

## ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN Y ELECTRÓNICA



### TRABAJO FIN DE GRADO

## CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA DE ENTORNOS MEDIOAMBIENTALES

**Titulación:** Grado en Ingeniería en Tecnologías de la Telecomunicación

**Mención:** Sonido e Imagen

**Autor:** Saúl Marrero Mendoza

**Tutores:** Manuel Martín Medina Molina

Jesús Bernardino Alonso Hernández

Agustín Jesús Sánchez Medina

**Fecha:** Julio 2015



## ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN Y ELECTRÓNICA



### TRABAJO FIN DE GRADO CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA DE ENTORNOS MEDIOAMBIENTALES HOJA DE FIRMAS

**Alumno/a**

Fdo.: Saúl Marrero Mendoza

**Tutor/a**

**Tutor/a**

**Tutor/a**

Fdo.: Manuel M. Medina  
Molina

Fdo.: Jesús B. Alonso  
Hernández

Fdo.: Agustín J. Sánchez  
Medina

**Fecha: Julio de 2015**



**ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN Y  
ELECTRÓNICA**



**TRABAJO FIN DE GRADO**

**TÍTULO DEL TRABAJO FIN DE GRADO**

**HOJA DE EVALUACIÓN**

**Calificación:** \_\_\_\_\_

**Presidente**

Fdo.:

**Vocal**

**Secretario/a**

Fdo.:

Fdo.:

**Fecha: Julio 2015**



*“Me gustaría agradecer, en primer lugar, a todas aquellas personas que hicieron posible la ejecución de las medidas acústicas, en especial a la Gerencia y al Servicio de Obras e Instalaciones de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y al Cabildo de Gran Canaria. Así como a todos aquellos que participaron libremente en las encuestas. No me gustaría olvidar, además, a mi familia, pareja y amigos, que me han apoyado en todo momento durante estos años. Por último, a mis tutores, que han contribuido en gran medida al desarrollo de este Trabajo Fin de Grado.*

*A todos ellos, Gracias.”*



# Tabla de contenido

<b>I. MEMORIA.....</b>	<b>.....</b>
<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Definición e historia de la Acústica .....	3
1.2 Sonido y calidad de vida .....	3
1.3 Motivación.....	4
1.4 Objetivos.....	4
1.5 Estructura del documento .....	5
<b>Capítulo 2. Estado del arte .....</b>	<b>9</b>
2.1 Estado del arte .....	11
<b>Capítulo 3. Repositorio de grabaciones.....</b>	<b>17</b>
3.1 Escenarios de medida .....	19
3.2 Proceso de medida.....	34
3.3 Consideraciones de diseño.....	36
3.3.1 Sistema on-line u off-line.....	36
3.4 Descripción de la Base de Datos.....	37
3.4.1 Estructura.....	37
<b>Capítulo 4. Análisis sonométrico .....</b>	<b>39</b>
4.1 Metodología Experimental.....	41
4.2 Marco teórico.....	42
4.2.1 Nivel de presión sonora .....	42
4.2.2 Nivel sonoro continuo equivalente .....	42
4.2.3 Decibelio .....	43
4.3 Análisis acústico .....	44
<b>Capítulo 5. Análisis de las señales .....</b>	<b>55</b>
5.1 Marco teórico.....	56
5.1.1 Entropía de Shannon.....	56
5.1.2. Divergencia de Kullback-Leibler.....	56
5.2 Procesado y almacenamiento de los valores .....	57
5.3 Técnicas de procesado de señal .....	58
<b>Capítulo 6. Análisis subjetivo .....</b>	<b>75</b>
6.1 Modelo de encuesta .....	77
6.2 Extracción de resultados .....	77
<b>Capítulo 7. Análisis de los resultados.....</b>	<b>93</b>
7.1 Estudio correlativo .....	95
7.2 Resultados .....	102
<b>Capítulo 8. Conclusiones y líneas futuras .....</b>	<b>105</b>
8.1 Conclusiones .....	107
8.2 Líneas futuras .....	108
<b>ANEXOS.....</b>	<b>111</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>117</b>
<b>II. Pliego de Condiciones.....</b>	<b>121</b>
<b>III. PRESUPUESTO .....</b>	<b>125</b>
P1. Desglose del presupuesto.....	127

<b>P2. Recursos Materiales .....</b>	<b>127</b>
P2.1 Recursos Hardware .....	128
P2.2 Recursos Software .....	128
<b>P3. Trabajo tarifado por tiempo empleado .....</b>	<b>129</b>
<b>P4. Costes de redacción del Trabajo Fin de Grado .....</b>	<b>130</b>
<b>P5. Material Fungible .....</b>	<b>131</b>
<b>P6. Derechos de visado del COIT .....</b>	<b>131</b>
<b>P7. Gastos de tramitación y envío .....</b>	<b>132</b>
<b>P8. Aplicación de impuestos .....</b>	<b>132</b>

## Índice de Figuras

Figura 1.1 Tareas a realizar para el cumplimiento de los objetivos del TFG .....	5
Figura 2.1 Sonidos naturales preferentes frente a ruido como enmascarador de ruido urbano. El punto negro representa el ruido de tráfico y el punto blanco el ruido de construcción .....	16
Figura 3.1 Delimitación del Sistema General Aeroportuario .....	19
Figura 3.2 Municipio de Ingenio .....	20
Figura 3.3 Datos extraídos del Mapa Estratégico de Ruido sobre El Burrero .....	21
Figura 3.4 Zona de medida en El Burrero.....	21
Figura 3.5 Detalle del Mapa Estratégico de Ruido de Tráfico viario de la Avda. Marítima .....	22
Figura 3.6 Zona de medida en la Avenida Marítima .....	23
Figura 3.7 Zona de medida en Triana (c/ Fco. Gourié).....	23
Figura 3.8 Zona de medida Siete Palmas .....	25
Figura 3.9 Campus Universitario de Tafira.....	26
Figura 3.10 Zona de medida en Tafira Norte .....	27
Figura 3.11 Campus Universitario del Obelisco.....	28
Figura 3.12 Zona de medida en el Campus del Obelisco .....	28
Figura 3.13 Campus Universitario de San Cristóbal .....	29
Figura 3.14 Zona de medida en el Campus de San Cristóbal.....	30
Figura 3.15 Campus Universitario de Montaña Cardones .....	31
Figura 3.16 Zona de medida en el Campus de Montaña Cardones.....	31
Figura 3.17 Zona de medida en el Parque Rural de Doramas.....	33
Figura 3.18 Diagrama del conexionado de los equipos.....	34
Figura 3.19 Caja utilizada donde se ubican los aparatos descritos.....	35
Figura 3.20 Sistema de Intemperie utilizado (Campus Montaña Cardones) .....	36
Figura 3.21 Estructura del repositorio de grabaciones.....	38
Figura 4.1 Proceso para obtener resultados definitivos.....	41
Figura 4.2 Representación de niveles instantáneos y continuo con la herramienta Excel.....	44
Figura 4.3 Representación en escala de colores del nivel de ruido continuo equivalente en El Burrero .....	45
Figura 4.4 Representación 3D del nivel de ruido continuo equivalente en El Burrero .....	46
Figura 4.5 Representación del nivel de ruido continuo equivalente en el Campus de Tafira (Norte).....	47

Figura 4.6 Representación del nivel de ruido continuo equivalente en el Campus de Tafira (Sur) .....	48
Figura 4.7 Representación del nivel de ruido continuo equivalente en el Campus del Obelisco .....	48
Figura 4.8 Representación del nivel de ruido continuo equivalente en el Campus de Montaña Cardones .....	49
Figura 4.9 Representación del nivel de ruido continuo equivalente en el Campus de San Cristóbal .....	49
Figura 4.10 Representación del nivel de ruido continuo equivalente en la Avenida Marítima .....	50
Figura 4.11 Representación del nivel de ruido continuo equivalente en Siete Palmas .....	50
Figura 4.12 Representación del nivel de ruido continuo equivalente en el Parque Rural de Doramas .....	51
Figura 4.13 Representación del nivel de ruido continuo equivalente en Triana – Francisco Gourié .....	51
Figura 4.14 Señal $x[n]$ con los $L_{Aeq,T}$ de cada período del día.....	52
Figura 4.15 Señal diferencia ( $S_M$ ) resultante en el Campus de Tafira Norte.....	53
Figura 4.16 Energía frente a variabilidad de señales diferencia de los escenarios de medida.....	54
Figura 5.1 Estructura del <i>cell</i> de almacenamiento .....	58
Figura 5.2 Entropía de Shannon en el Campus de Tafira (Norte).....	58
Figura 5.3 Entropía de Shannon en el Campus de Tafira (Sur) .....	59
Figura 5.4 Entropía de Shannon en el Campus del Obelisco.....	60
Figura 5.5 Entropía de Shannon en el Campus de San Cristóbal .....	60
Figura 5.6 Entropía de Shannon en el Campus de Montaña Cardones.....	61
Figura 5.7 Entropía de Shannon en El Burrero.....	62
Figura 5.8 Entropía de Shannon en Siete Palmas .....	62
Figura 5.9 Entropía de Shannon en la Avenida Marítima .....	63
Figura 5.10 Entropía de Shannon en la Triana – Francisco Gourié.....	64
Figura 5.11 Entropía de Shannon en el Parque Rural de Doramas - Osorio.....	64
Figura 5.12 Divergencia KL entre el Campus de Tafira Norte consigo mismo .....	65
Figura 5.13 Divergencias KL entre el Campus de Tafira Norte y Sur.....	66
Figura 5.14 Divergencias KL entre el Campus de Tafira (Norte) y el Campus del Obelisco.....	66
Figura 5.15 Divergencias KL entre el Campus de Tafira (Norte) y el Campus de San Cristóbal.....	67

Figura 5.16 Divergencias KL entre el Campus de Tafira (Norte) y el Campus de Montaña Cardones.....	67
Figura 5.17 Divergencias KL entre el Campus de Tafira (Norte) y El Burrero.....	67
Figura 5.18 Divergencias KL entre el Campus de Tafira (Norte) y Siete Palmas .....	68
Figura 5.19 Divergencias KL entre el Campus de Tafira (Norte) y la Avenida Marítima.....	68
Figura 5.20 Divergencias KL entre el Campus de Tafira (Norte) y Triana – Francisco Gourié.....	69
Figura 5.21 Divergencias KL entre el Campus de Tafira (Norte) y el Parque Rural de Doramas – Osorio.....	69
Figura 5.22 Divergencia KL Simétrica entre el Campus de Tafira Norte consigo misma.....	70
Figura 5.23 Divergencia de KL Simétrica entre las partes Norte y Sur del Campus de Tafira .....	70
Figura 5.24 Divergencia de KL Simétrica entre el Campus de Tafira Norte y el Campus del Obelisco.....	71
Figura 5.25 Divergencia de KL Simétrica entre el Campus de Tafira Norte y el Campus de San Cristóbal.....	71
Figura 5.26 Divergencia de KL Simétrica entre el Campus de Tafira Norte y el Campus de Montaña Cardones.....	72
Figura 5.27 Divergencia de KL Simétrica entre el Campus de Tafira Norte y El Burrero .....	72
Figura 5.28 Divergencia de KL Simétrica entre el Campus de Tafira Norte y Siete Palmas.....	73
Figura 5.29 Divergencia de KL Simétrica entre el Campus de Tafira Norte y la Avenida Marítima.....	73
Figura 5.30 Divergencia de KL Simétrica entre el Campus de Tafira Norte y Triana – Francisco Gourié .....	74
Figura 5.31 Divergencia de KL Simétrica entre el Campus de Tafira Norte y el Parque Rural de Doramas .....	74
Figura 6.1 Número de personas encuestadas por entorno.....	78
Figura 6.2 Percepción de nivel de ruido.....	78
Figura 6.3 El ruido le impide llevar una vida normal.....	79
Figura 6.4 Interfiere el ruido en su descanso nocturno .....	80
Figura 6.5 Está acostumbrado al ruido de su entorno.....	80
Figura 6.6 Considera excesivo el ruido al que está sometido .....	81
Figura 6.7 Considera necesario un cambio para vivir en mejores condiciones acústicas.....	81
Figura 6.8 Valoración ruido Multitud.....	82

Figura 6.9 Valoración ruido tráfico.....	83
Figura 6.10 Valoración ruido aviones.....	83
Figura 6.11 Valoración ruido mar .....	84
Figura 6.12 Valoración ruido aves .....	84
Figura 6.13 Valoración ruido animales.....	85
Figura 6.14 Valoración ruido viento.....	85
Figura 6.15 Valoración ruido procedente de vecinos .....	86
Figura 6.16 Valoración ruido lluvia .....	86
Figura 6.17 Frecuencia con la que se ve afectado en su descanso por el ruido.....	87
Figura 6.18 Valoración sobre vivir en el entorno evaluado .....	88
Figura 6.19 Valoración sobre vivir en una zona de playa solitaria.....	88
Figura 6.20 Valoración sobre vivir en una playa concurrida.....	89
Figura 6.21 Valoración sobre vivir en una zona ventosa .....	89
Figura 6.22 Valoración sobre vivir en una zona recreativa concurrida.....	90
Figura 6.23 Valoración sobre vivir en una zona de campo solitaria .....	90
Figura 6.24 Valoración sobre vivir en zonas verdes .....	91

## Índice de Tablas

<b>Tabla 3.1 Listado de los diez emplazamientos de medida .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 4.1 Resumen de niveles continuos equivalentes por escenario.....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla P.1 Costes de las herramientas hardware.....</b>	<b>128</b>
<b>Tabla P.2 Costes de las herramientas software .....</b>	<b>129</b>
<b>Tabla P3. Factor de corrección en función del número de horas invertidas ..</b>	<b>130</b>
<b>Tabla P4. Costes de ejecución material .....</b>	<b>131</b>
<b>Tabla P5. Costes de material fungible .....</b>	<b>131</b>
<b>Tabla P6. Coste total del TFG .....</b>	<b>132</b>



# LISTADO DE ACRÓNIMOS

2D: 2 Dimensiones.

3D: 3 Dimensiones.

a.C = Antes de Cristo.

AENA = Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea.

BD = Base de datos.

EITE = Escuela de Ingeniería de Telecomunicación y Electrónica.

COIT = Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación.

COITT = Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos de Telecomunicación.

dB = Decibelio.

d.C = Después de Cristo.

DKL = Divergencia de Kullback-Leibler.

GC = Gran Canaria.

Hz = Hertzio.

IGIC = Impuesto General Indirecto Canario.

IUSA = Instituto Universitario de Sanidad Animal y Seguridad Alimenticia.

KL = Kullback-Leibler.

MATLAB = Laboratorio de matrices.

OMS = Organización Mundial de la Salud.

Pa = Pascales.

PC = Ordenador personal.

PCM = Modulación por impulsos codificados.

PFC = Proyecto Fin de Carrera.

RAM = Memoria de acceso aleatorio.

SAI = Sistema de Alimentación Ininterrumpida.

SPL = Nivel de Presión Sonora.

STFT = Transformada de Fourier de Tiempo Reducido.

TFG = Trabajo Fin de Grado.

ULPGC = Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

WAV = Waveform Audio File Format.



# I. MEMORIA



## **Capítulo 1.**

### **Introducción**

---

En este capítulo se llevará a cabo una explicación introductoria a la acústica y su historia. Se hará una introducción a las diferentes ramas de la acústica y a su relación con la calidad de vida de las personas. Por último, se comentarán las motivaciones que llevan a la realización del estudio, así como los objetivos a conseguir, plan de trabajo llevado a cabo para cumplir los mismos y la estructura de la que dispondrá el presente documento.



### **1.1 Definición e historia de la Acústica**

Palabra derivada del griego “akoúein” que significa oír, y de “tiko” que es un sufijo que quiere decir “relativo a”, la Acústica es una rama de la ciencia Física clásica, cuyo origen puede remontarse a la antigüedad griega y romana, entre los siglos VI a.C y I d.C, teniendo en sus comienzos a la música como objeto de estudio, extendiéndose paulatinamente a los sonidos en general, en cuanto hace a su producción, a su forma de propagación, a las propiedades que posee y a su recepción, profundizándose los estudios en esta área del conocimientos sobre todo a partir de las ideas de la ilustración del siglo XVIII [1].

En la actualidad la Acústica se ha extendido en su aplicación a otras ciencias, tales como a la Arquitectura, Psicología, Biología o Medio Ambiente, distinguiéndose así, las ramas de Acústica Arquitectónica, que estudia la incidencia de los sonidos en las construcciones, para no interferir en la vida social; la Psicoacústica, que estudia la percepción del sonido en los humanos; la Bioacústica, que trata de la audición animal y su comprensión del sentido auditivo; y la Acústica Ambiental, que estudia las implicancias y los modos de control de los sonidos en espacios abiertos, etcétera [2].

### **1.2 Sonido y calidad de vida**

El ambiente sonoro desempeña un papel fundamental en la percepción de los visitantes de áreas recreativas. Los sonidos no deseados o inquietantes (ruido) no sólo son elementos perjudiciales para la salud, tal como lo define la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Centro Europeo para el Medio Ambiente y la Salud, sino que también se puede convertir en una cuestión global y en una creciente preocupación por la preservación de los espacios naturales debido a la perturbación de la fauna, la degradación de los ecosistemas o la pérdida de biodiversidad. Esta degradación puede tener consecuencias negativas en el funcionamiento de los ecosistemas y en su prestación de servicios vinculados al bienestar humano. Los impactos del ecoturismo tienden a concentrarse en las zonas de más alto valor y las actividades turísticas causan a menudo contaminación acústica. Por lo tanto, estos impactos se están convirtiendo en un interesante tema de investigación de conflicto entre recreación y los objetivos de

preservación de áreas protegidas. En cualquier caso, existe un vínculo conceptual entre la tranquilidad, la calidad ambiental y la salud humana que se han correlacionado con la estructura del paisaje [3] y con la naturaleza como un proveedor de experiencias que fortalecen el bienestar de las personas.

Por definición, las zonas tranquilas se componen de una serie de cualidades, tales como el aire y el agua, el suelo, el paisaje, la biodiversidad, el sonido y el clima. En este sentido, teniendo en cuenta que el ruido puede reflejar las actividades y procesos desempeñados dentro de un lugar determinado, la OMS sugiere que la tranquilidad está constituida por la ausencia de ruido en relación con las actividades humanas.

El papel de la tranquilidad en la mejora de la salud humana ha sido destacado desde la antigüedad, hecho que revela la calidad ambiental del paisaje. Teniendo en cuenta que la tranquilidad es un estado último de la mente, se necesita más investigación para definir la tranquilidad dentro de un "Paisaje Terapéutico", con el fin de formar un indicador ambiental de distribución de las enfermedades y calidad de vida.

### 1.3 Motivación

Los índices que se emplean para determinar la biodiversidad son muchos y cada uno se caracteriza por tener un campo de aplicación, por lo que no se puede usar ninguno de estos índices de manera global. Es por ello que la **primera y principal motivación** es determinar un **índice que pueda determinar la calidad acústica de vida independientemente de su ámbito de aplicación**.

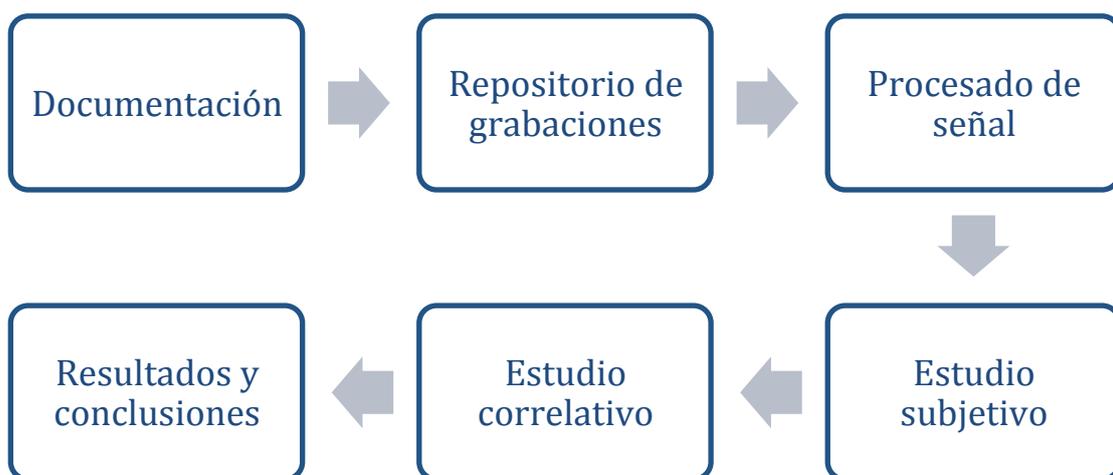
Por otro lado, hasta el momento se han realizado estudios que determinan los efectos negativos de la exposición a ruido para la salud humana, pero la **determinación de los efectos favorables** es un campo que aún está por explotar. El descubrimiento de las características y los atributos del paisaje y sus efectos sobre la salud es, por tanto, un campo con un gran desarrollo potencial.

### 1.4 Objetivos

En este proyecto se considera como primera hipótesis que es posible **cuantificar la agradabilidad** a partir del ruido ambiental y como segunda hipótesis que una **mayor presencia de biofonías** repercute en una **mayor calidad de vida** de los habitantes en núcleos poblados.

Para demostrar la primera hipótesis en el proyecto se desarrollará una medida de la calidad del ruido ambiental, además de medidas normalizadas de niveles de ruido, y para demostrar la segunda hipótesis se realizará un estudio comparativo en diferentes escenarios (entornos del aeropuerto, zonas de tráfico elevado, áreas comerciales, ambiente universitario y espacios naturales) de los resultados obtenidos por medio de la medida (estudio objetivo) y un estudio de la percepción subjetiva de la calidad de vida de los habitantes de los diferentes escenarios por medio de encuestas (estudio subjetivo). Por último, se estudiarán ambas hipótesis de forma conjunta, con el fin de demostrar la tesis de que existe una percepción de mayor calidad de vida en los escenarios en los que se han medido una mayor presencia de fauna animal.

Para llevar a cabo la realización de los objetivos se sigue el siguiente diagrama de bloques:



**Figura 1.1 Tareas a realizar para el cumplimiento de los objetivos del TFG**

## 1.5 Estructura del documento

El documento se encuentra dividido en tres bloques: Memoria, Pliego de Condiciones y Presupuesto.

El bloque Memoria consta de 8 capítulos en los que se tratan diferentes aspectos acerca del presente Trabajo Fin de Grado:

### **Capítulo 1, Introducción.**

En este capítulo se inicia al lector en una breve explicación de la Acústica, desde su historia hasta el su uso en diferentes disciplinas. Se hará hincapié en la Acústica Ambiental, en los efectos del sonido en la calidad de vida de las personas y en los estudios que se han realizado hasta la fecha, con el fin de determinar los objetivos y las motivaciones que han llevado a la realización de este trabajo.

### **Capítulo 2, Estado del arte.**

En este capítulo se lleva a cabo una explicación sobre la importancia del estudio del paisaje sonoro y sus aplicaciones. Continúa con una introducción al concepto de geofonías, biofonías y tecnofonías y, además, se señalan los índices que contemplan el sonido que se utilizan para estimar la biodiversidad. Por último, se comentan algunas de las técnicas empleadas para mejorar el ambiente acústico.

### **Capítulo 3, Repositorio de grabaciones.**

Este capítulo comienza con una descripción acerca de los emplazamientos elegidos para realizar las medidas. También se explica el proceso de medida que se llevará a cabo y de los equipos necesarios. Continúa con las consideraciones de diseño a la hora de crear la base de datos y, finalmente, se describe el repositorio de grabaciones y cómo se ubicarán y denominarán los archivos.

