14	80
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 15	80
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 16	81
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 17	82
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 18	84
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 19	86
<i>Fuente: Elaboración propia</i>	
Imagen 20	87
<i>Fuente: CESVA Capture Studio. Versión 2.7.1</i>	

Imagen 21 88
Fuente: Elaboración propia

Imagen 22 88
Fuente: Elaboración propia

Imagen 23 89
Fuente: Elaboración propia

Imagen 24 90
Fuente: Elaboración propia

Imagen 25 91
Fuente: Elaboración propia

Imagen 26 91
Fuente: Elaboración propia

Imagen 27 92
Fuente: Elaboración propia

Imagen 28 93
Fuente: Elaboración propia

Imagen 29 93
Fuente: Elaboración propia

Imagen 30 94
Fuente: Elaboración propia

Imagen 31 94
Fuente: Elaboración propia

Imagen 32 95
Fuente: <http://dacaudio.com/tutorial/tutorial.html>

Imagen 33 95
Fuente: Schmidt, G., Haulick, T. (2005). Signal processing for in-car communication systems. Elsevier, Applied Speech and Audio Processing. Germany. 2005

Imagen 34 96
Fuente: Elaboración propia

Imagen 35 96
Fuente: Elaboración propia

Imagen 36 97
Fuente: Elaboración propia

Imagen 37 98
Fuente: Elaboración propia

Imagen 38 99
Fuente: Elaboración propia

Imagen 39 100
Fuente: Elaboración propia

Imagen 40 103
Fuente: Elaboración propia

Tablas

Tabla 1 71
Fuente. www.codigotecnico.org

Tabla 2 85
Fuente: Elaboración propia

Gráficas

Gráfica 1.....	70
----------------	----

Fuente: www.sistemasynkro.com/diccionario_acustico.aspx

Gráfica 2.....	71
----------------	----

Fuente: www.monografias.com/trabajos40/calibracion-microfonos/calibracion-microfonos2.shtml