### **Capítulo 4, Análisis sonométrico.**

En este capítulo se extraen los resultados del repositorio de grabaciones detallado en el *capítulo 3*. Se comienza con un marco teórico donde se introducen los conceptos que se van a manejar en el capítulo. Posteriormente se comenta cuál es la sistemática llevada a cabo y, consecutivamente, se procede con un análisis de los niveles acústicos por entorno, resaltando las horas de ruido más notables. Además, se discute qué método representativo es el más adecuado.

**Capítulo 5, Análisis de las señales**

En este capítulo se analizan los archivos del repositorio de grabaciones detallado en el *capítulo 3*. En primer lugar se comentan las técnicas de procesado de señal que se van a emplear. Posteriormente se explica cómo se ha hecho el algoritmo utilizado y el almacenamiento de los valores. Por último, se analizan los resultados obtenidos.

**Capítulo 6, Análisis subjetivo.**

En este capítulo se analizará la percepción subjetiva en los escenarios de medida. En la primera parte se comenta la estructura del cuestionario realizado y el procedimiento seguido para efectuar las encuestas. En su final, se explican los resultados obtenidos en cada entorno.

**Capítulo 7, Análisis de los resultados.**

En este capítulo se utilizan los resultados comentados en secciones anteriores con el fin de elaborar un análisis más profundo en que se relacionen los 3 estudios realizados en este Trabajo Fin de Grado.

**Capítulo 8, Conclusiones y líneas futuras.**

En este capítulo se evaluarán los resultados obtenidos y hasta qué punto se han conseguido los objetivos planteados. Finalmente, se añade un apartado con algunas pinceladas de las posibles líneas futuras de actuación que podrían complementar éste trabajo.

Como parte de la memoria también se incluyen los anexos correspondientes, y la bibliografía consultada para la realización del conjunto de tareas. En el bloque referente al presupuesto se muestra el coste de realización del presente trabajo, y previamente se encuentra el pliego de condiciones.



## **Capítulo 2.**

### **Estado del arte**

---

En este capítulo se lleva a cabo una explicación sobre la importancia del estudio del paisaje sonoro y sus aplicaciones. Continúa con una introducción al concepto de geofonías, biofonías y tecnofonías y, además, se señalan los índices que contemplan el sonido que se utilizan para estimar la biodiversidad. Por último, se comentan algunas de las técnicas empleadas para mejorar el ambiente acústico.



## 2.1 Estado del arte

Entre los diferentes descriptores de un paisaje, el ambiente sonoro, o paisaje sonoro, ha sido hasta hace unos años muy poco considerado. La pérdida o reducción del volumen de fauna animal es una realidad que sufren los núcleos poblados y en especial las ciudades, hecho que repercute en la percepción medioambiental de los habitantes.

Los sonidos producidos en el medio ambiente de carácter geofísico (geofonías), como los creados por agentes naturales (viento, lluvia, flujo de agua, erupciones volcánicas o movimientos sísmicos); biológico (biofonías), como los sonidos animales; y antropogénico (tecnofonías), aquellos sonidos generados por el hombre, han demostrado ser un indicador importante de la calidad de un sistema [4]. Al no utilizar el enfoque sonoro, mucha de la información sobre los entornos es ignorada o subestimada, lo que conlleva a una importante pérdida de datos que son significativos para la conservación. Se ha demostrado que existe de una estricta relación entre la ecología y el sonido [5, 6], por lo que el análisis del sonido a través de determinados índices podría ser muy útil.

Las tres fuentes mencionadas anteriormente se mezclan porcentualmente de acuerdo con las características ambientales; por ejemplo, en las zonas urbanas, predominan las tecnofonías, mientras que en los bosques, las biofonías. La proporción de tecnofonías presentes en el paisaje sonoro también determina su calidad. Por ejemplo, una alta fidelidad (Hi-Fi) en un ambiente sonoro se caracteriza por la capacidad de un oyente de distinguir fácilmente varios sonidos entre sí (una zona tranquila sin la presencia de ruidos), mientras que un entorno con baja fidelidad (Lo-Fi) tiene un nivel de ruido que impide la capacidad de los oyentes para distinguir entre diferentes sonidos que componen el paisaje sonoro (por ejemplo, en una estación de ferrocarril o cerca de un aeropuerto)[7]. Por tanto, el hecho de ignorar el enfoque sonoro a la hora de analizar estos ecosistemas conlleva a una importante pérdida de datos significativos para la conservación. Además, los sonidos presentes en la naturaleza pueden tener un papel importante en la evaluación de la calidad de un lugar, representar un recurso espiritual y en varios casos se valora como una atracción turística. Cuando el sonido es no deseado, se le considera ruido y, si su intensidad es demasiado alta o su duración es muy elevada, puede crear

problemas de salud tanto en los seres humanos como estrés fisiológico en animales. El paisaje sonoro además actúa como un entorno informativo para los animales, así como de flujo de comunicación entre individuos y grupos en el que se han realizado una importante cantidad de estudios interpretando cánticos.

El Índice de Entropía, basado en el algoritmo de Shannon [8], se utiliza para evaluar la diversidad acústica y estimar la biodiversidad. El Índice de Complejidad Acústica[9] es otro indicador que se utiliza para describir las diferencias en las amplitudes registradas en las bandas de frecuencia seleccionadas.

### Índice de Entropía Acústica (H)

Si  $x(t)$  es una serie temporal de longitud  $n$ , la envolvente en amplitud de oscilación se obtiene con la señal analítica  $j(t)$  de  $x(t)$ . La señal analítica se define como:

$$\xi(t) = x(t) + ix_H(t) \tag{2.1}$$

donde  $i^2 = -1$  y  $x_H(t)$  es la transformada Hilbert de  $x(t)$ .

La función de probabilidad de la envolvente en amplitud  $A(t)$  se obtiene como:

$$A(t) = \frac{|\xi(t)|}{\sum_{t=1}^n |\xi(t)|}, \text{ tal que } \sum_{t=1}^n A(t) = 1 \tag{2.2}$$

En teoría de señal, la entropía  $H$  de una variable aleatoria  $X$  con la función de probabilidad  $p_X(x)$  se define como:

$$H(X) = \int_{-\infty}^{\infty} p_X(x) \cdot \log_2 p_X(x) dx \tag{2.3}$$

El Índice de Shannon es el segundo índice más utilizado para la biodiversidad, después de la riqueza de especies (número de especies). En general, se mide en un conjunto de categorías que difieren en frecuencias. Aumenta con la uniformidad de las frecuencias de las categorías y con el número de categorías. El valor máximo del índice de Shannon depende del número de categorías ( $\log_2(n)$ ). Los sonidos de los animales en el campo afectarán la envolvente de amplitud en cada unidad de tiempo. Para obtener un índice que únicamente se vea afectado por

los sonidos de los animales, se divide el índice de Shannon por su máximo. El índice obtenido mide la uniformidad de la envolvente en amplitud en el tiempo.

La entropía temporal  $H_t$  se calcula de la siguiente forma:

$$H_t = - \sum_{t=1}^n A(t) \cdot \log_2 A(t) \cdot \log_2(n)^{-1}, \text{ con } H_t \in [0,1] \quad (2.4)$$

Del mismo modo, para calcular la entropía espectral, un espectro medio  $s(f)$  se calcula utilizando la Transformada de Fourier de Tiempo Reducido (STFT) basada en una función con ventana deslizante sin solapamiento con un ancho de la muestra  $\tau$ . Este espectro medio  $s(f)$  se transforma de manera similar en una función de probabilidad  $S(f)$  de longitud  $N$  usado para calcular la entropía espectral  $H_f$ :

$$H_f = - \sum_{f=1}^N S(f) \cdot \log_2 S(f) \cdot \log_2(N)^{-1}, \text{ con } H_f \in [0,1] \quad (2.5)$$

Finalmente, el Índice de Entropía  $H$  se calcula como el producto de las dos entropías temporales y espectrales ( $H = H_t \cdot H_f$ , con  $H \in [0,1]$ ).  $H$  tenderá a 0 para un solo tono puro, aumenta con el número de bandas de frecuencia y modulaciones de amplitud, y tiende hacia 1 para un ruido aleatorio. Análogamente,  $H$  aumenta con el número de especies que emiten sonidos.

### Índice de Disimilitud Acústica (D)

La disimilitud entre dos señales  $x_1(t)$  y  $x_2(t)$  de la misma duración digitalizada con la misma frecuencia de muestreo se puede estimar calculando la diferencia entre sus funciones de probabilidad dividido por 2 para obtener valores entre 0 y 1:

$$D_t = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^n |A_1(t) - A_2(t)|, \text{ con } D_t \in [0,1] \quad (2.6)$$

De manera análoga, la disimilitud espectral se calcula como:

$$D_f = \frac{1}{2} \sum_{f=1}^N |S_1(f) - S_2(f)|, \text{ con } D_f \in [0,1] \quad (2.7)$$

El índice de disimilitud acústica se calcula como el producto de las dos diferencias temporales y espectrales ( $D = D_t \cdot D_f$ , con  $D \in [0,1]$ ). En este caso,  $D$  aumenta con el número de especies no compartidas entre los coros.

La evaluación de la biodiversidad a grandes escalas espaciales y temporales necesita métodos rápidos y fiables para evaluar con facilidad y comparar la riqueza de especies tanto en hábitats accesibles como remotos. Aprovechando el sonido producido por los animales, el objetivo es construir índices de diversidad fáciles de calcular y de repetir. En los estudios se han probado con coros “artificiales” conocidos y se ha demostrado que el número de especies que aplicando la información estadística de Shannon aumenta de 0 a 1 con la entropía de la señal, o heterogeneidad ( $H$ ). Por tanto, valores altos de  $H$  indican entonces los hábitats más ricos en cuanto a biodiversidad. La variabilidad de  $H$  disminuye con el número de especies, lo que indica que se puede esperar algún error en las comunidades con muy pocas especies. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando una sola especie produce un sonido que cubre un amplio espectro de frecuencias, como ocurre en el caso de las especies de la cigarra que emiten canciones similares al ruido. Del mismo modo, las geofonías y antropfonías también pueden reducir la fiabilidad del índice  $H$ . Sin embargo, un filtro paso alto con una frecuencia de corte de alrededor de 200 Hz se puede utilizar para eliminar selectivamente las componentes de baja frecuencia debidas al ruido.

El proceso psicológico de atribuir significado a ciertos sonidos por los seres humanos conduce a las respuestas fisiológicas básicas, tales como cambios en los niveles de presión arterial, la frecuencia cardíaca, la profundidad y el ritmo de la respiración, el tamaño de la pupila o niveles hormonales relacionados con la ansiedad, y que a largo plazo pueden ser muy graves. Los efectos conocidos van desde molestias hasta la privación del sueño, el deterioro cognitivo, enfermedades cardíacas y la pérdida de audición. En general, no hay evidencia de que existan efectos contraproducentes para la salud a niveles de exposición inferiores a 30dB(A), pero sí efectos adversos moderados entre 40dB(A) y 55 dB(A) y efectos graves durante la exposición continuada a partir de 55 dB(A). Por ejemplo, Van Kempen[10] demostró en su estudio que el riesgo de sufrir cardiopatía isquémica aumentaba en un 1,09% por cada aumento en 5 dB de exposición de ruido durante el día entre los 50 y 70 dB(A). Por su parte, Babisch[11] llevó a cabo un análisis de

61 estudios de exposición al ruido, y concluyó que los niveles de exposición diurnos en zonas urbanas son en su mayoría superiores a 50dB(A) y que las personas que viven junto a carreteras y aeropuertos experimentan una exposición prolongada al ruido superior 75 dB(A), lo que conlleva a una mayor probabilidad de sufrir un infarto de miocardio. En niveles superiores a 130 dB(A), las personas experimentan dolor y pérdida de la audición.

En lo que respecta a la mejora del paisaje sonoro mediante el uso de sonidos naturales, se ha llevado a cabo un estudio sobre las posibilidades de aplicación de sonidos acuáticos existentes en espacios abiertos para la mejora del paisaje sonoro.

En primer lugar, se introdujeron diferentes sonidos naturales de manera que puedan enmascarar el ruido de tráfico y de construcciones en espacios abiertos. Se escogieron nueve sonidos que cubren diversos tipos de sonidos naturales para determinar cual era el más eficaz como enmascarador de ruidos urbanos. Estos sonidos proceden de un CD de efectos de sonido denominado *Sony Pictures Sound Effects Series*, que incluye los siguientes sonidos: Cascada, Lluvia, Corriente, Olas en un lago, Aves en un bosque, Aves en un puerto, Insectos, Campanas de iglesia y Viento.

Se adoptó un método de comparación por parejas para evaluar la preferencia de sonidos. Después de la presentación de cada pareja, se pidió a los sujetos responder a la siguiente pregunta: ¿Qué estímulos prefiere si fuese expuesto a él en un espacio urbano? El SPL de los sonidos naturales fue de 58 y 62 dBA para los ruidos de tráfico y de construcción, respectivamente, considerando un nivel de sonido real de estos ruidos.

Los resultados de este experimento auditivo se representan gráficamente en la *Fig. 2.1*, donde un valor mayor indica una mayor preferencia. Los 11 sujetos que hayan superado la prueba de consistencia mostraron juicios consistentes dentro de un intervalo de confianza del 95%. Esta prueba también indicó que hubo un acuerdo ( $p < 0.05$ ) significativo entre los sujetos. Como se muestra en la *Fig. 1*, el sonido de la corriente y de olas de lago fueron los más preferidos, por lo que demuestran ser un sonido natural eficaz para enmascarar los ruidos urbanos. Los sonidos de la lluvia, los pájaros en el puerto y el viento mostraron valores de preferencia relativamente bajos.

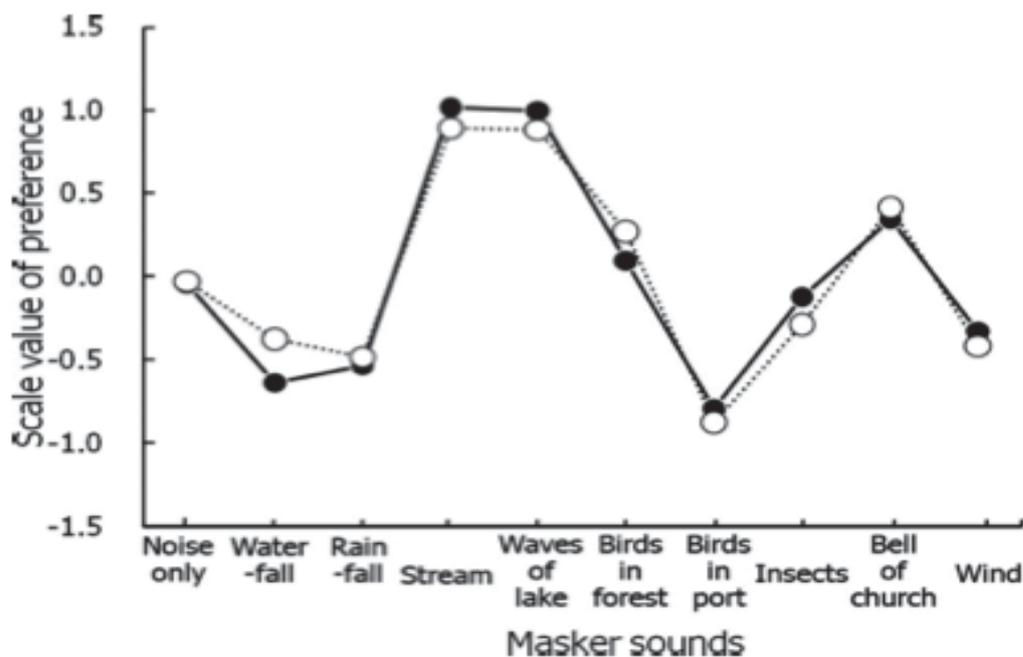


Figura 2.1 Sonidos naturales preferentes frente a ruido como enmascarador de ruido urbano. El punto negro representa el ruido de tráfico y el punto blanco el ruido de construcción

Una vez determinadas las fuentes naturales que mejor se adaptan al enmascaramiento, se realizaron pruebas de niveles para hallar la máxima diferencia posible entre el sonido urbano y el natural de manera que este último actúe eficazmente y se concluyó que el nivel de los sonidos acuáticos debe ser similar o no menos de 3 dB inferior al ruido urbano[12].

## **Capítulo 3.**

### **Repositorio de grabaciones**

---

Este capítulo comienza con una descripción acerca de los emplazamientos elegidos para realizar las medidas. También se explica el proceso de medida que se llevará a cabo y de los equipos necesarios. Continúa con las consideraciones de diseño a la hora de crear la base de datos y, finalmente, se describe el repositorio de grabaciones y cómo se ubicarán y denominarán los archivos.



### 3.1 Escenarios de medida

Se han definido cinco escenarios diferentes, cada uno con unas características particulares, dentro de los cuales se ha escogido una localización por escenario, a excepción del *Campus Universitario*, en el que se ha medido en los cinco campus existentes en Gran Canaria. En este escenario se ha partido del hecho de que el Campus de Tafira se divide en dos: Tafira Norte y Tafira Sur. A continuación se detallan algunos aspectos de estos espacios:

#### **Escenario 1: Entornos del Aeropuerto de Gran Canaria**

El aeropuerto de Gran Canaria está situado en la costa oriental de la isla de Gran Canaria, en la bahía de Gando. Ocupa terrenos pertenecientes a los municipios de Ingenio y Telde y está situado a 18 kilómetros de la capital de la isla, Las Palmas de Gran Canaria.

Debido a sus óptimas condiciones meteorológicas, el aeropuerto opera y presta sus servicios durante 24 horas todos los días del año, hecho que convierte al aeropuerto de Gran Canaria en un importante centro de negocios y turismo, facilitando el desarrollo económico de la zona.

En la actualidad, ocupa el quinto puesto de los aeropuertos españoles en cuanto a volumen de pasajeros, y el primero de las Islas Canarias. En el año 2014, superó los diez millones trescientos mil pasajeros, con un incremento del 5,6% respecto al 2013, registrándose en el citado año 2014 un total de 102.211 movimientos de aeronaves.



Figura 3.1 Delimitación del Sistema General Aeroportuario

Por su parte, Ingenio tiene una extensión de 38,15 km<sup>2</sup>, una población en torno a los 30.173 habitantes y está situado al sureste de la isla. Se ubica en una pendiente de 1.200 metros de altitud sobre el nivel del mar en su punto más alto, en la Caldera de Los Marteles. Dista 5 Km del aeropuerto nacional de Gran Canaria, el cual se encuentra en un 40% del terreno de este municipio.

Se caracteriza por ser un municipio en donde gran parte de su población se dedica al sector primario, y ve como el sector servicios va obteniendo cada vez más importancia en el casco urbano. Es, además, el pueblo artesano por excelencia de la isla de Gran Canaria.



Figura 3.2 Municipio de Ingenio

El escenario escogido para realizar las medidas es **El Burrero**, que se localiza en el término municipal de Ingenio, al sureste del aeropuerto. Se encuentra ocupado fundamentalmente por viviendas unifamiliares adosadas. Los niveles de inmisión máximos se producen en el límite más cercano al sector aeroportuario, estando comprendidos entre 55 y 60 dB(A) para el indicador  $L_{den}$ , según se recogen en la *Memoria de Mapas Estratégicos de Ruido – Aeropuerto de Gran Canaria(2007)* [13] [14].

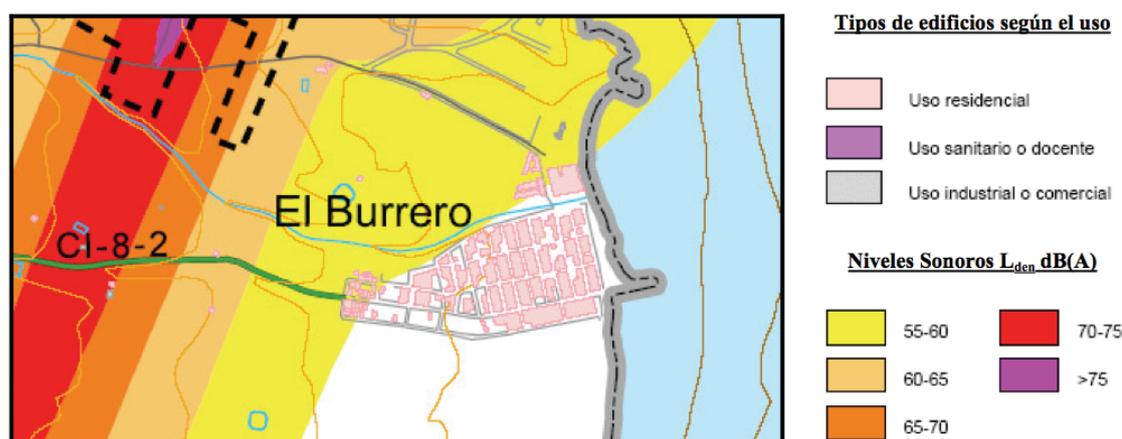


Figura 3.3 Datos extraídos del Mapa Estratégico de Ruido sobre El Burrero

A continuación se presenta un conjunto de fotos que describen el entorno escogido, así como la localización del kit de inemperie:

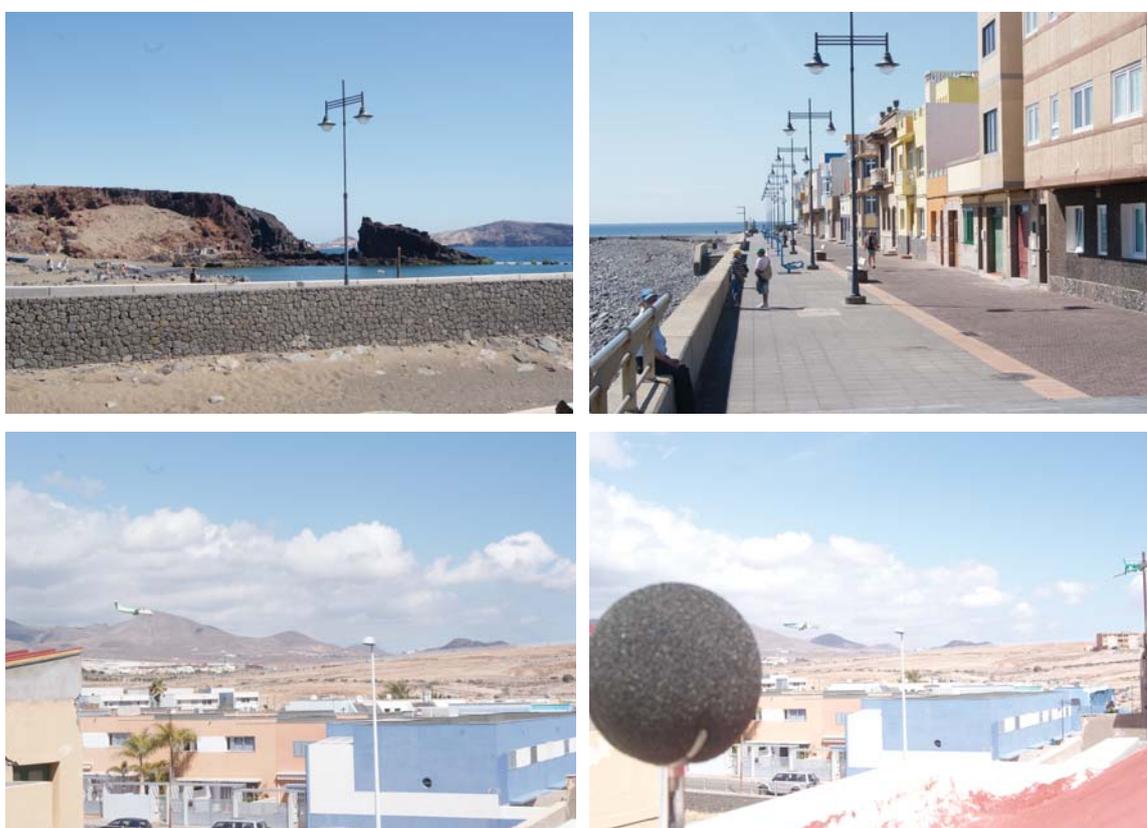


Figura 3.4 Zona de medida en El Burrero

### **Escenario 2: Zona de tráfico elevado**

Las principales carreteras del anillo insular de Gran Canaria someten cada día a más de 120.000 personas a ruidos superiores a los recomendables para la salud. Actualmente, en la capital grancanaria, el reparto modal en vehículo privado es del 40%, mientras que en transporte público tan solo llega al 29%.

El Gobierno de Canarias ha realizado estudios sobre las vías de la isla, con una intensidad media de tráfico superior a 16.000 vehículos diarios (tráfico anual superior a 6 millones de vehículos), los cuales demuestran que los sonidos indeseados tienen un impacto directo en 43.000 viviendas, siendo los entornos de las autovías del Sur y del Norte los núcleos más perjudicados.

El *Mapa Estratégico de Ruido de las Carreteras de Canarias*, promovido por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial, refleja que el 44% de los damnificados por la exposición al ruido sufre estas molestias durante el descanso nocturno.

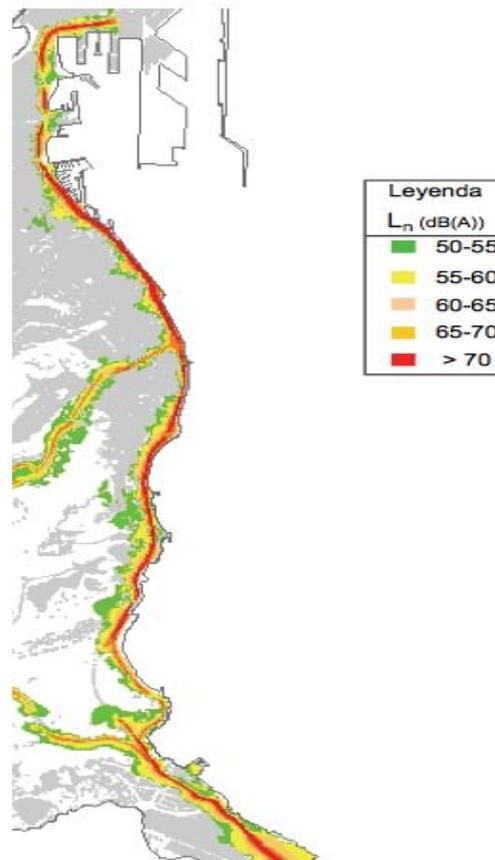


Figura 3.5 Detalle del Mapa Estratégico de Ruido de Tráfico viario de la Avda. Marítima

El escenario escogido para realizar la medida es la **Avenida Marítima** de Las Palmas de Gran Canaria, debido a que es la vía del Archipiélago que registra un mayor impacto acústico. Posee una longitud de aproximadamente 12 Km, desde el istmo de Santa Catalina hasta la Playa de La Laja.

En esta avenida se registran hasta 75 dB(A), nivel que supera con creces el recomendable (50 dB(A)), siendo una de las carreteras más transitadas de la isla, puesto que conecta los puntos más importantes y con más actividad de la capital. Es, además, la principal vía de acceso al Polígono Industrial de El Sebadal. Se accede, también, al Centro Comercial El Muelle, localizado en las inmediaciones del Parque Santa Catalina, uno de los puntos turísticos más importantes de Las Palmas de Gran Canaria [15].

Las siguientes imágenes muestran el emplazamiento escogido para realizar las medidas:



Figura 3.6 Zona de medida en la Avenida Marítima

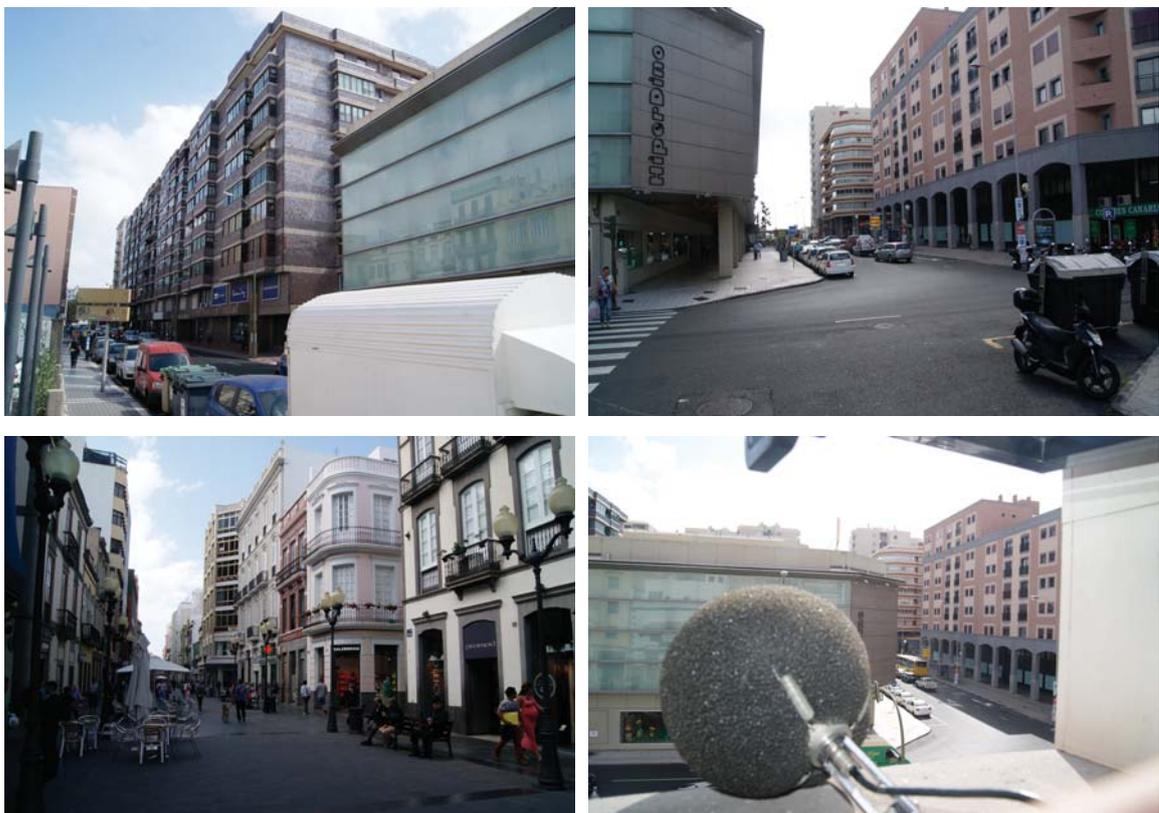


Figura 3.7 Zona de medida en Triana (c/ Fco. Gourié)

### **Escenario 3: Zona comercial**

El comercio, además de constituir una actividad económica importante, actúa como elemento dinámico de transformación y desarrollo espacial. Las Palmas de Gran Canaria es una ciudad que se describe como de elevada competencia comercial, debido a las numerosas zonas comerciales que se encuentran en los diferentes distritos de la capital.

Estos escenarios se caracterizan por contar con una gran afluencia de personas durante todos los días del año, lo que propicia que el ruido ambiente sea elevado y que, en algunos lugares, resulte molesto. Por otro lado, el tránsito de vehículos también es alto, tanto del servicio público (Guaguas Municipales) como del servicio privado.

El emplazamiento donde se ha realizado la grabación es en la **Zona Comercial Siete Palmas**, que se localiza en el municipio de Las Palmas de Gran Canaria, en el distrito de Ciudad Alta, y se extiende a lo largo de la mitad oeste del municipio. Se corresponde con una de las áreas de mayor crecimiento y el último eje de expansión urbana de la ciudad. Los centros comerciales de 7 Palmas y El Corte Inglés, el Estadio de Gran Canaria y el Gran Canaria Arena (pertenecientes al proyecto Ciudad Deportiva 7 Palmas) y su fácil comunicación mediante la circunvalación GC-3 convierten a esta zona en un espacio comercial preferente y accesible para toda la isla.

Estas dos grandes superficies han supuesto un importante impulso poblacional y económico en el barrio de Siete Palmas, pasando desde mediados de 1990 hasta la actualidad, de un espacio prácticamente deshabitado a un área urbana que constituye un importante polo de desarrollo de Las Palmas de Gran Canaria.

Hay que destacar, entre las infraestructuras creadas, los espacios verdes o parques, o la construcción del parque urbano de Siete Palmas, de nominado Parque Juan Pablo II, con una superficie total de 110.000 m<sup>2</sup>, el cual incluye, además, un espacio habilitado para perros. En cuanto a infraestructuras deportivas, destaca la ya mencionada anteriormente Ciudad Deportiva de 7 Palmas. En lo referente a infraestructuras de comunicación, se han realizado una serie de actuaciones con el fin de asegurar la accesibilidad respecto al resto de la ciudad y de la isla. Es importante también la presencia de la Circunvalación, que en

su recorrido a través de la periferia de la ciudad pasa muy cerca de esta área comercial y de la aglomeración urbana adyacente [16].

A continuación se presenta un conjunto de imágenes que describen el entorno escogido, así como la localización del kit de intemperie:



Figura 3.8 Zona de medida Siete Palmas

#### **Escenario 4: Campus Universitario de ULPGC**

La Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) es una universidad pública fundada en 1989 a partir de la Universidad Politécnica de Canarias y de varios centros hasta ese momento adscritos a la Universidad de La Laguna.

La ULPGC dispone de seis Campus, cuatro de los cuáles se encuentran en Gran Canaria (Campus de Tafira, Campus de San Cristóbal, Campus del Obelisco y Campus de Montaña Cardones) y otros dos en las islas de Lanzarote y Fuerteventura. Cuenta con más de 1.500 profesores, 153 grupos de investigación y 25.172 alumnos en el curso 2014/2015. Además, está ampliamente equipada con bibliotecas, salas de lectura y estudio, aulas de informática, aulas de idiomas y una oficina de Relaciones Internacionales.

A continuación se detallan los emplazamientos donde se han colocado los cinco puntos de medida:

### Campus Universitario de Tafira

El **Campus de Tafira** se encuentra situado a 10 kilómetros del centro de la ciudad, es el campus más extenso de la ULPGC ocupando una superficie de 820.000 m<sup>2</sup>, cuenta con más de 15.000 estudiantes matriculados y es el campus que concentra la mayor oferta docente y servicios comunes.

La concepción del Campus-Tafira ha respetado las áreas de protección que albergan vegetación de gran valor ambiental. En el interior existe un parque de carácter natural (reserva agroecológica), próximo a la Escuela de Arquitectura.

Este Campus está rodeado por un entorno básicamente rústico con muy escaso índice de consolidación, salvo en el enclave residencial interior de Zurbarán, y en los cercanos núcleos poblacionales de Tafira Alta y Tafira Baja.

La accesibilidad al Campus está muy bien repartida, tanto por la Circunvalación GC-3 como por la autovía GC-110. Por otra parte, Guaguas Municipales dispone de cuatro líneas para su acceso, y Global dispone de once [17] [18].



**Figura 3.9 Campus Universitario de Tafira**

En la siguiente figura se puede apreciar un conjunto de fotos que describen el escenario donde se han realizado las tomas de sonido:



Figura 3.10 Zona de medida en Tafira Norte

### Campus Universitario del Obelisco

El **Campus del Obelisco** se localiza en el centro de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria, concretamente en la Calle Pérez del Toro, a 8'5 km del Campus de Tafira y ocupa una superficie de más de 6.000 m<sup>2</sup> y cuenta con más de 2.000 estudiantes. Se halla en un terreno con una configuración llana, con la excepción de la elevación que experimenta en su parte trasera, en la que se ubica el edificio de Ampliación de Humanidades.

Frente a su acceso principal se encuentra la Plaza de la Constitución, en cuyo centro se encuentra el obelisco que da nombre al Campus. Este espacio pone a disposición del recinto un área de descanso para el alumnado.

Se trata de un recinto universitario fundamentalmente cerrado, que se puede considerar como un recinto aislado interior a la ciudad, a lo que se añade una cuidadosa selección de especies vegetales en torno a la urbanización [17] [18].

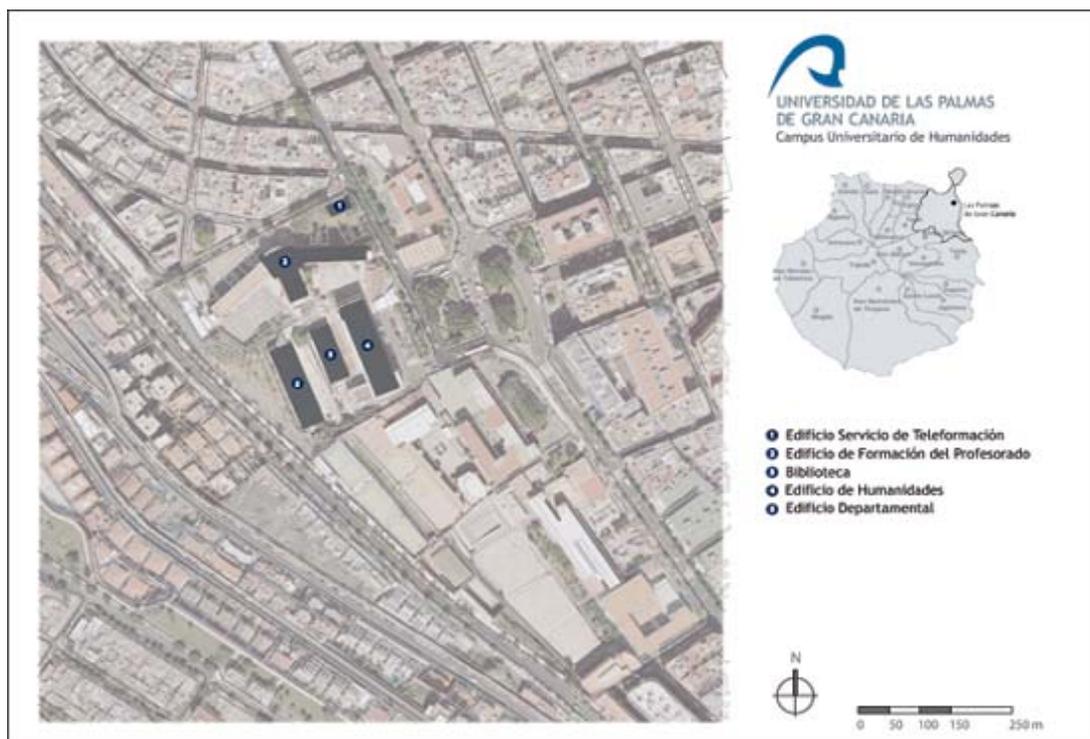


Figura 3.11 Campus Universitario del Obelisco



Figura 3.12 Zona de medida en el Campus del Obelisco

### Campus Universitario de San Cristóbal

El **Campus de San Cristóbal** se asienta sobre un alargado terreno situado al Sur de la ciudad, establecido en los años 70 como Colegio Universitario de Medicina y cuenta con más de 1.000 alumnos.

Está rodeado por una serie de elementos de muy diversa naturaleza. Por un lado, su fachada frontal, encuentra inmediatamente la presencia de la Avenida Marítima (GC-1) y, a continuación, el barrio de San Cristóbal y el Océano Atlántico; en sentido opuesto, hacia el Oeste, se halla la antigua carretera del sur (Paseo de San José o de Blas Cabrera Felipe) que anticipa el barrio de Zárata. El contorno del complejo universitario tiene en su lado norte el antiguo edificio de Ciencias de la Salud, anexo al Hospital Insular; en la zona central, el actual **Centro de Formación Permanente** (edificio “La Granja”), lugar donde se establecerá el equipo de medida; en el extremo Sur, los nuevos edificios del Aulario y de Servicios Generales. Junto a ellos se halla el Instituto de Medicina Legal. Dentro del perímetro que abarca todo el conjunto médico-universitario, se encuentran el Hospital Materno-Infantil y el complejo deportivo Ciudad Deportiva Gran Canaria.

El acceso principal al campus es la GC-1, principal arteria de comunicación con la ciudad y demás implantaciones de la ULPGC [17] [18].

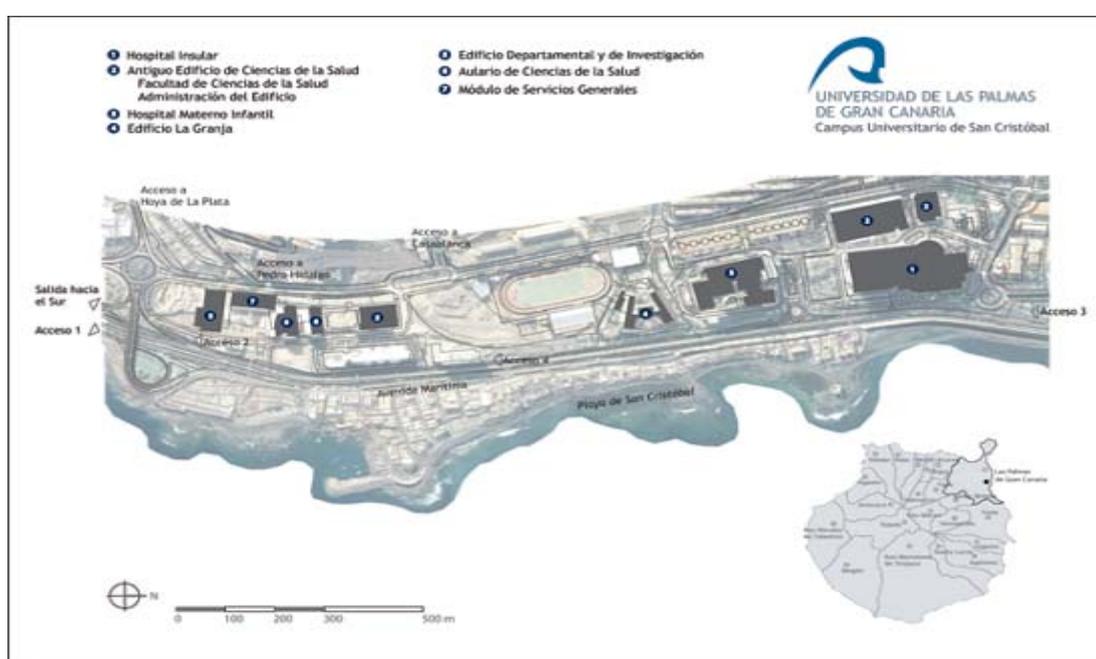


Figura 3.13 Campus Universitario de San Cristóbal



Figura 3.14 Zona de medida en el Campus de San Cristóbal

### Campus Universitario de Montaña Cardones

El **Campus de Montaña Cardones** se encuentra en el término Municipal de Arucas, establecido en 1994. Cuenta con más de 500 alumnos y se encuentra a 16'5 kilómetros del Campus de Tafira. Se asienta sobre un terreno con una configuración irregular, disponiéndose en una ladera orientada hacia el Norte.

En la proximidad del recinto hacia el Oeste se halla la Escuela de Capacitación Agraria; en sentido Norte, la Granja Agrícola Experimental del Cabildo Insular ocupa una gran extensión, en la que se halla también el Albergue Insular de Animales, limitada por la GC-2. En el lado Este se ubica el Instituto Universitario de Sanidad Animal y Seguridad Alimenticia (IUSA).

Se trata de un recinto universitario abierto, prácticamente aislado, al encontrarse en un sector apenas desarrollado. El acceso al Campus se toma por la carretera GC-20, la cual conduce al núcleo urbano de Arucas.

El campus posee un entorno meramente docente, sin ninguna función vivencial destacable. En su interior existe una zona de vegetación autóctona que se localiza en la plataforma superior del recinto. También destaca el espacio libre

frente a la entrada de la Biblioteca, que actúa como elemento de descanso [17] [18].

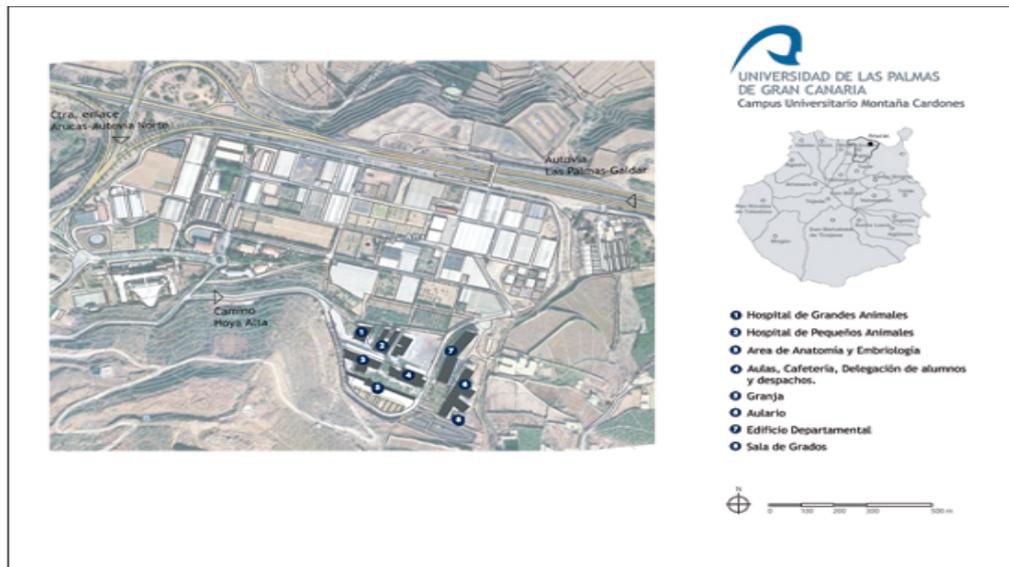


Figura 3.15 Campus Universitario de Montaña Cardones

En la siguiente figura se representa el lugar donde se realizaron las medidas acústicas:

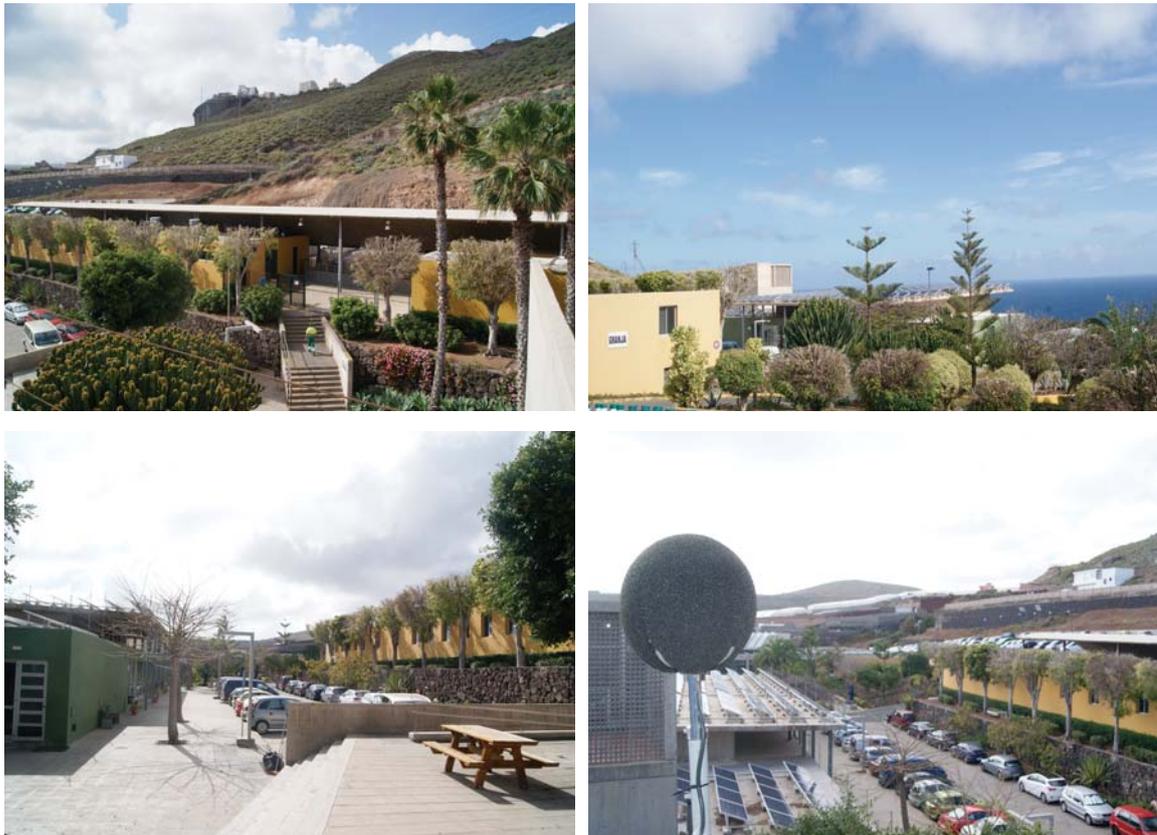


Figura 3.16 Zona de medida en el Campus de Montaña Cardones

### **Escenario 5: Espacio Natural Protegido**

Los parques naturales enfocan su atención en la conservación y mantenimiento de su flora y fauna. Pueden ser marítimos o terrestres y encontrarse en la montaña, en el mar, en el desierto o en cualquier otro espacio definido geográficamente. Gran Canaria ofrece una amplia gama de espacios protegidos que están catalogados con la denominación de parque nacional y parque natural. Estos espacios están integrados en un sistema de protección desarrollado para asegurar su conservación y estar abiertos al público y para investigar científicamente sus recursos naturales, así como fomentar una conciencia social conservacionista.

El espacio escogido para realizar la medida ha sido el **Parque Rural de Doramas**, que se sitúa en las medianías de la vertiente norte de la isla, extendiéndose sobre la cuenca de dos grandes barrancos, el de los Tilos de Moya y el de la Virgen-Azuaje. Ocupa una superficie de 3.586 hectáreas. Los intensos usos agrícolas, la reutilización de la zona como segunda residencia y el elevado número de entidades de población que sobre él se asientan, dan lugar a una gran proliferación de carreteras y pistas. La población que existe en esta zona es de aproximadamente 3.540 habitantes, distribuidos en 21 caseríos, siendo el más poblado el de Zumacal de Valleseco con 568 habitantes.

En este lugar se encuentra la mejor representación de Monteverde de la isla. Se trata de un paisaje eminentemente rural, en el que se mezclan áreas antropizadas de cultivos, poblamiento disperso y zonas más naturales. Los usos son intensos, por una agricultura tradicional de secano y regadío por la que se obtienen hortalizas y cítricos. También en determinadas zonas se da el pastoreo de ganado ovino.

El espacio desempeña un papel destacado en la recarga de acuíferos, sobre todo, en las cotas altas, donde el Monteverde condensa el agua que transporta la niebla. Alberga también bosquetes artificiales de especies introducidas, como eucaliptos, cipreses o castaños. En cuanto a la fauna, predominan especies que suelen habitar el bosque de laurisilva, destacando todo tipo de invertebrados y algunas aves.

En el interior del parque nos encontramos con la Finca y el **Mirador de Osorio**, una antigua casona del siglo XIX que hoy en día es una aula de la naturaleza y una escuela taller.

Este espacio fue declarado como Parque Natural de Doramas en 1987, y reclasificado en 1994 como Parque Rural [19].



Figura 3.17 Zona de medida en el Parque Rural de Doramas

En resumen, las diez localizaciones se concentran en la siguiente tabla:

<b>Entornos Aeropuerto</b>	<b>Zona de elevado tráfico</b>	<b>Zona comercial</b>	<b>Campus Universitario</b>	<b>Espacio Natural Protegido</b>
El Burrero	Avenida Marítima	Siete Palmas	Tafira Norte	Parque Rural de Doramas
		Triana	Tafira Sur	
			Obelisco	
			Montaña Cardones	
			San Cristóbal	

Tabla 3.1 Listado de los diez emplazamientos de medida

### 3.2 Proceso de medida

#### Conexión de los equipos

Para explicar el conexionado de los equipos que se van a utilizar en las medidas de intemperie se ha hecho uso del siguiente diagrama:

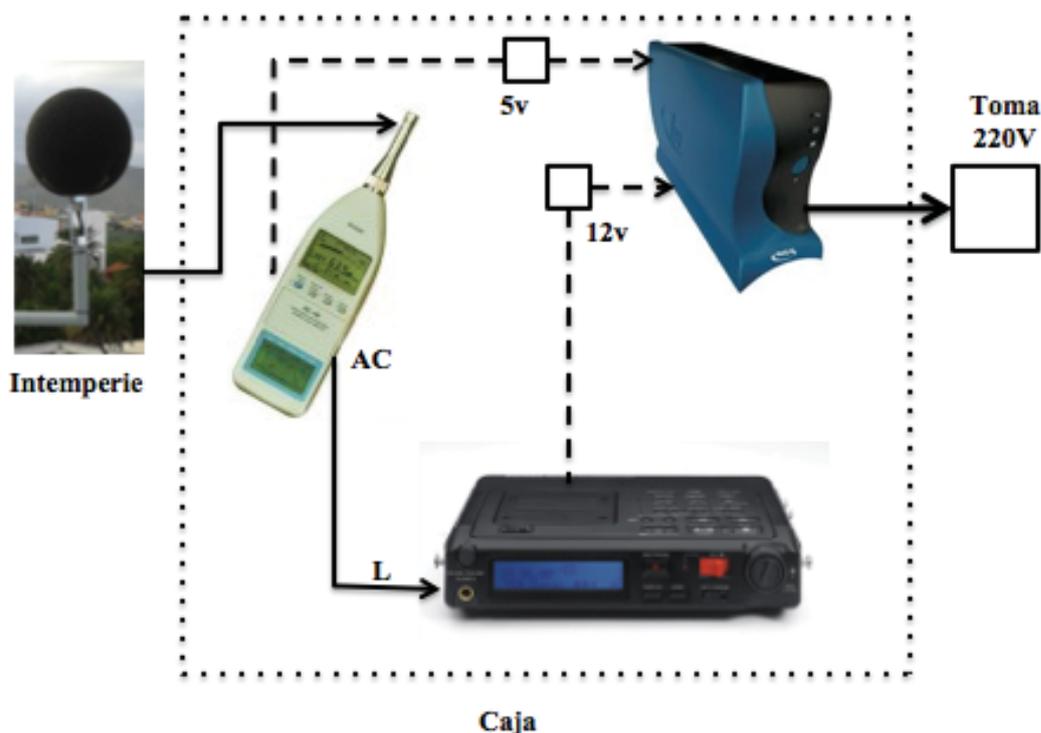


Figura 3.18 Diagrama del conexionado de los equipos

En primer lugar, se deberá calibrar el micrófono del sonómetro. Como el calibrador acústico genera un nivel de 94 dB, se necesita un nivel menor para poder obtener un nivel que se adecúe con el sonido que se va a medir, en este caso, sonido ambiente. Por tanto, se generará un tono de 1KHz que emita 55 dB aproximadamente, que se reproducirá desde un terminal móvil, situado a 15 cm del micrófono, con el fin de realizar la calibración previa a cada una de las medidas.

Durante la medición, el micrófono de condensador (el que incorpora el sonómetro RION NL-18), junto a la pantalla antiviento, irán anclados a un mástil que quedará sujeto a alguna superficie de manera que pueda quedar inmóvil y seguro durante las 24 horas de medida. Una vez instalado el sistema de intemperie, éste irá unido mediante un cable prolongador de micrófono al sonómetro que se hallará en la denominada *caja* donde se encuentran los equipos, situados ya en una zona interior del emplazamiento. La salida AC del sonómetro se unirá a la entrada *Left (L)* de la grabadora (al trabajar en *mono*, la entrada que se utiliza por defecto

es la L) que se encargará de almacenar en su tarjeta de memoria el audio registrado, con una modulación PCM, 16 bits por muestra, una frecuencia de muestreo de 11,2 KHz y formato WAV y se programará el equipo de manera que genere pistas diferentes cada hora, con el objetivo de tener 24 pistas de 1 hora, que serán añadidas con mayor facilidad en el entorno MATLAB. Por último, en cuanto al conexionado eléctrico, tanto el sonómetro como la grabadora se conectarán al Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) con un voltaje de 5 y 12 voltios respectivamente, con el fin de proporcionar energía eléctrica durante un tiempo limitado ante un posible apagón eléctrico, además de mejorar la calidad de la energía eléctrica que llega a las cargas, filtrando subidas y bajadas de tensión. El SAI finalmente irá conectado a la toma de corriente de 220 voltios.



Figura 3.19 Caja utilizada donde se ubican los aparatos descritos



Figura 3.20 Sistema de Intemperie utilizado (Campus Montaña Cardones)

### 3.3 Consideraciones de diseño

A la hora de realizar mediciones acústicas en diferentes entornos, se debe tener en cuenta diversos factores que pueden variar en el momento de las medidas, tales como la densidad de tráfico o las condiciones de temperatura que se hayan dado en el día de la instalación de los equipos. Estas consideraciones pueden afectar a la afluencia de personas presentes durante esos días.

El objetivo de la extracción del parámetro es la obtención de particularidades que permitan discriminar los sonidos presentes en el repositorio de grabaciones como agradables o menos agradables. Además, la característica a extraer debe ser lo suficientemente invariable como para estar presente en cualquier sonido.

#### 3.3.1 Sistema on-line u off-line

En el campo de la parametrización, los **sistemas off-line** son aquellos en los que la base de datos está disponible de antemano para el análisis y la extracción de parámetros. Por otro lado, los **sistemas on-line** son aquellos que, mediante un dispositivo electrónico, se recibe el dato que posteriormente será analizado.

En este caso, se utilizará el repositorio de grabaciones que se ha realizado, descrito en el apartado *3.4 Descripción de la base de datos*, por lo que se utilizará un sistema off-line.

### 3.4 Descripción de la Base de Datos

La BD utilizada en este trabajo es el propio repositorio de ficheros, formado por las 10 medidas descritas anteriormente, siendo uno de los objetivos de este Trabajo Fin de Grado.

Se trata de una base de datos dependiente de diversos factores, tales como el clima o el tráfico, debido a que se realizaron las medidas en días aleatorios, siempre intentando que se diesen circunstancias normales y no poco habituales.

Por otro lado, en relación al tamaño, se puede clasificar como una base de datos de **tamaño restringido**, donde las 10 carpetas contienen 24 archivos con una duración total de 24 horas, separados en archivos de 1 hora.

#### 3.4.1 Estructura

La base de datos está dividida en 10 carpetas, denominadas cada una de ellas por el lugar de medida (“Tafira Norte”, “Tafira Sur”, “Obelisco”, ...), dentro de las cuales se hallan distintos archivos. Por un lado se encuentran los datos extraídos del sonómetro en cuanto a niveles de ruido y, por otro lado, en todas las carpetas se halla otra subcarpeta denominada “16b11,2KHz”, que hace referencia a los bits y a la frecuencia de muestreo utilizados a la hora de grabar los audios.

A su vez, estas subcarpetas contienen los 24 ficheros de audio en formato WAV, denominados “1001”-“1024”, ordenados temporalmente, en los que el 1001 corresponde a las 00:00 horas, de manera que a la hora de procesar los archivos se tendrá siempre la misma referencia. Por otro lado, para distinguir los diferentes lugares de medida, lo que se ha modificado es la unidad de millar, que se ha cambiado por orden de medida, siendo los audios “10001”-“10024” los relativos a Osorio, último emplazamiento en el que se realizaron las tomas de sonido.

En la siguiente figura se muestra la estructura del repositorio:

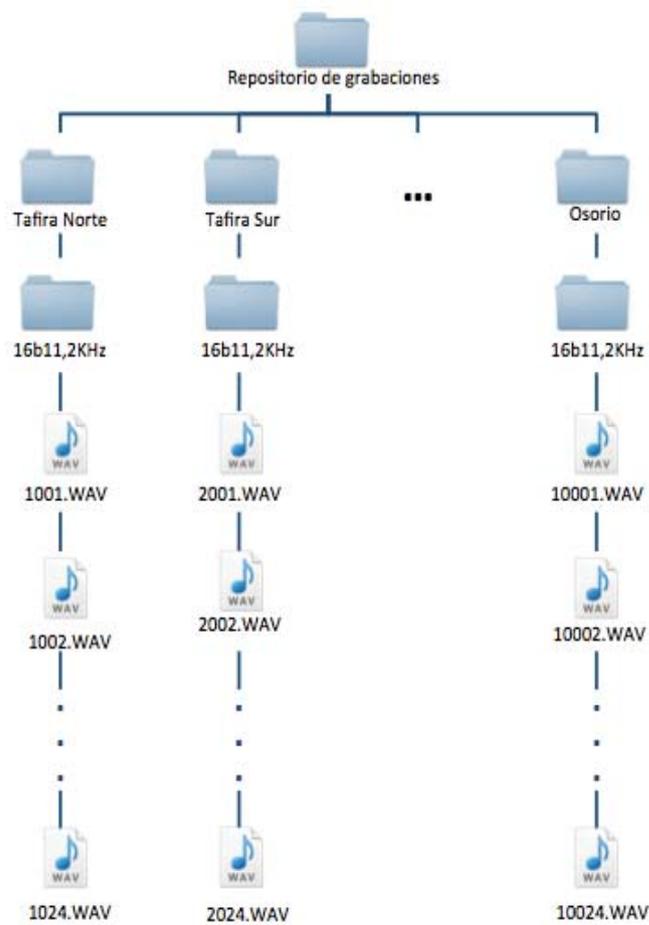


Figura 3.21 Estructura del repositorio de grabaciones

## **Capítulo 4.**

### **Análisis sonométrico**

---

En este capítulo se extraen los resultados del repositorio de grabaciones detallado en el *capítulo 3*. Se comienza con un marco teórico donde se introducen los conceptos que se van a manejar en el capítulo. Posteriormente se comenta cuál es la sistemática llevada a cabo y, consecutivamente, se procede con un análisis de los niveles acústicos por entorno, resaltando las horas de ruido más notables. Además, se discute qué método representativo es el más adecuado.



#### 4.1 Metodología Experimental

Lo primero que se debe determinar es el tipo de representación de niveles de ruido continuo equivalente que se va a emplear. Posteriormente se implementarán técnicas de procesado de señal, en las que se llevarán a cabo distintas pruebas donde se calcule la Divergencia de Kullback-Leibler y la Entropía de Shannon mediante un algoritmo de ventana deslizante.

Por otro lado, en cuanto al análisis de los cuestionarios, se analizarán los resultados en cada uno de los entornos de medida y se buscará cualquier tipo de tendencia o similitud, con el fin de poder caracterizar la agradabilidad acústica de esos entornos.

Finalmente, se tratará de relacionar el análisis objetivo con el subjetivo, con el fin de estimar un índice que cuantifique la aceptación acústica de un emplazamiento.

En el siguiente diagrama se ilustra de forma esquemática los distintos procesos a llevar a cabo en esta fase de experimentación para obtener los resultados definitivos:

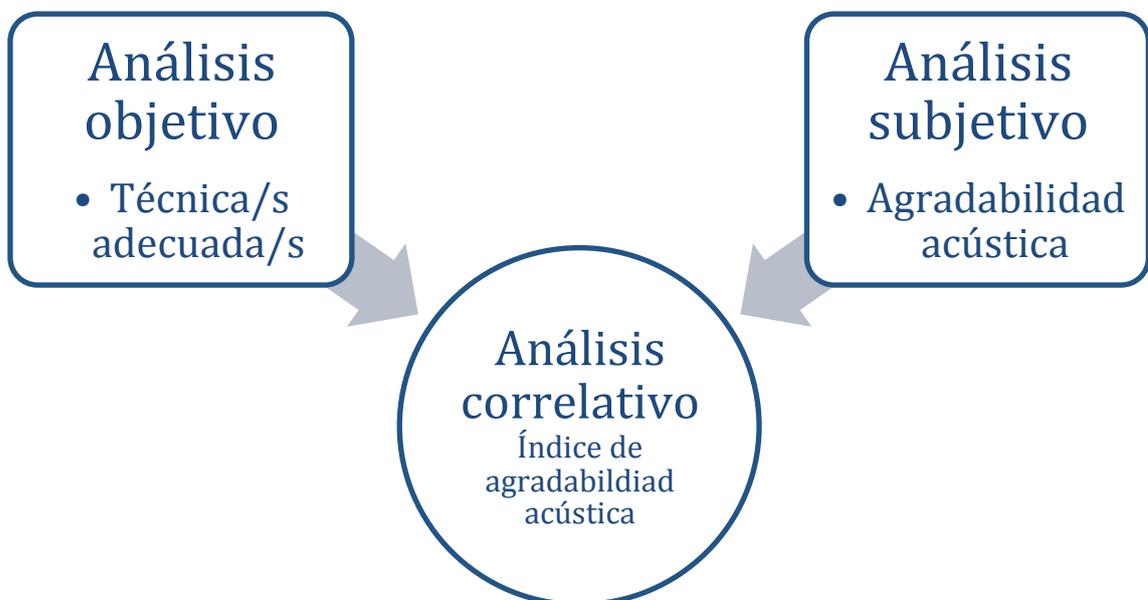


Figura 4.1 Proceso para obtener resultados definitivos

## 4.2 Marco teórico

Antes de pasar a comentar cómo se ha llevado a cabo el análisis sonoro se van a definir las unidades con las que se ha trabajado.

### 4.2.1 Nivel de presión sonora

El sonido es una sensación auditiva provocada por las vibraciones y ondas acústicas de frecuencia entre 20 Hz y 20.000 Hz., que pueden propagarse en un medio sólido, líquido o gaseoso. Inversamente a las ondas electromagnéticas, el sonido necesita de un medio para propagarse, no se propaga en el vacío. Cuando las frecuencias de excitación del fenómeno acústico son inferiores a 20 Hz. se habla de infrasonidos. Cuando son superiores a 20.000 Hz., de ultrasonidos.

Su magnitud es la presión acústica eficaz. A partir de la presión, se pueden deducir todas las otras magnitudes, pero como que el campo de los valores de la presión acústica es muy grande, (existen variaciones de presión que varían entre 0,00002 hasta 200 Pascales) se ha introducido como magnitud práctica el nivel de presión sonora en decibelios (dB), respecto de una presión de referencia correspondiente al umbral de presión auditiva, que en el caso del aire es de 20  $\mu$ Pa. Para medir el nivel de presión sonora se utiliza la fórmula:

$$L_p = 20 \log \left( \frac{P_1}{P_0} \right) \quad (4.1)$$

donde:

- $P_1$  es la media cuadrática de la presión sonora instantánea.
- $P_0$  es la presión de referencia (20  $\mu$ Pa).
- log es un logaritmo decimal.

### 4.2.2 Nivel sonoro continuo equivalente

Las curvas isofónicas o de igual sonoridad (curvas de Fletcher y Munson) describen los niveles sonoros que debe alcanzar una onda sinusoidal de una determinada frecuencia, para producir la misma sensación auditiva que un tono puro de 1 KHz y un nivel de intensidad dado. Para intentar aproximar los analizadores acústicos a la respuesta del oído, se crearon curvas de ponderación en frecuencia. Así, para niveles bajos de presión sonora se usa la ponderación A, que atenúa en mucha medida los bajos y en menor medida los agudos.

El nivel sonoro continuo equivalente,  $L_{eq,T}$ , se define como la media energética del nivel de ruido promediado en el intervalo de tiempo de medida. Puede considerarse como el nivel de un sonido, constante en todo el período de medida  $T$ , que tuviese la misma energía acústica que el sonido que se está valorando.

El  $L_{eq,T}$  ponderado A se denota como  $L_{Aeq,T}$ . Este parámetro no tiene sentido si no va acompañado de una base de tiempo o intervalo de observación, y se calcula a partir del valor cuadrático medio de la presión sonora ponderada A en un período de observación  $T$ :

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{p^2(t)}{p_0^2} \right) dt \right] (dBA) \quad (4.2)$$

Muchos equipos proporcionan el  $L_{Aeq}$  para un cierto intervalo  $\Delta t_i$ . Si se quiere determinar el  $L_{Aeq}$  correspondiente a un tiempo  $T$  formado por un conjunto de intervalos,  $\Delta t_i$ , se realiza:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N \Delta t_i \cdot 10^{\left( \frac{L_{Aeq,\Delta t_i}}{10} \right)} (dBA) \quad (4.3)$$

donde  $N$  es el número total de intervalos en los que se divide el tiempo  $T$  y  $L_{Aeq,\Delta t_i}$  es el nivel continuo equivalente ponderado A en el intervalo  $i$ -ésimo. Si todos los intervalos de muestreo son de la misma duración ( $\Delta t_i = \Delta t$  y  $T = N \cdot \Delta t$ ), la ecuación anterior se simplifica [21]:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \frac{\Delta t}{N \Delta t} \sum_{i=1}^N 10^{\left( \frac{L_{Aeq,\Delta t_i}}{10} \right)} = 10 \log \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\left( \frac{L_{Aeq,\Delta t_i}}{10} \right)} (dBA) \quad (4.4)$$

#### 4.2.3 Decibelio

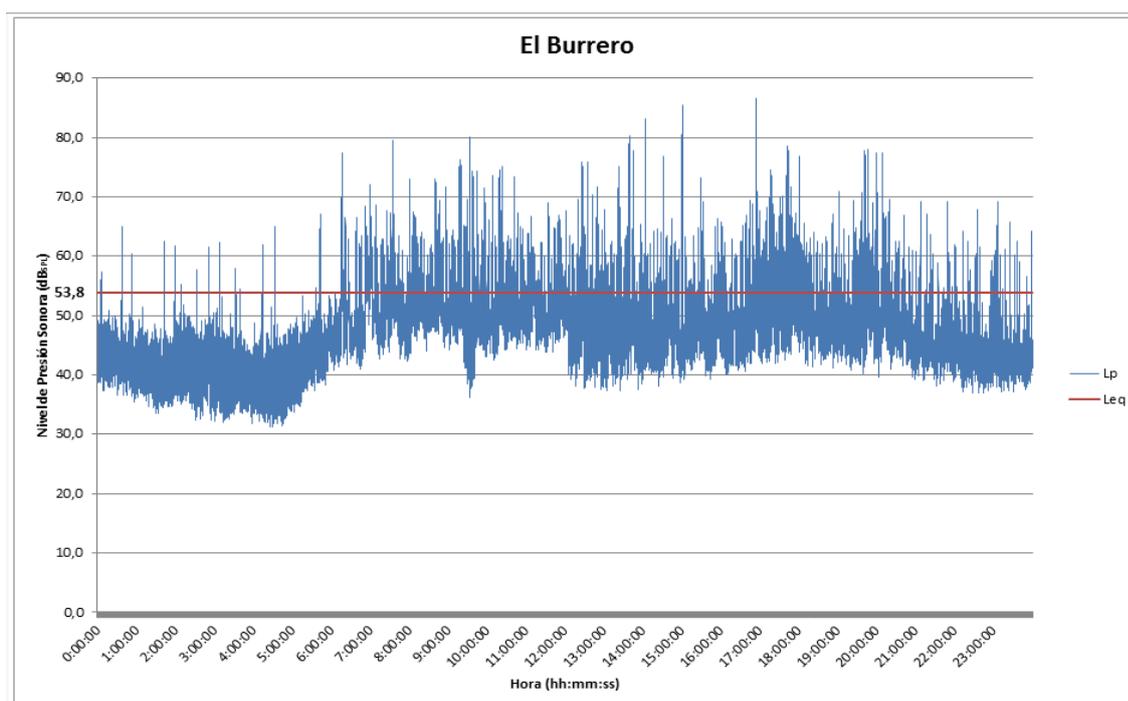
El decibelio (dB) es la unidad relativa empleada en acústica, electricidad, telecomunicaciones y otras especialidades para expresar la relación entre dos magnitudes: la magnitud que se estudia y una magnitud de referencia. Es una unidad logarítmica, adimensional y matemáticamente escalar. Es la décima parte de un belio (B), que es el logaritmo de la relación entre la magnitud estudiada y la de referencia, aunque esta medida no se utiliza por su elevada dimensión.

Al ser una unidad relativa, para las aplicaciones acústicas se asigna el valor de 0 dB al umbral de audición del ser humano, equivalente a un sonido con una presión de 20  $\mu$ Pa. Por otro lado, se considera el umbral del dolor para el humano a partir de los 140 dB (200 Pa) [22].

### 4.3 Análisis acústico

Como se mencionó el apartado 4.1 *Metodología Experimental*, el primer paso para realizar el análisis objetivo es representar los niveles sonométricos recogidos durante las 24 horas de medida, de manera que la interpretación de los resultados sea sencilla e ilustrativa.

El primer método utilizado ha sido la representación tradicional de los datos en una hoja Excel con la gráfica de niveles instantáneos correspondientes y el nivel continuo equivalente *Leq* de las 24 horas, como se puede apreciar en la *Figura 4.2*:



**Figura 4.2 Representación de niveles instantáneos y continuo con la herramienta Excel**

En este caso se muestra la gráfica de niveles de El Burrero, donde se puede apreciar que las señales impulsivas pueden corresponder al paso de aviones que se encuentren en maniobras de aterrizaje o despegue. No obstante, la cantidad de datos que se maneja es desmesurada, puesto que se representan 86.400 valores correspondientes a los segundos que hay en un día. Esto hace que la interpretación de los datos sea poco precisa y el nivel continuo equivalente de las 24 horas

tampoco es un índice que aporte gran información, debido a que los valores de ruido nocturno hacen que este valor disminuya considerablemente.

La otra opción que se ha escogido es la de utilizar una escala de colores utilizando la función *pcolor* de MATLAB. Para poder representar los niveles continuos equivalentes en este entorno se ha importado el archivo .csv con los 86.400 valores sonométricos en un vector (*Lp*) y se han almacenado en matrices, denominadas *hora*, de tamaño 24x3600 correspondiente a las horas y a los segundos por hora. De esta manera se consigue representar los valores a lo largo del día y los niveles por color en 2 dimensiones.

A continuación se presenta el código utilizado:

```
j=1;
for i=1:24
    hora(i,:) = Lp(j:j+3600-1);
    j=j+3600;
end
t=[1:3600]/60;
f=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23];
pcolor(t,f,hora);
shading interp
axis xy; axis tight;
```

Este método aplicado al Burrero queda de la siguiente manera:

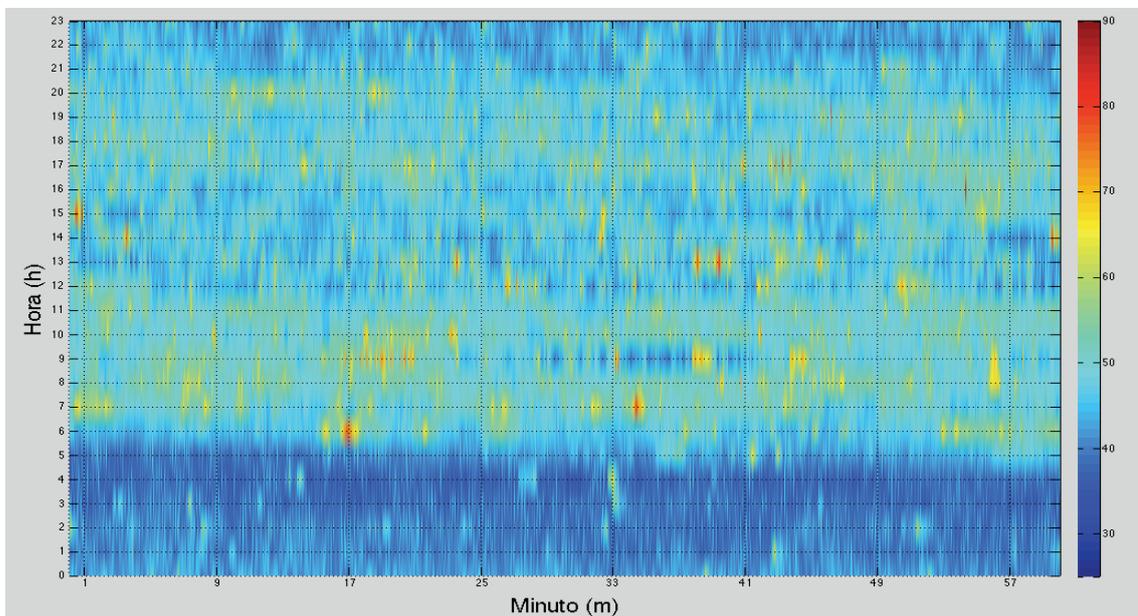


Figura 4.3 Representación en escala de colores del nivel de ruido continuo equivalente en El Burrero

En esta gráfica (*Figura 4.3*) se tiene en el eje X los minutos y, en el eje Y, las horas. En esta ocasión se puede ver que los tonos oscuros corresponden a los

niveles de ruido más bajos y que predominan durante el período nocturno. Por otro lado, tonos rojizos se pueden relacionar con el paso de los aviones.

Posteriormente se ha utilizado la función *waterfall*, que representa los datos en 3 dimensiones. Además, se han calculado los índices  $L_{Aeq,T}$ , que es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, en decibelios, determinado sobre un intervalo temporal de  $T$  segundos, donde:

- Si  $T = d$ ,  $L_{Aeq,d}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, determinado en el período día (12 horas – 7.00h a 19:00h) ;
- Si  $T = e$ ,  $L_{Aeq,e}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, determinado en el período tarde (4 horas – 19:00h a 23:00h);
- Si  $T = n$ ,  $L_{Aeq,n}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, determinado en el período noche (8 horas – 23:00h a 7:00h) [20];

De esta manera, cada nivel continuo equivalente está calculado en base al intervalo del día y, por consiguiente, la información que da es mucho más útil a la hora de tomar una referencia. El código empleado para la representación en 3D es el siguiente:

```
waterfall(t,f,hora);
shading interp
axis xy; axis tight;
```

Aplicado al Burrero, se obtiene el siguiente gráfico:

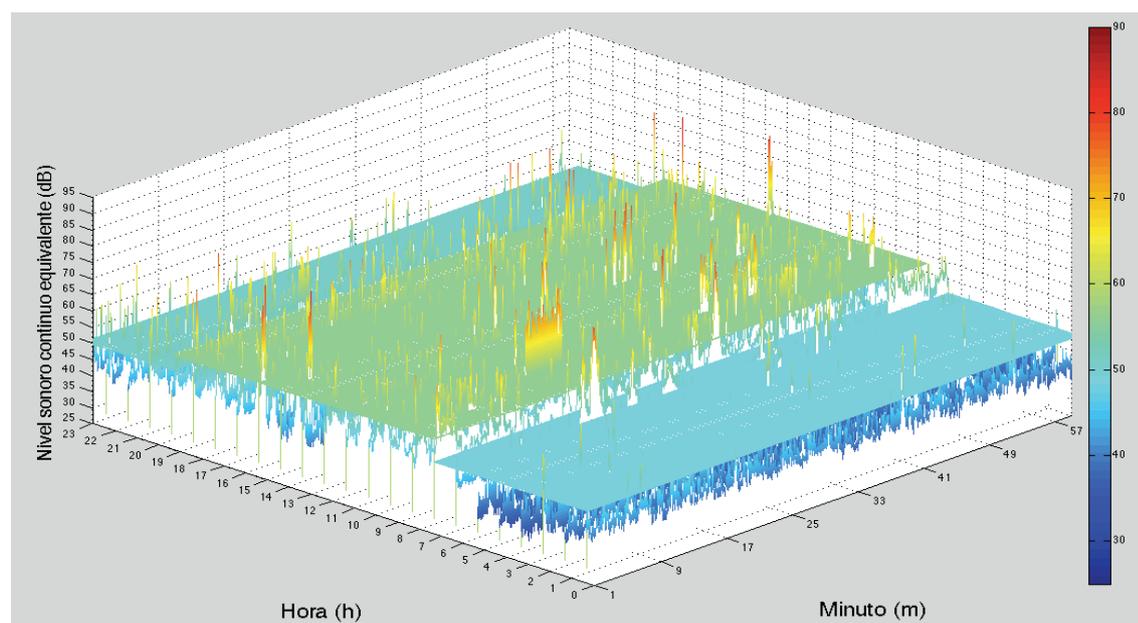
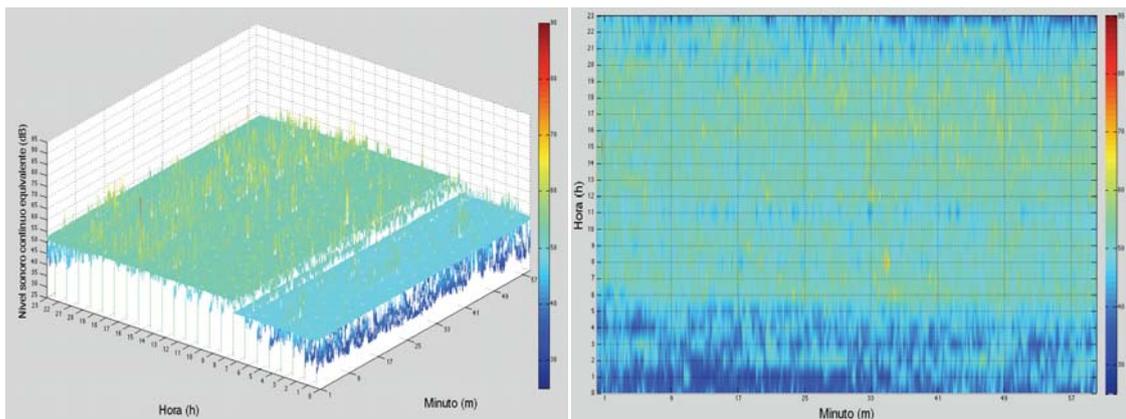


Figura 4.4 Representación 3D del nivel de ruido continuo equivalente en El Burrero

Los planos que se pueden apreciar en la *Figura 4.4* en cada uno de los períodos corresponde al  $L_{Aeq,T}$  mencionado con anterioridad, que sirve de guía para comparar el nivel de ruido que se obtiene a lo largo del día. Por otro lado, se identifica claramente que los picos corresponden al paso de aviones por la urbanización.

En vista de la gran utilidad que presenta este estilo de gráficas, se ha optado por este tipo de representación (2D y 3D) para analizar los resultados en cuanto a niveles de ruido.

Con respecto al resto de emplazamientos de medida, se puede apreciar que el Campus de Tafira (Norte) es un escenario tranquilo, con un predominio de niveles bajos de ruido y donde los niveles más elevados se corresponden a horas punta como son las 8:00 horas o el período de 16:00 a 19:00 horas, donde se alcanzan los 65 dB aproximadamente. Es un entorno estable, sin demasiadas variaciones acústicas (véase *Figura 4.5*).



**Figura 4.5** Representación del nivel de ruido continuo equivalente en el Campus de Tafira (Norte)

Si se analiza ahora la parte Sur del Campus de Tafira, se puede apreciar una mayor presencia de tonos cálidos, que indican un alto nivel de ruido. Además, se observa una hora punta en el período de 12:30 a 13:30 horas, que puede otorgarse a la salida de los estudiantes de la jornada docente o al tránsito de vehículos privados y del transporte público. Por tanto, se puede concluir que estando en el mismo campus existe una variación en los niveles de ruido de norte a sur, que pueden deberse tanto a un mayor número de estudiantes matriculados en las carreras, como a una mayor circulación de vehículos. La figura se muestra a continuación:

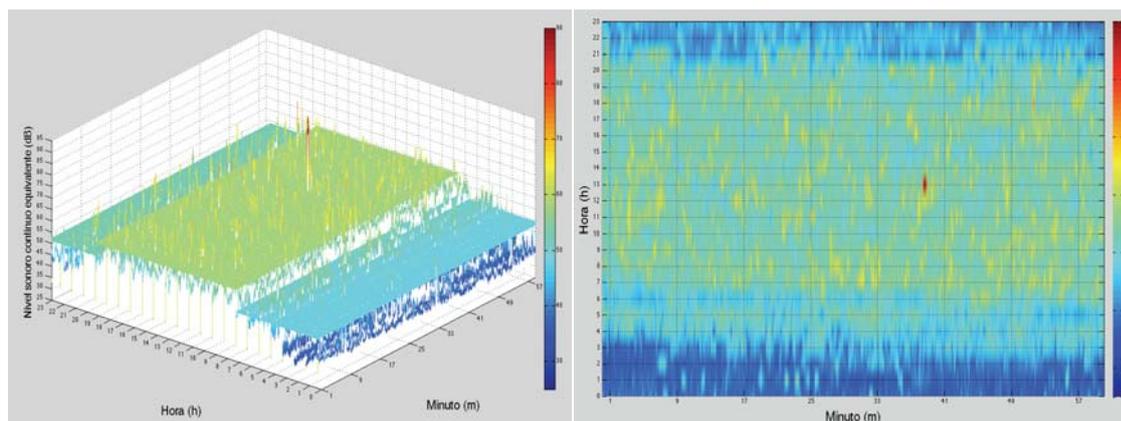


Figura 4.6 Representación del nivel de ruido continuo equivalente en el Campus de Tafira (Sur)

Debido a su localización, el Campus del Obelisco es más ruidoso que el Campus de Tafira, tanto por el día como por la noche. Se puede observar que hasta las 20:00 horas el nivel de ruido no baja de 45-50 dB. Su hora punta es a las 10:00 horas, momento en el que se alcanzan los 65-70 dB. Además, también aparece una situación muy ruidosa durante el período de 12:30h a 13:30h. Se pueden observar las gráficas con más detalle en la *Figura 4.7*.

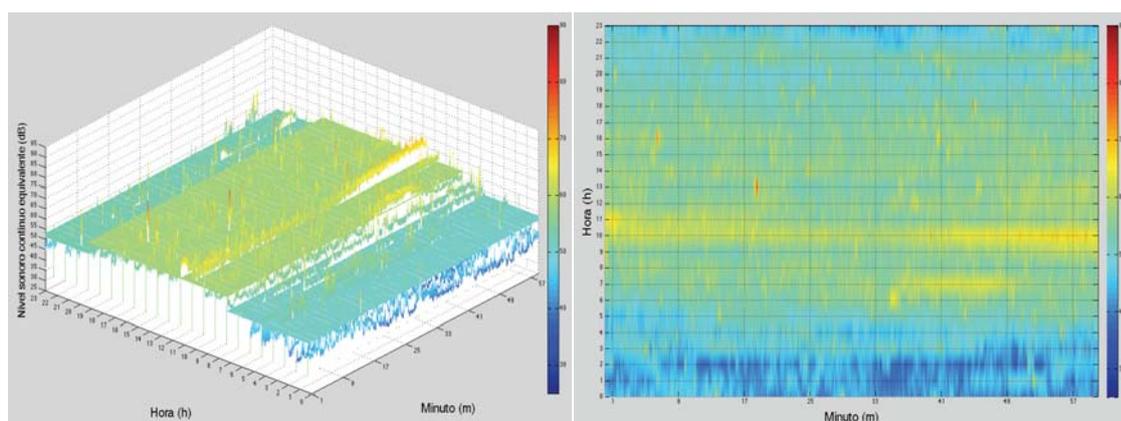


Figura 4.7 Representación del nivel de ruido continuo equivalente en el Campus del Obelisco

El Campus de Montaña Cardones se percibe como un entorno con un nivel sonoro constante, con dos horas punta claramente diferenciadas: las 6:00 horas y las 11:00-12:00 horas del mediodía, donde se alcanzan los 65 dB aproximadamente, mientras que el resto del día ronda los 50 dB, y durante la noche los 40 dB. Las horas punta pueden deberse al ruido de animales procedentes de la granja situada en el Campus, o de los propios estudiantes en los intercambios de las clases (ver *Figura 4.8*).

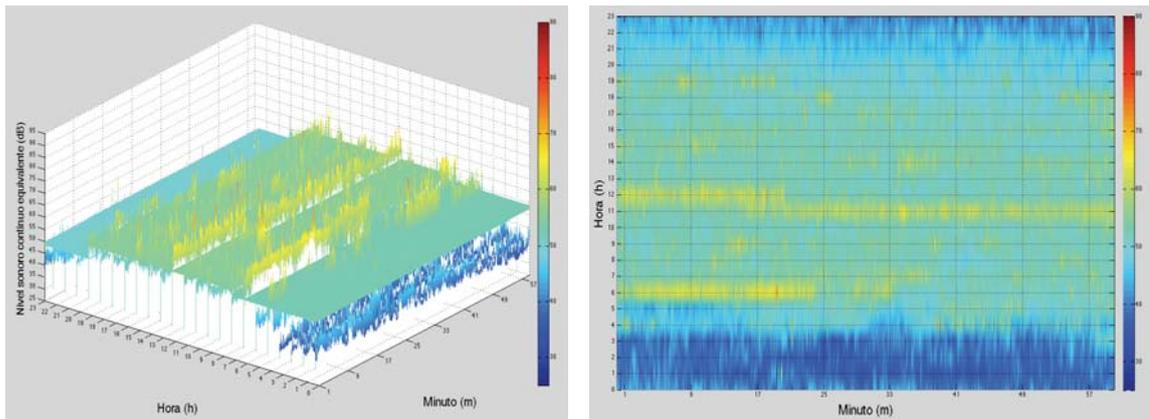


Figura 4.8 Representación del nivel de ruido continuo equivalente en el Campus de Montaña Cardones

El Campus de San Cristóbal es, sin duda, el peor escenario acústico de los Campus de Gran Canaria, donde los niveles mínimos superan los 40 dB durante el período nocturno. Durante el día el nivel es prácticamente constante, de 60 a 70 dB con algunos picos donde se alcanzan los 75-80 dB. Al estar localizado entre la Avenida de San José y la Avenida Marítima, el Campus de San Cristóbal se ve altamente afectado por el tráfico de vehículos. En la *Figura 4.9* se encuentra la representación en 2D y 3D de los niveles acústicos de este escenario:

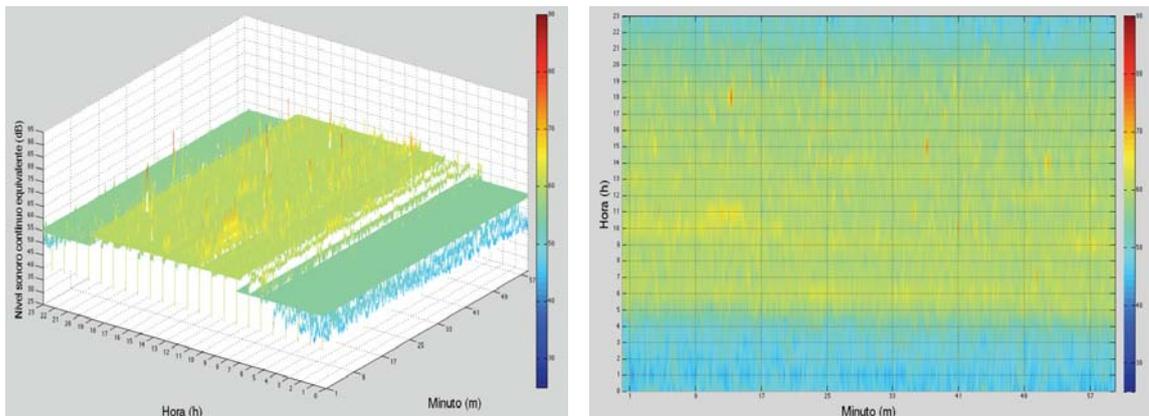
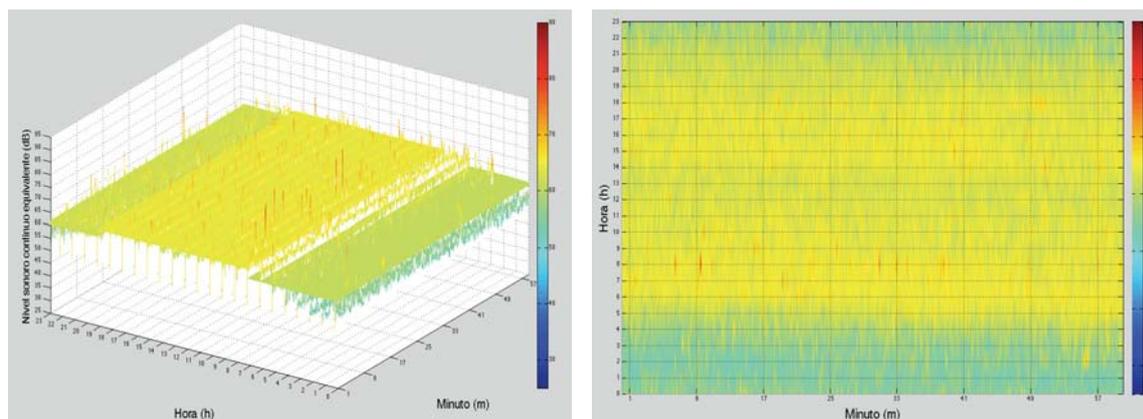


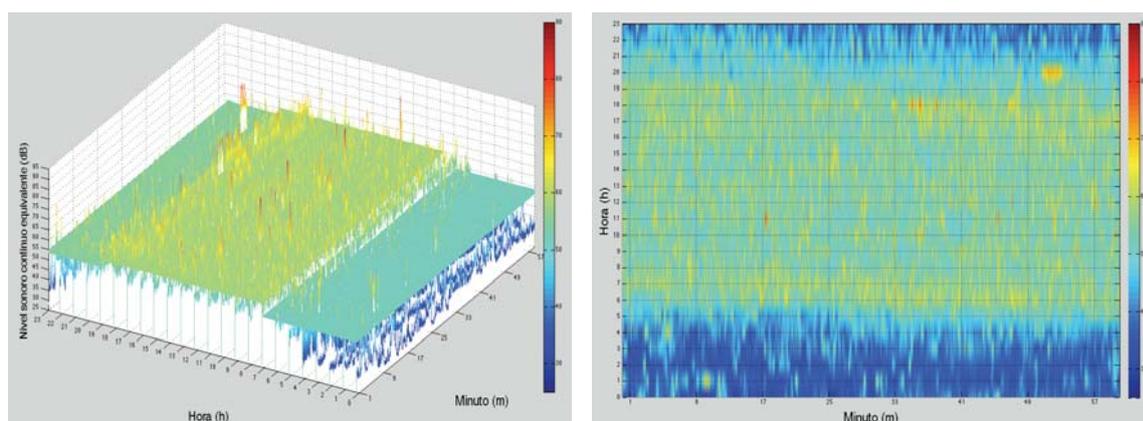
Figura 4.9 Representación del nivel de ruido continuo equivalente en el Campus de San Cristóbal

La Avenida Marítima cuenta con un escenario acústico parecido al Campus de San Cristóbal, debido a su proximidad, pero con un mayor nivel de ruido. Durante el día se superan los 65 dB, con muchas horas punta donde se alcanzan los 80 dB. Durante el período nocturno se rondan los 50-55 dB, nivel que se considera alto al tratarse de altas horas de la madrugada. Esto situación es debida a que la Avenida Marítima es la carretera con más afluencia de vehículos de Gran Canaria, y es un lugar de circulación de transportistas de mercancía (véase *Figura 4.10*).



**Figura 4.10** Representación del nivel de ruido continuo equivalente en la Avenida Marítima

En Siete Palmas (calle Lomo La Plana) el ambiente sonoro es menor. Se promedian los 60 dB durante el día y 50 dB por la noche. Los niveles más altos se pueden deber a su localización. El equipo de medida se ubicó en una vivienda situada en frente de la zona para perros del Parque Juan Pablo II, por tanto, existen ruidos procedentes de estos animales, además de los propios del tráfico que tiene lugar en esa calle. En la *Figura 4.11* se pueden apreciar los niveles acústicos:



**Figura 4.11** Representación del nivel de ruido continuo equivalente en Siete Palmas

El Parque Rural de Doramas es el escenario con menos ruido de los 10 emplazamientos de medida. Se ha medido en la Finca de Osorio, que pertenece al Parque Rural de Doramas. Los niveles de ruido apenas superan los 50 dB, excepto en ocasiones puntuales y, sobre todo, en el intervalo de 17.00h a 18.00h, que podría ser debido al viento. La Finca de Osorio es un lugar donde los trabajadores desempeñan labores de agricultura y ganadería, por lo que la maquinaria empleada también puede ser una fuente de ruido adicional (*Figura 4.12*).

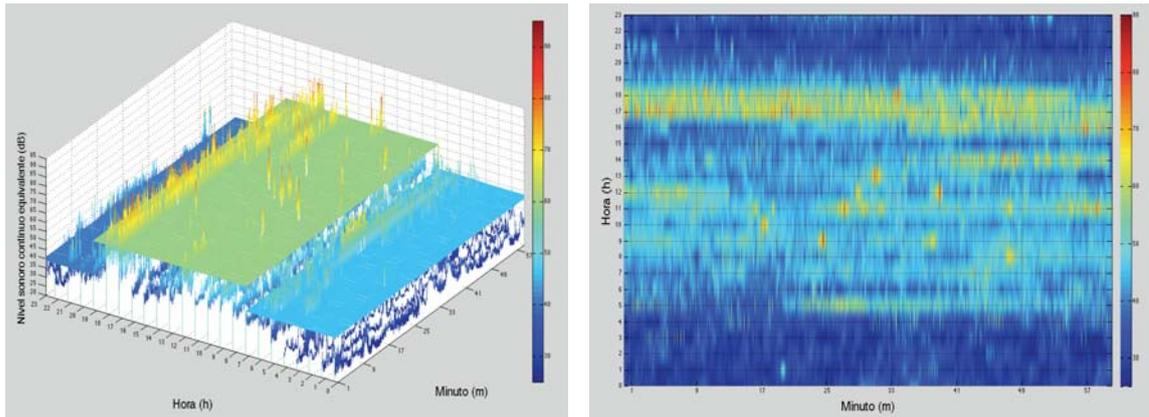


Figura 4.12 Representación del nivel de ruido continuo equivalente en el Parque Rural de Doramas

Al ser una vía con un tránsito elevado de vehículos, la calle Francisco Gourié cuenta con un escenario acústico ruidoso durante todo el día, con un nivel de ruido continuo equivalente diario y nocturno de 65 dB y 60 dB respectivamente. La cantidad de vehículos y su tipo (turismos, motocicletas, camiones, transporte público...) hace que existan numerosos momentos en donde se superen los 75 dB. Para más información se puede consultar la *Figura 4.13*:

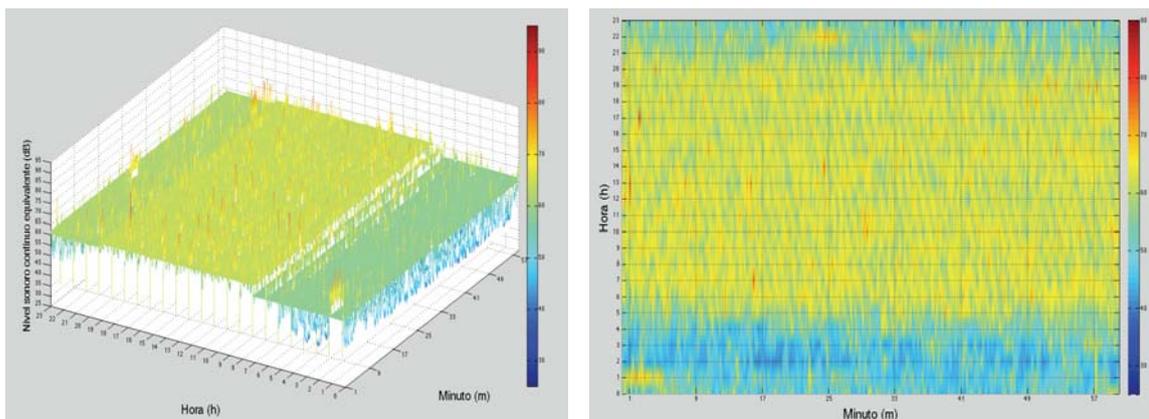


Figura 4.13 Representación del nivel de ruido continuo equivalente en Triana - Francisco Gourié

A continuación se presenta una tabla resumen con los valores del  $L_{Aeq,T}$  para el día, la tarde y la noche, en cada uno de los escenarios.

Escenario	$L_{Aeq,d}$ (dB)	$L_{Aeq,e}$ (dB)	$L_{Aeq,n}$ (dB)
Campus Tafira (Norte)	53,4	52,7	47,7
Campus Tafira (Sur)	58,0	52,5	48,1
Campus Obelisco	58,3	53,0	51,1
Campus Montaña Cardones	55,4	49,7	52,7
Campus San Cristóbal	59,9	55,7	55,0
Parque Rural de Doramas	59,6	40,9	45,9
Triana - Gourié	63,9	62,0	58,7
El Burrero	55,9	51,3	48,8
Avenida Marítima	64,4	61,7	60,6
Siete Palmas	58,4	55,1	51,5

Tabla 4.1 Resumen de niveles continuos equivalentes por escenario

Por último, se ha realizado un algoritmo en el que se ha partido de la señal que contiene todos los niveles acústicos equivalentes por segundo, a la que se le denominará  $x[n]$  y de los  $L_{Aeq,T}$  de cada período. Se denominará  $d[n]$  al vector diferencia de  $x$  y el nivel de ruido continuo equivalente, tomando únicamente los valores positivos y descartando los negativos, es decir:

$$d[n] = \sum_n x[n] - L_{Aeq,T},, con d = \begin{cases} d & si d > 0 \\ 0 & si d \leq 0 \end{cases} \quad (4.5)$$

donde:

- $d[n]$  es el vector diferencia de la señal original con el valor del  $L_{Aeq,T}$  correspondiente.
- $x[n]$  la señal original.
- $L_{Aeq,T}$ , es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, determinado sobre un intervalo temporal de  $T$  segundos.

En la siguiente figura (Figura 4.14) se pueden observar la señal  $x[n]$  y  $L_{Aeq,T}$  de cada período, correspondientes al Campus de Tafira (Norte):

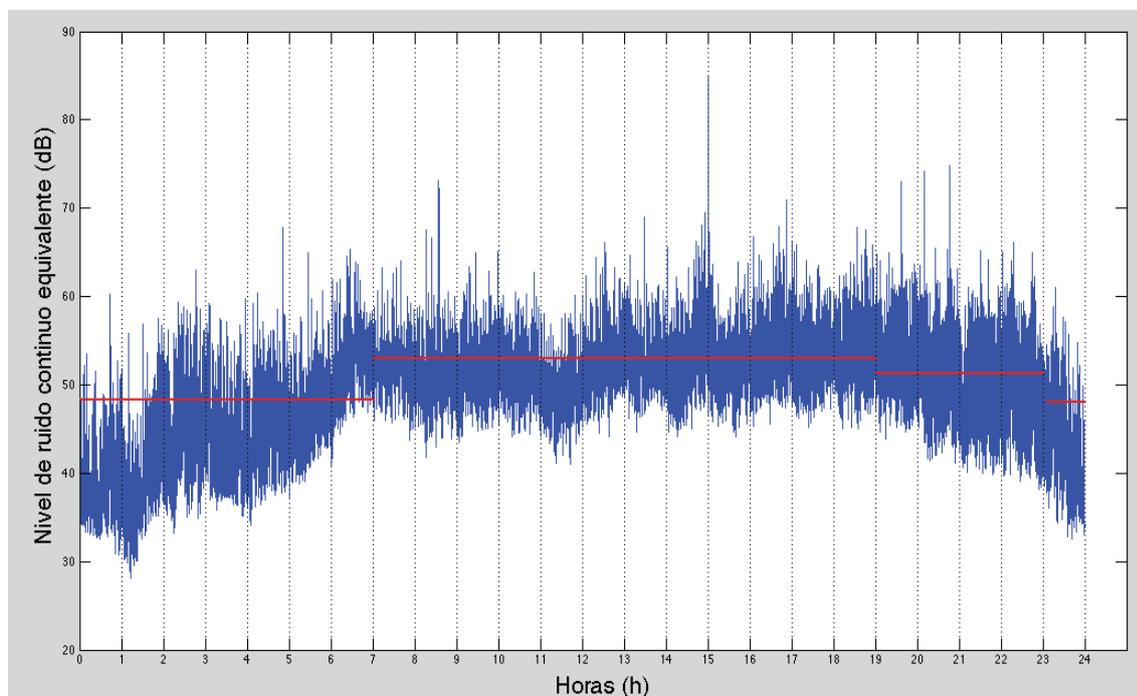
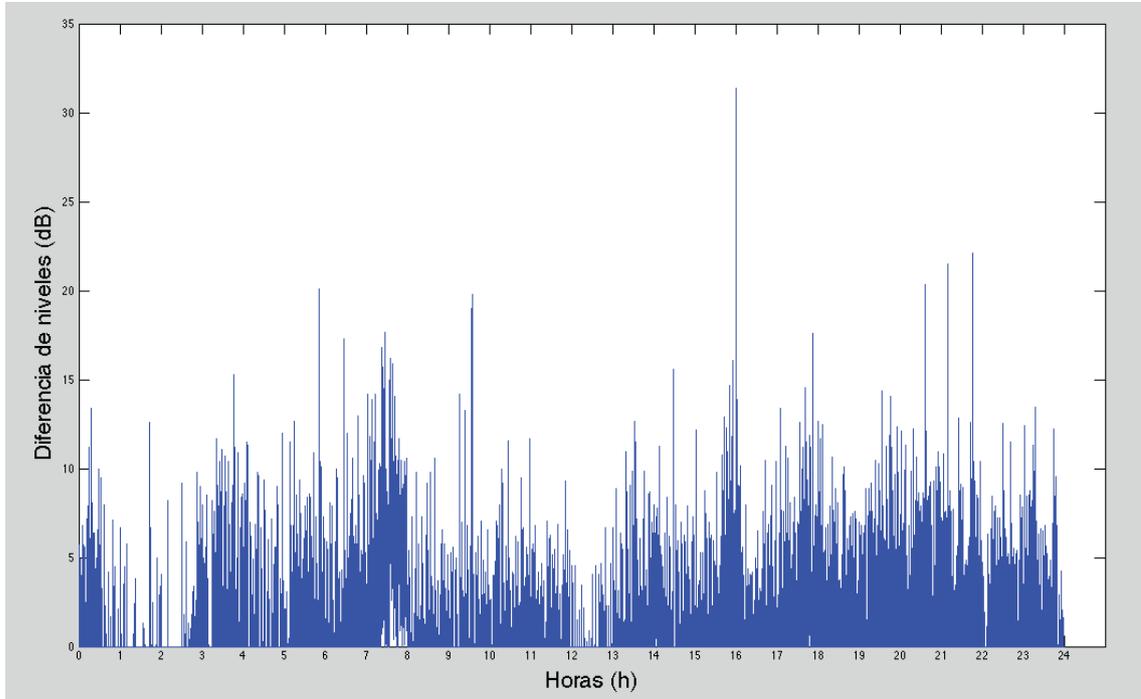


Figura 4.14 Señal  $x[n]$  con los  $L_{Aeq,T}$  de cada período del día

Con la señal  $d[n]$  se tendrá tan sólo aquellos niveles que sean mayores al promediado, que se almacenarán en un vector denominado  $S_M$ , compuesto por las tres señales  $d[n]$  correspondientes al día, tarde y noche. En la *Figura 4.15* se puede apreciar la señal  $S_M$  resultante:



**Figura 4.15 Señal diferencia ( $S_M$ ) resultante en el Campus de Tafira Norte**

Posteriormente se hallará el promedio energético de esos valores, atendiendo a la siguiente ecuación:

$$E = \frac{1}{N} \sum_n S_M[n] \quad (4.6)$$

donde:

- N es el número total de muestras (84.600)
- $S_M$  es el vector que contiene todos los valores diferencia

De forma análoga, se hallará también la variabilidad de las señales propias de cada vector  $S_M$  atendiendo a la siguiente ecuación:

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=2}^N |S_M[i] - S_M[i-1]| \quad (4.7)$$

Al representar la energía (E) con respecto a la variabilidad (D), se observa que los escenarios con más energía son El Campus de Tafira (Norte), el Campus de San Cristóbal, Siete Palmas y el Campus de Montaña Cardones. La razón es que la diferencia entre las señales más altas y el  $L_{Aeq,T}$ , es elevada. Por otro lado, el escenario donde más alta es la variabilidad entre las señales diferencia es el Parque Rural de Doramas. Como ya se comentó anteriormente, las fuentes de ruido que existen en la Finca de Osorio puede ser de diversos tipos, por lo que la variabilidad es alta. En cambio, donde menos variabilidad hay es en El Burrero, porque prácticamente todas las señales que están por encima del nivel de ruido continuo equivalente proceden de la misma fuente, los aviones. El mismo caso pasa con la Avenida Marítima y el tránsito de vehículos. Para más información se puede observar la *Figura 4.16*.

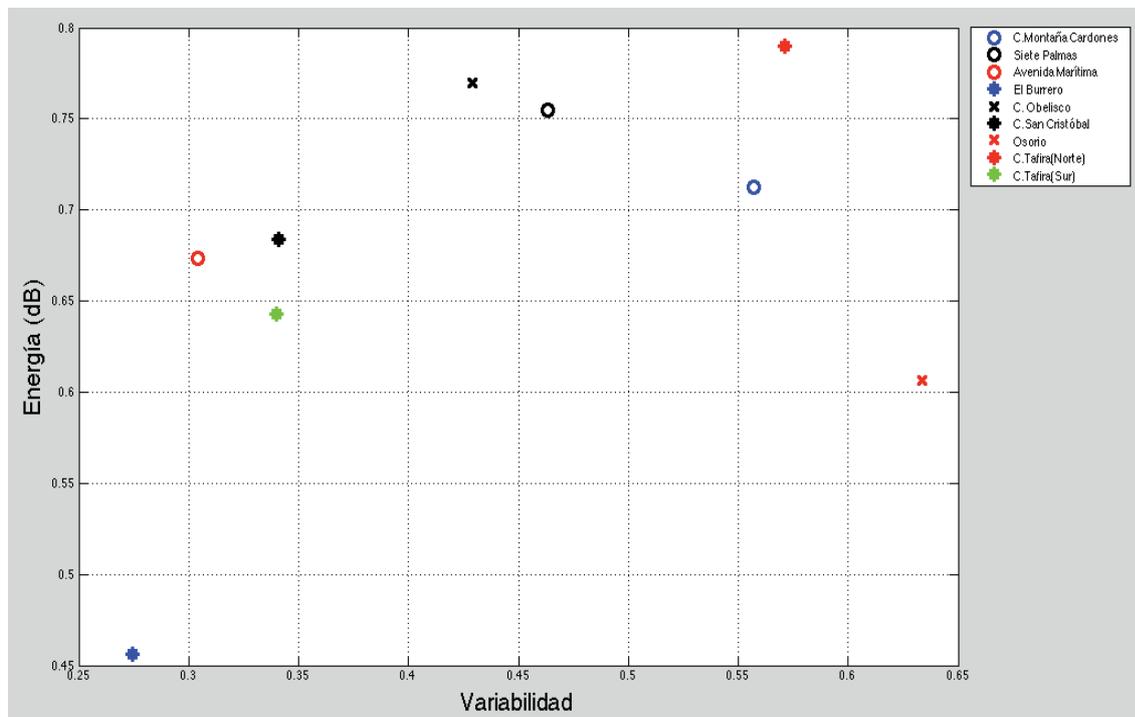


Figura 4.16 Energía frente a variabilidad de señales diferencia de los escenarios de medida

## **Capítulo 5.**

### **Análisis de las señales**

---

En este capítulo se analizan los archivos del repositorio de grabaciones detallado en el *capítulo 3*. En primer lugar se comentan las técnicas de procesado de señal que se van a emplear. Posteriormente se explica cómo se ha hecho el algoritmo utilizado y el almacenamiento de los valores. Por último, se analizan los resultados obtenidos.

## 5.1 Marco teórico

En primer lugar se definirán las técnicas utilizadas en este capítulo: la Entropía de Shannon y la Divergencia de Kullback-Leibler.

### 5.1.1 Entropía de Shannon

La entropía mide la incertidumbre de una fuente de información. Se considera como la cantidad de información promedio que contienen los símbolos usados, es una “medida del desorden” o de incertidumbre [23].

El concepto de entropía fue presentado por Shannon en 1948 en su artículo *A Mathematical Theory of Communication*, en donde ofrece una definición de entropía que cumple lo siguiente:

- La medida de información debe ser proporcional, es decir, un cambio pequeño en una de las probabilidades de aparición de uno de los elementos de la señal debe cambiar poco la entropía.
- Si todos los elementos de la señal son equiprobables, se dirá que la entropía es máxima.

Se define la Entropía de Shannon,  $H(x)$ , de una variable aleatoria discreta  $X$  como la esperanza matemática de la variable aleatoria asociada  $I(X)$  [24]:

$$H(x) = E(I(X)) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i) \tag{5.1}$$

### 5.1.2. Divergencia de Kullback-Leibler

La divergencia de Kullback-Leibler (KL) es una medida asimétrica de la similitud o diferencia entre dos funciones de distribución de probabilidad  $P$  y  $Q$ , originalmente introducida por Solomon Kullback y Richard Leibler en 1951 como la divergencia direccionada entre dos distribuciones.

Mide el número esperado de extra bits requeridos en muestras de código de  $P$  cuando se usa un código basado en  $Q$ , en lugar de un código basado en  $P$ , es decir, es una medida de la información perdida cuando  $Q$  se utiliza para aproximar  $P$ . Generalmente  $P$  representa la "verdadera" distribución de los datos,

observaciones, o cualquier distribución teórica. La medida  $Q$  generalmente representa una teoría, modelo, descripción o aproximación de  $P$  [25].

Al ser no simétrica, no se le puede considerar como distancia. La divergencia de KL de  $P$  a  $Q$  no es necesariamente la misma que de  $Q$  a  $P$ .

Para distribuciones de probabilidad  $P$  y  $Q$  de una variable discreta, su divergencia KL se define como:

$$D_{KL}(P||Q) = \sum_i P(i) \ln \frac{P(i)}{Q(i)} \quad (5.2)$$

Si la variable es continua, la divergencia se define como:

$$D_{KL}(P||Q) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \ln \frac{p(x)}{q(x)} dx \quad (5.3)$$

donde  $p$  y  $q$  representan las densidades de  $P$  y  $Q$ .

Existe una versión simétrica de la Divergencia de Kullback-Leibler, que es la suma de las dos divergencias. Se define como:

$$D_{SKL}(P, Q) = D_{KL}(P||Q) + D_{KL}(Q||P) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \ln \frac{p(x)}{q(x)} dx + \int_{-\infty}^{\infty} q(x) \ln \frac{q(x)}{p(x)} dx \quad (5.4)$$

## 5.2 Procesado y almacenamiento de los valores

En primer lugar, se ha realizado un análisis temporal en el que se han definido ventanas con un tamaño de 11.025 muestras que equivalen a 1 segundo, sin solapamiento. Posteriormente se han empleado las funciones *mvn\_div\_kl* (Divergencia de Kullback-Leibler), recogida en el *Multivariate Normals Toolbox* [26], y *wentropy*, que se encuentra en el *Wavelet Toolbox* [27] a las ventanas del vector. Ese vector de 1x3598 almacena los valores resultantes del procesado correspondiente a 1 archivo. Se aplicará un algoritmo que recorra los 24 archivos de 1 hora que se encuentran en la carpeta descrita en el *Capítulo 3* y cada uno de los vectores se almacenará en una estructura tipo *cell* de tamaño 10x24, donde cada columna corresponde a un vector de 1x3598, y cada fila a un escenario diferente. En la siguiente figura se puede apreciar la estructura del *cell*:

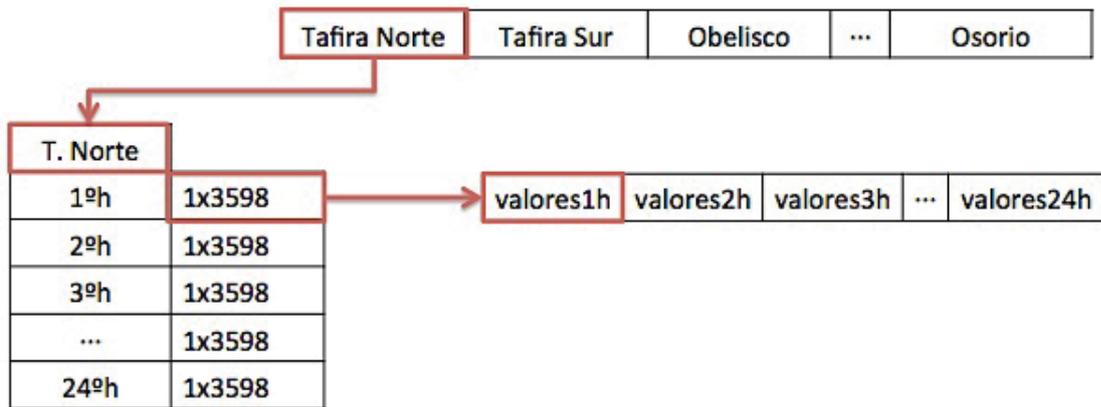


Figura 5.1 Estructura del *cell* de almacenamiento

Una vez explicado cómo se almacenarán los valores, ya está todo dispuesto para pasar a comentar los resultados obtenidos.

### 5.3 Técnicas de procesamiento de señal

Lo primero que se van a analizar son las Entropías de Shannon por emplazamiento. El primero de ellos es el Campus de Tafira Norte, en el que se puede observar que la entropía es muy baja prácticamente durante todo el día, a excepción de las 15:00 horas. Esta información se concibe como poca variabilidad en las señales en este entorno, por lo que se puede afirmar que Tafira (Norte) es un medio con un ambiente sonoro constante y sin sobresaltos (ruido) (ver *Figura 5.2*).

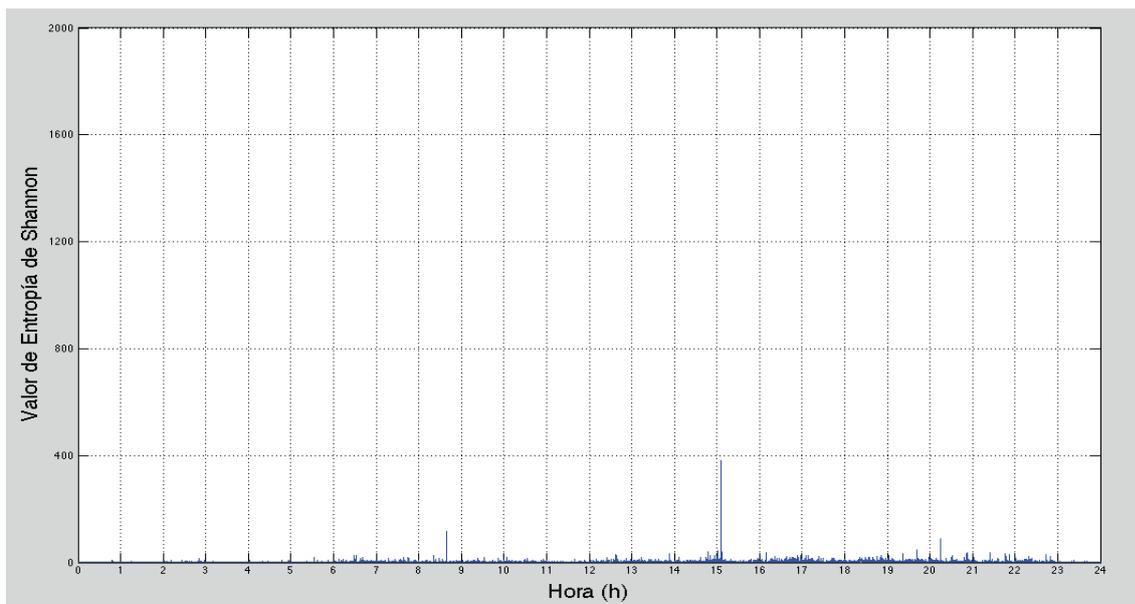
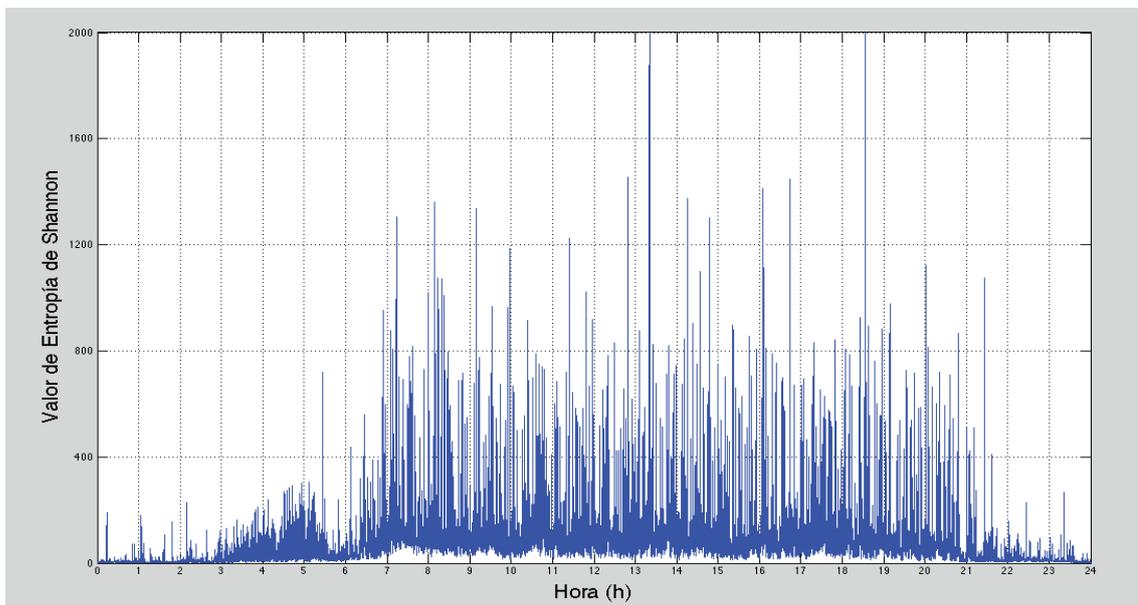


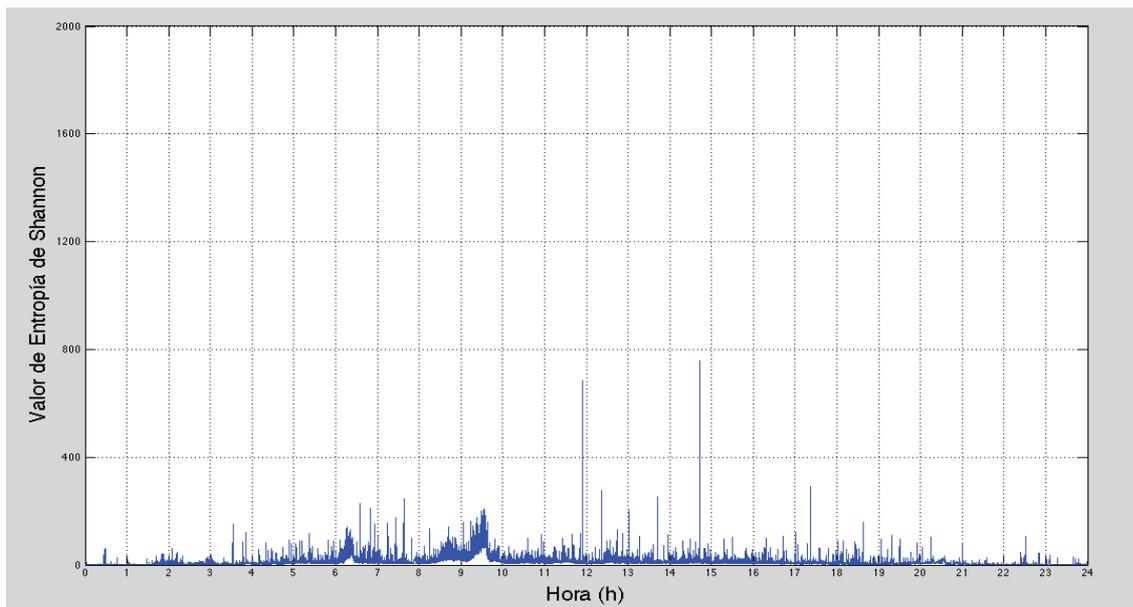
Figura 5.2 Entropía de Shannon en el Campus de Tafira (Norte)

En la parte Sur del Campus de Tafira ocurre totalmente lo contrario: durante la noche se mantienen niveles bajos de entropía, pero durante el día los valores se disparan, especialmente a las 13:00h y a las 19:00h. Una de las razones es la localización en la que se ha medido, puesto que el Módulo C del Edificio de Ciencias Económicas y Empresariales está cercano a la carretera que atraviesa el campus, por lo que se ha podido captar una mayor variabilidad de sonidos procedentes de vehículos y de estudiantes. Esta razón va ligada al ruido que existe en el entorno, que se puede apreciar que es más elevado que en la parte norte, en la cual se midió en el Módulo B de la Escuela de Ingeniería de Telecomunicación y Electrónica, un escenario con menos presencia directa de vehículos y de estudiantes (véase *Figura 5.3*).



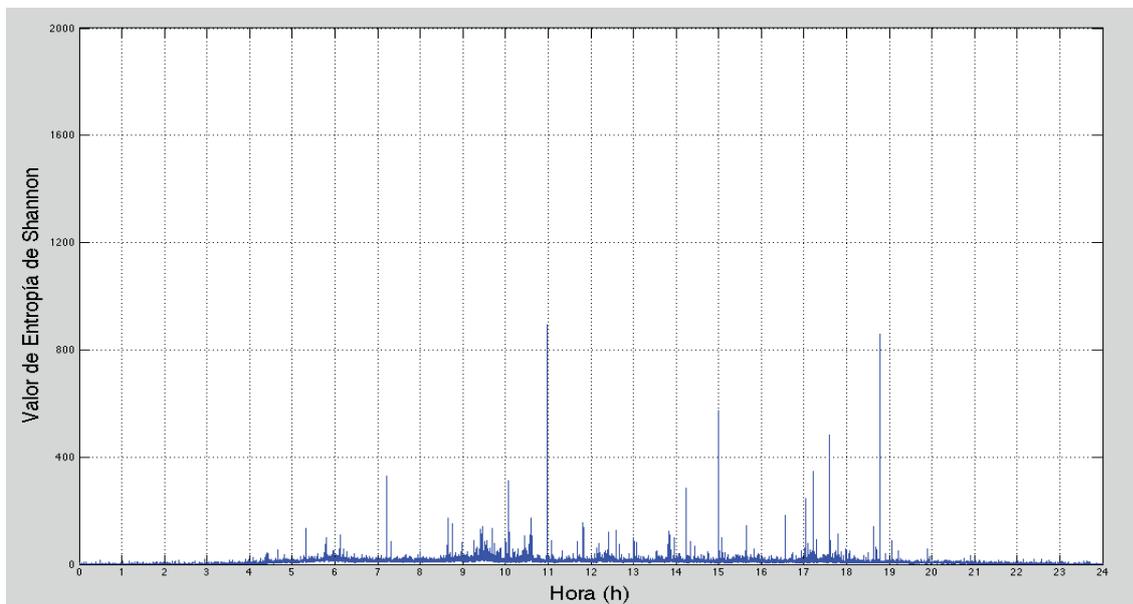
**Figura 5.3 Entropía de Shannon en el Campus de Tafira (Sur)**

El Campus del Obelisco presenta una entropía baja prácticamente durante las 24 horas, a excepción de las 12:00h y 15:00h, lo que significa que es un emplazamiento con poca diversidad de sonidos. Destacan los sonidos procedentes de estudiantes y del tráfico de la zona, pero no es perceptible ruido de biofonías o geofonías, que pueden ser fuentes que eleven la entropía. Para más información se puede observar la *Figura 5.4*.



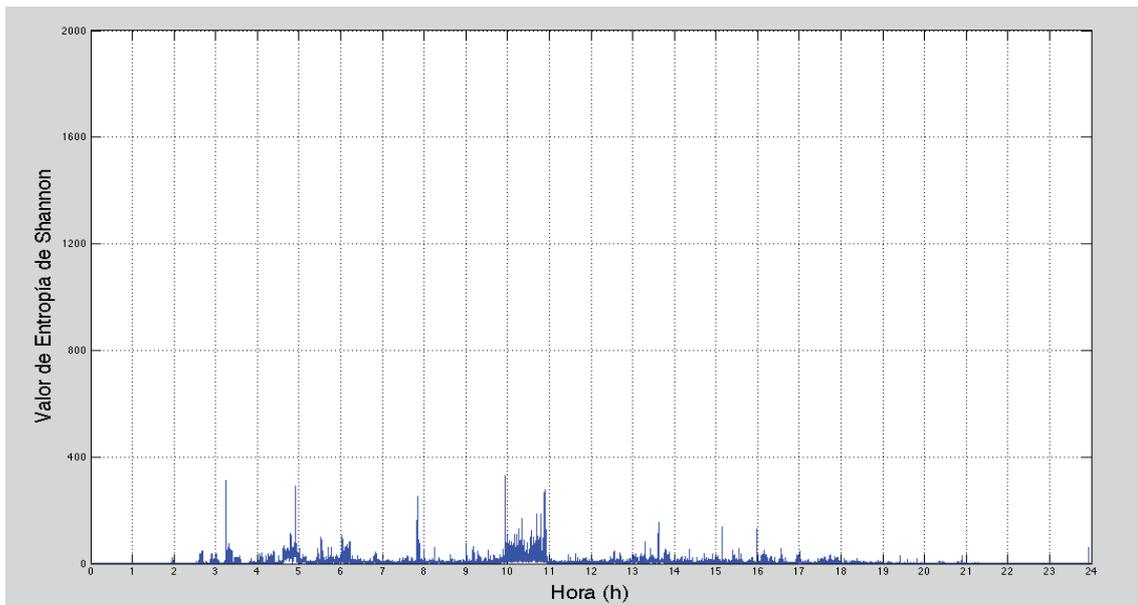
**Figura 5.4 Entropía de Shannon en el Campus del Obelisco**

En el Campus de San Cristóbal ocurre un caso parecido a los campus anteriores, pero en este caso sí se pueden observar diversas horas donde la entropía aumenta, es decir, es un escenario con mayor presencia de sonidos diferentes, que pueden provenir de la Avenida Marítima, paseo de San José o de los propios estudiantes del campus. En la *Figura 5.5* se puede apreciar con más detalle lo comentado.



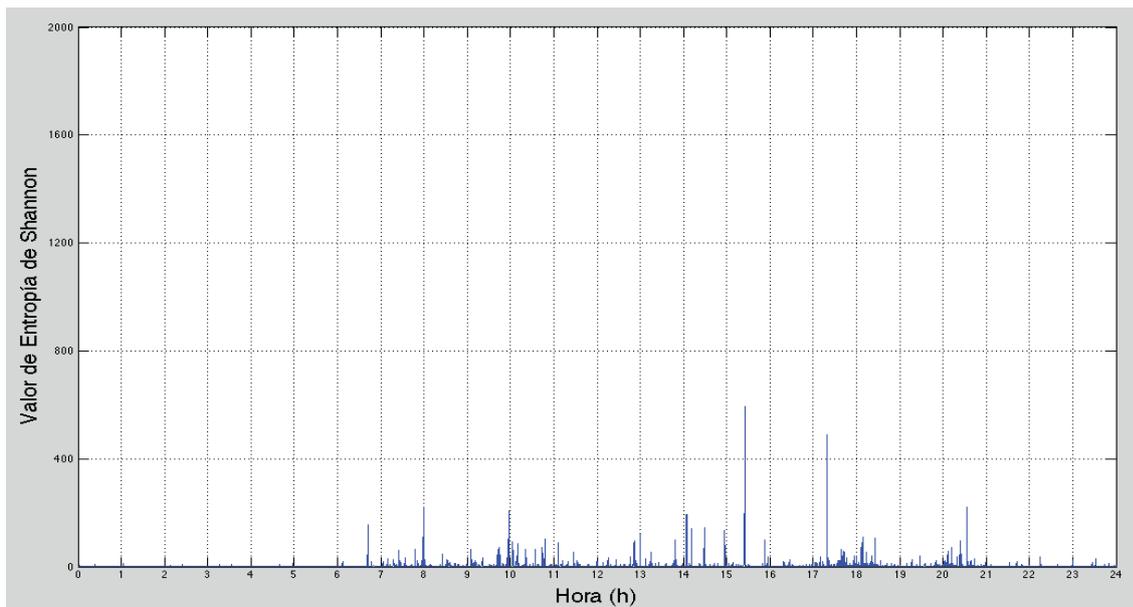
**Figura 5.5 Entropía de Shannon en el Campus de San Cristóbal**

El último campus analizado es el de Montaña Cardones, que presenta valores bajos de entropía. Lo más destacable en este entorno es que los valores más altos se concentran durante las primeras horas de la mañana, hecho que puede deberse al ruido de los animales procedentes de la granja propia del campus (ver *Figura 5.6*).



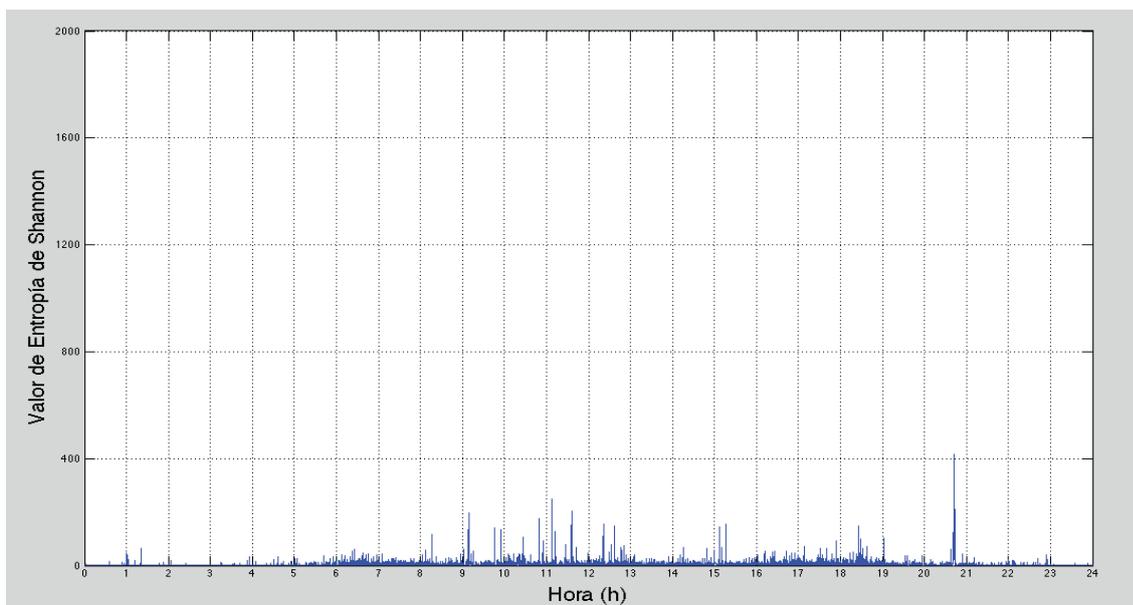
**Figura 5.6 Entropía de Shannon en el Campus de Montaña Cardones**

Hasta ahora se han analizado las entropías de los campus de la Gran Canaria y como conclusión se puede afirmar que el campus que más nivel de entropía presenta es el de Tafira, parte sur. Si se analizan ahora los otros 5 escenarios elegidos, se presenta, en primer lugar la urbanización de El Burrero. Este entorno presenta un nivel de entropía bajo, a pesar de encontrarse en una zona cercana al mar. La razón es la lejanía entre el equipamiento y la playa, por lo que el sonómetro no ha recogido ruidos geofónicos. Sin embargo, los niveles de entropía más altos podrían relacionarse con el paso de aviones por la zona, que añaden una fuente con características muy diferentes a las que comparte el escenario en estado de tranquilidad. En la *Figura 5.7* se presentan los valores de entropía de Shannon en este escenario.



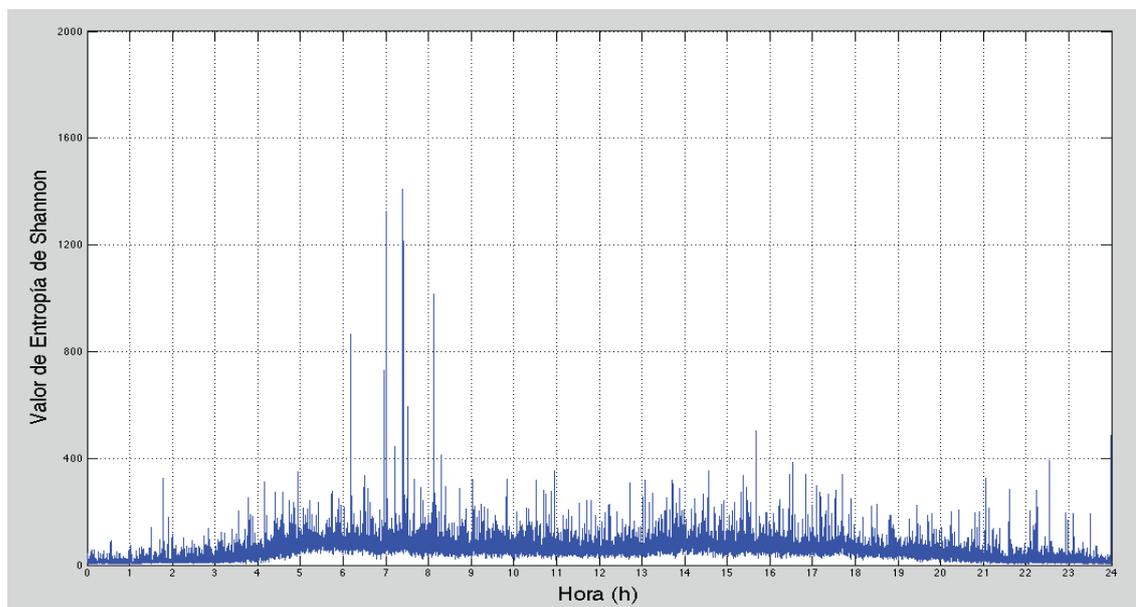
**Figura 5.7 Entropía de Shannon en El Burrero**

Con respecto a Siete Palmas, la entropía presenta niveles bajos, sobre todo durante el período nocturno. La hora de entropía más alta es sobre las 20:30 horas, que coincide con el nivel de ruido más alto. Como ya se mencionó en el capítulo anterior, esa hora es la de mayor afluencia de personas en el parque habilitado para perros. Como consecuencia, los sonidos procedentes de estos animales hacen que el nivel de entropía aumente considerablemente (véase la *Figura 5.8*).



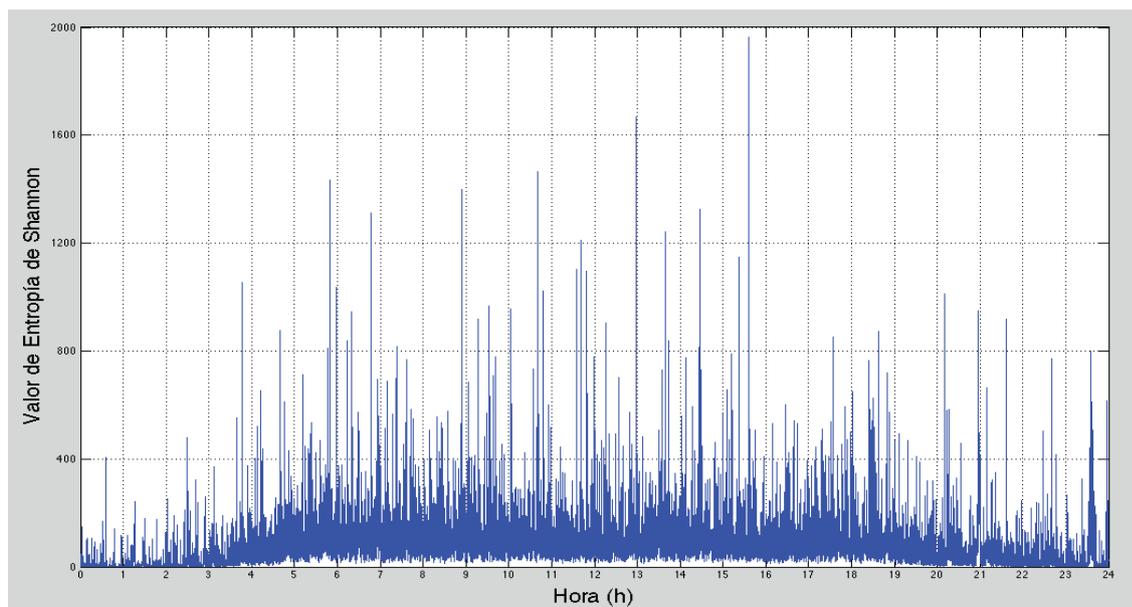
**Figura 5.8 Entropía de Shannon en Siete Palmas**

Si se analiza ahora la entropía en la Avenida Marítima, se observa que los niveles permanecen constantes durante todo el día y decrecen módicamente durante la noche. Aunque el grado de desorden no es muy elevado, en comparación al resto de escenarios, podría considerarse como mayor. Además, durante el período de 6:00h a 8:00h, los niveles se disparan, debido a la hora punta de tránsito de transportistas en la carretera. Por tanto, la entropía en este entorno hace referencia a la cantidad y variedad de vehículos que circulan a lo largo del día (ver *Figura 5.9*).



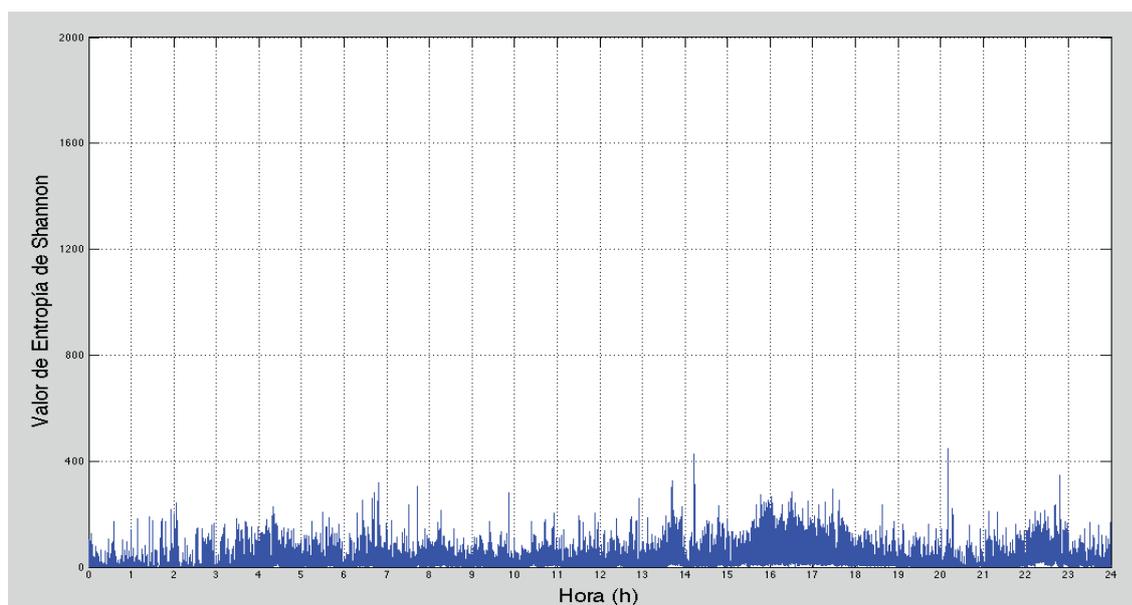
**Figura 5.9 Entropía de Shannon en la Avenida Marítima**

En Triana, concretamente en la calle Francisco Gourié, ocurre una tendencia similar a la de la Avenida Marítima, pero el grado de entropía es mucho mayor. Cabe destacar que el equipo de medida se ubicó en una ventana de un edificio próximo a la carretera, por lo que las fuentes de ruido que se captaron procedían de vehículos y de los transeúntes de la zona. Se trata de un espacio con elevada congestión de tráfico, por lo que la presencia de sonidos de bocinas también es muy frecuente. Incluso por la noche los niveles son bastante elevados si se compara con el resto de escenarios. Se puede apreciar la entropía con más detalle en la *Figura 5.10*.



**Figura 5.10 Entropía de Shannon en la Triana - Francisco Gourié**

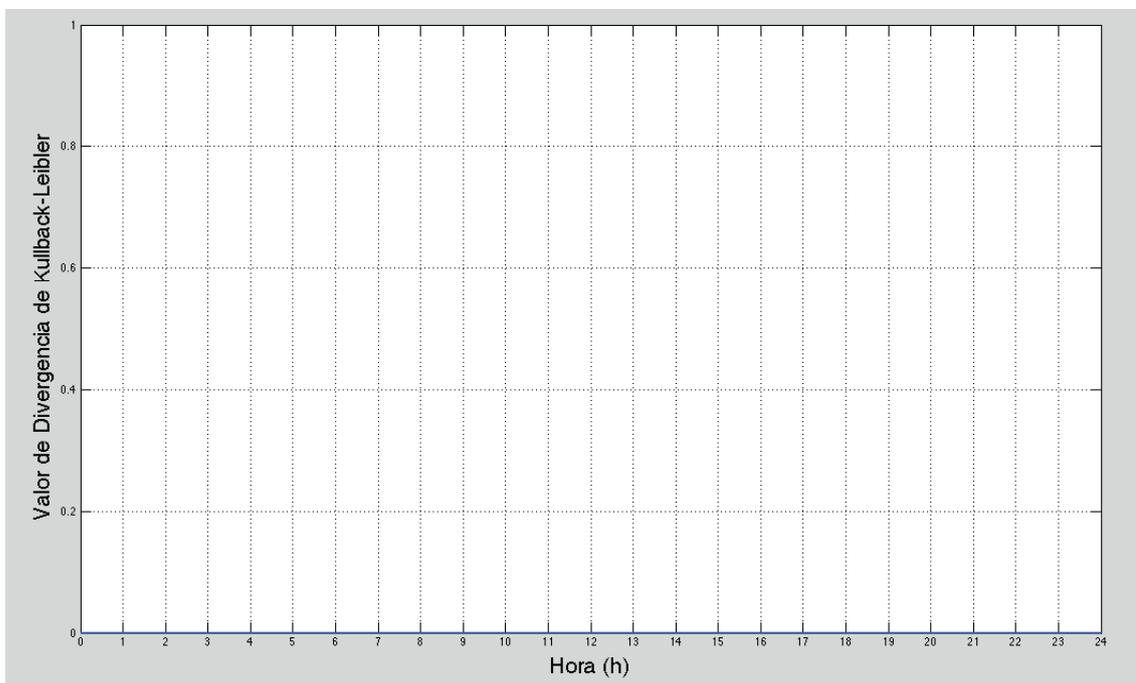
Por último, en la Finca de Osorio la entropía permanece constante tanto por el día como por la noche. A pesar de no ser muy elevada, el hecho de que por la noche se alcancen tantos niveles sin la presencia de tráfico rodado es un indicio de que la alta presencia de biofonías contribuye a una gran entropía. Es preciso destacar que, en escenarios naturales, un nivel alto de entropía se relaciona con una alta biodiversidad del entorno (véase *Figura 5.11*).



**Figura 5.11 Entropía de Shannon en el Parque Rural de Doramas - Osorio**

Lo siguiente que se realizará es analizar las Divergencias de Kullback-Leibler. En primer lugar se ha definido el Campus de Tafira (Norte) como referencia a la hora de calcular las divergencias por dos motivos principales. El primero es que es el entorno que más se conoce y, el segundo, que es uno de los escenarios con niveles de ruido equivalente más bajos del repositorio de grabaciones.

La primera divergencia que se ha hallado es la de Tafira Norte consigo misma, con el fin de comprobar si el algoritmo utilizado es el correcto. En la *Figura 5.12* se puede apreciar la Divergencia de Kullback-Leibler con un límite de 1, y en la que se evidencia que su valor es de 0:



**Figura 5.12 Divergencia KL entre el Campus de Tafira Norte consigo mismo**

Si se compara ahora con la parte sur del Campus de Tafira. En la *Figura 5.13* se muestra, a la izquierda, la Divergencia de Kullback-Leibler (DKL) de Tafira Norte a Tafira Sur, mientras que a la derecha, la DKL de Tafira Sur a Tafira Norte. En el primer caso se establece una escala de divergencias con un límite de 550, mientras que en el segundo caso los resultados muestran una escala mucho mayor, donde se ha establecido el límite en 8.000. Este mismo procedimiento se aplicará para el resto de emplazamientos. Como se puede observar, la cantidad de información que se pierde utilizando se utiliza Tafira Sur para estimar Tafira Norte es prácticamente nula, mientras que, por el contrario, se pierde mucha información.

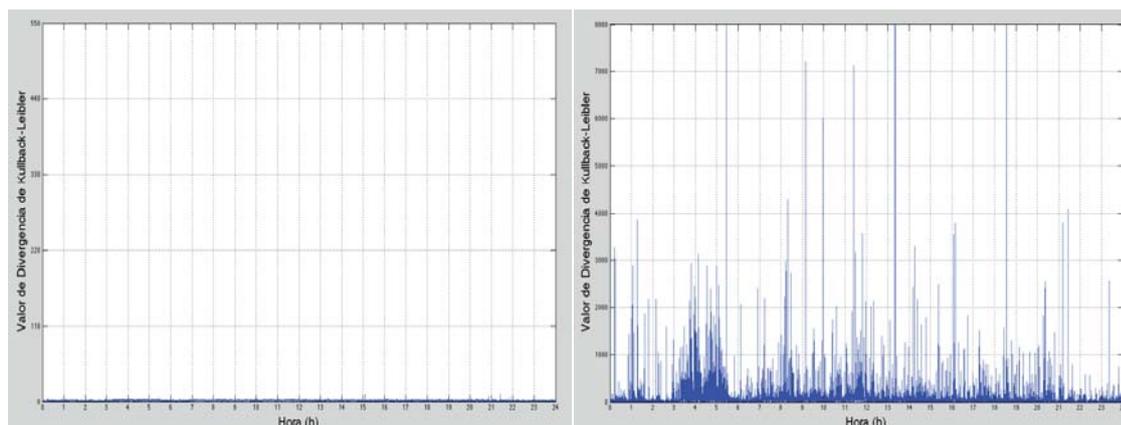


Figura 5.13 Divergencias KL entre el Campus de Tafira Norte y Sur

En la *Figura 5.14* se puede observar, a la izquierda, la DKL entre los campus de Tafira (Norte) y el Obelisco; a la derecha, la DKL entre los campus del Obelisco y Tafira (Norte). Como en el caso anterior, se pierde más información si se quiere estimar el Campus del Obelisco utilizando el Campus de Tafira Norte, en especial durante la noche, donde las diferencias son mayores.

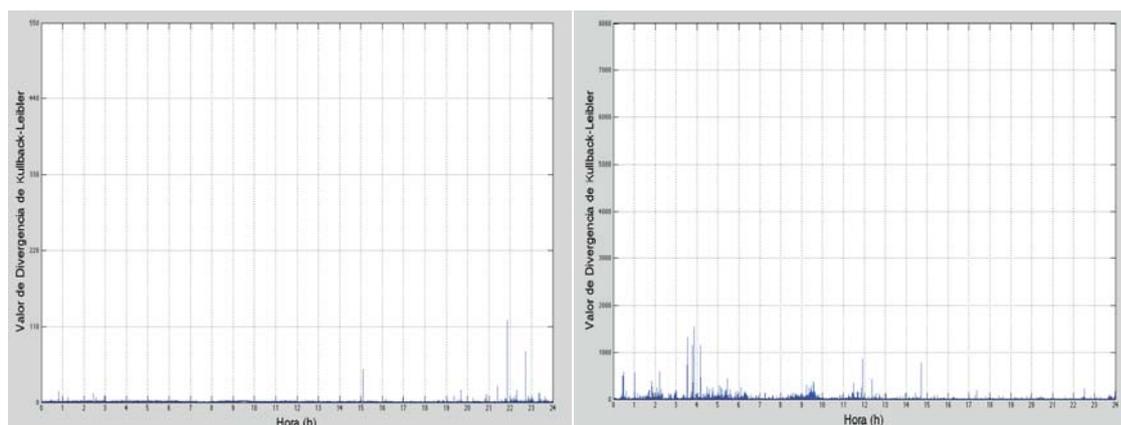


Figura 5.14 Divergencias KL entre el Campus de Tafira (Norte) y el Campus del Obelisco

En la *Figura 5.15* se puede observar la DKL entre el Campus de Tafira Norte y el Campus de San Cristóbal (izquierda) y la DKL entre el Campus de San Cristóbal y el Campus de Tafira Norte (derecha). Las diferencias entre estos campus no es tan elevada, la información que se pierde cuando se quiere estimar el Campus de San Cristóbal mediante el Campus de Tafira Norte es menor que en los casos anteriores.

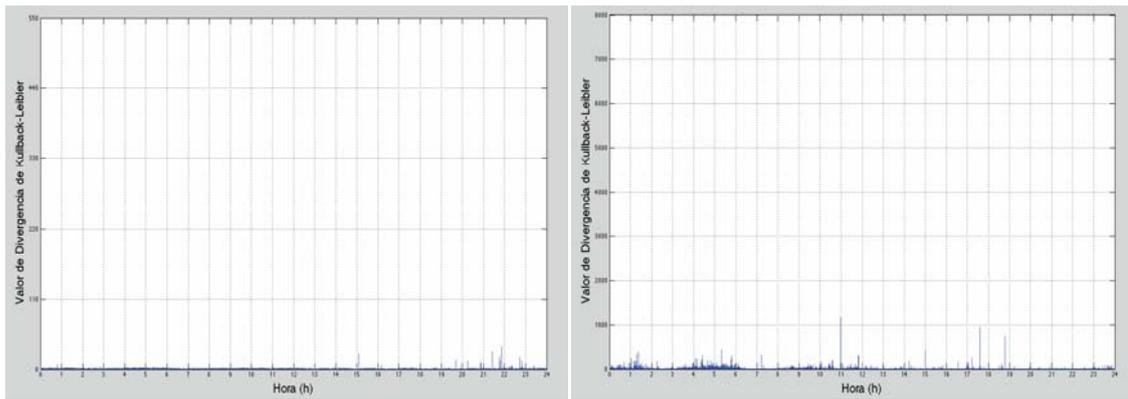


Figura 5.15 Divergencias KL entre el Campus de Tafira (Norte) y el Campus de San Cristóbal

En la *Figura 5.16* se puede observar la DKL entre el Campus de Tafira Norte y el Campus de Montaña Cardones (izquierda) y la DKL entre el Campus de Montaña Cardones y el Campus de Tafira Norte (derecha). La figura indica que se pierde información tanto para estimar Tafira mediante Montaña Cardones, como Montaña Cardones mediante Tafira, especialmente durante el período nocturno.

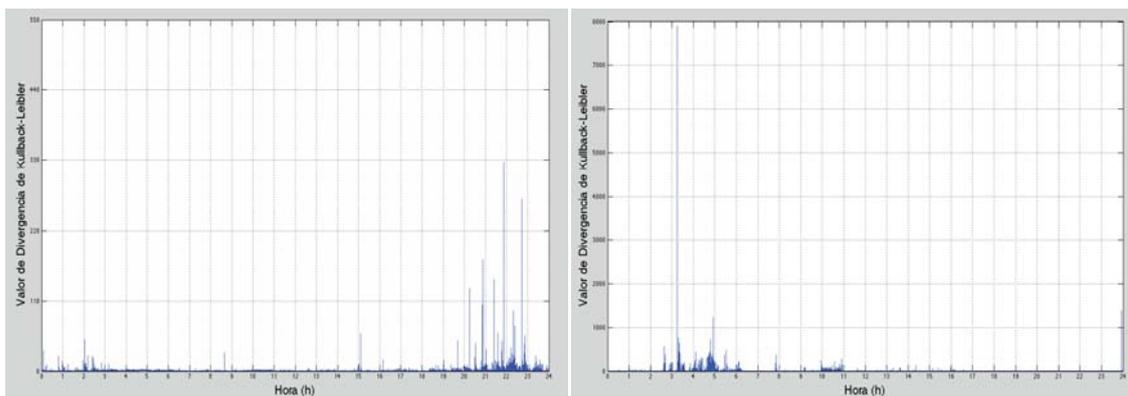


Figura 5.16 Divergencias KL entre el Campus de Tafira (Norte) y el Campus de Montaña Cardones

En la *Figura 5.17* se puede observar la DKL entre el Campus de Tafira Norte y El Burrero (izquierda) y la DKL entre El Burrero y el Campus de Tafira Norte (derecha). En este caso se pierde mucha información si se quiere estimar el Campus de Tafira Norte utilizando la urbanización de El Burrero.

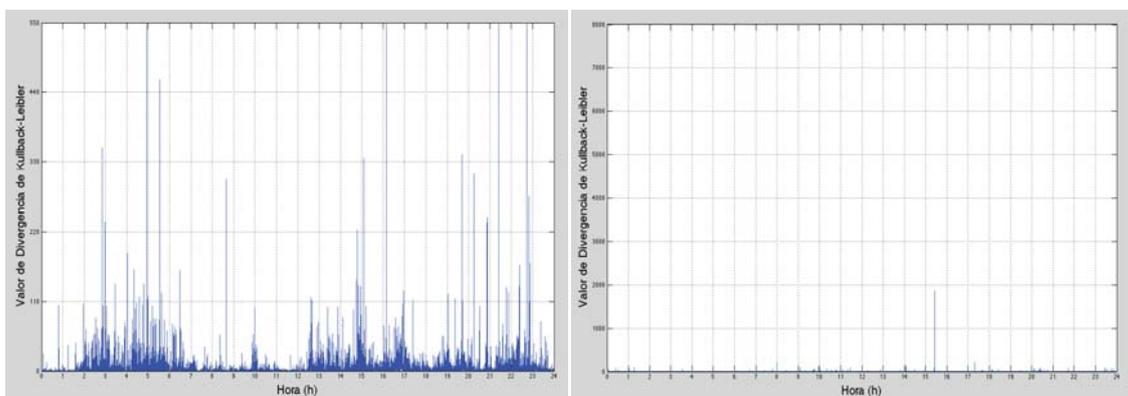
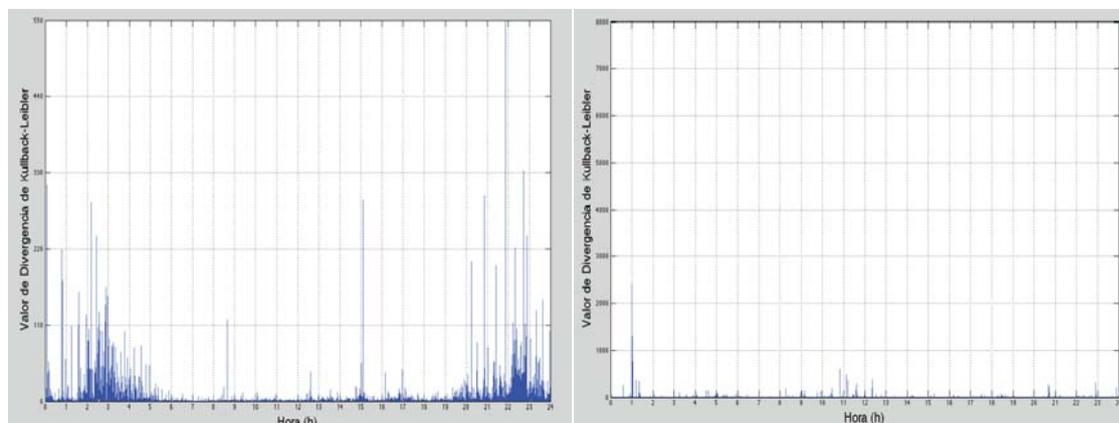


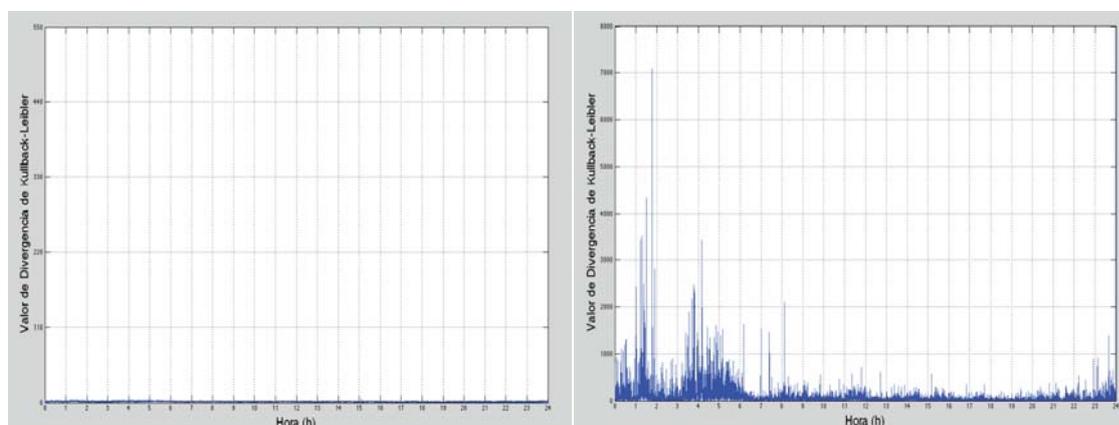
Figura 5.17 Divergencias KL entre el Campus de Tafira (Norte) y El Burrero

La DKL entre el Campus de Tafira Norte y Siete Palmas y la DKL entre Siete Palmas y el Campus de Tafira Norte se pueden observar en la *Figura 5.18* a la izquierda y la derecha, respectivamente. Durante la noche se pierde información si se estima Tafira Norte a través de Siete Palmas.



**Figura 5.18** Divergencias KL entre el Campus de Tafira (Norte) y Siete Palmas

En la *Figura 5.19* se puede observar la DKL entre el Campus de Tafira Norte y la Avenida Marítima (izquierda) y la DKL entre la Avenida Marítima y el Campus de Tafira Norte (derecha). La elevada divergencia en la figura de la derecha indica que la cantidad de información perdida para estimar la Avenida Marítima utilizando la información de la señal de Tafira Norte es alta.



**Figura 5.19** Divergencias KL entre el Campus de Tafira (Norte) y la Avenida Marítima

En la *Figura 5.20* se puede observar la DKL entre el Campus de Tafira Norte y Triana – Francisco Gourié (izquierda) y la DKL entre la Triana – Francisco Gourié y el Campus de Tafira Norte (derecha). El escenario donde más información se pierde si se quiere utilizar el Campus de Tafira Norte como estimador es el de Triana.

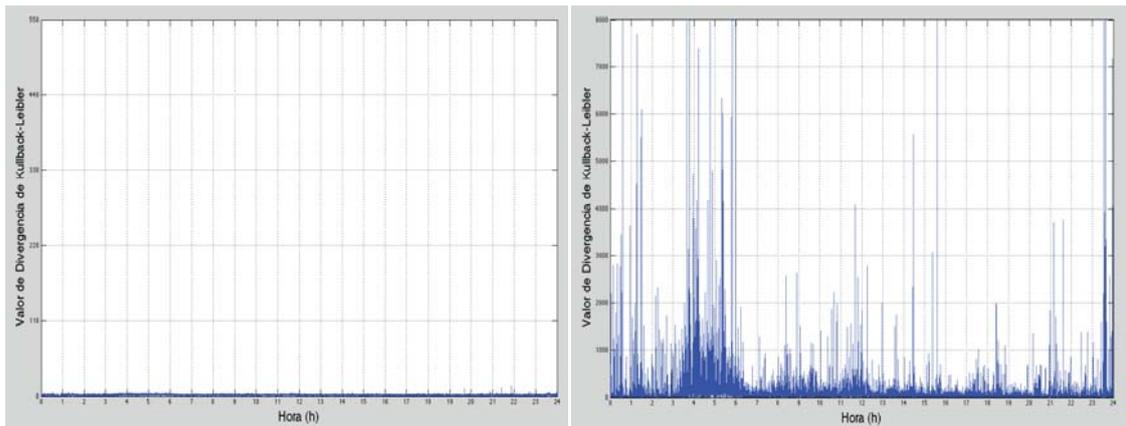


Figura 5.20 Divergencias KL entre el Campus de Tafira (Norte) y Triana – Francisco Gourié

Por último, en la *Figura 5.21* se puede observar la DKL entre el Campus de Tafira Norte y el Parque Rural de Doramas (izquierda) y la DKL entre el Parque Rural de Doramas y el Campus de Tafira Norte (derecha). Durante el período nocturno las diferencias entre ambos entornos son elevadas, es por ello que sería muy difícil estimar el Parque Rural de Doramas – Osorio utilizando para ello el Campus de Tafira Norte.

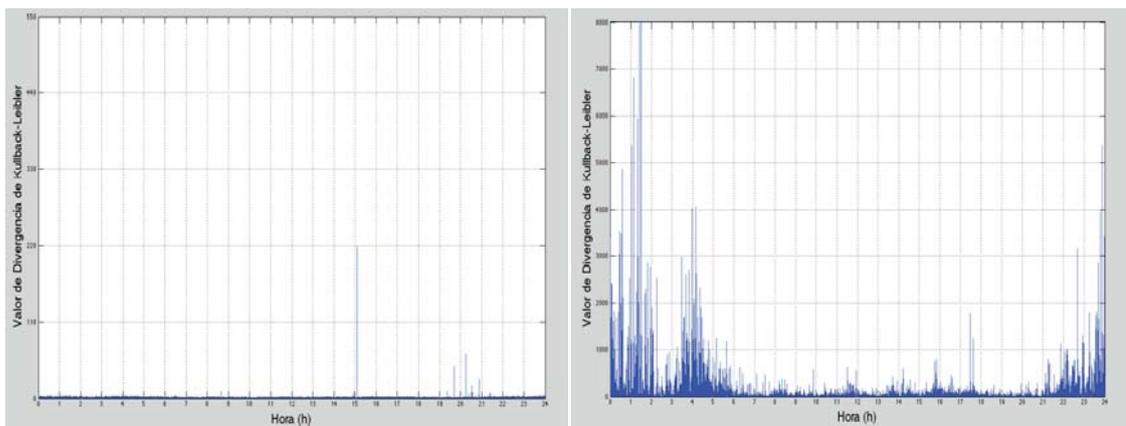
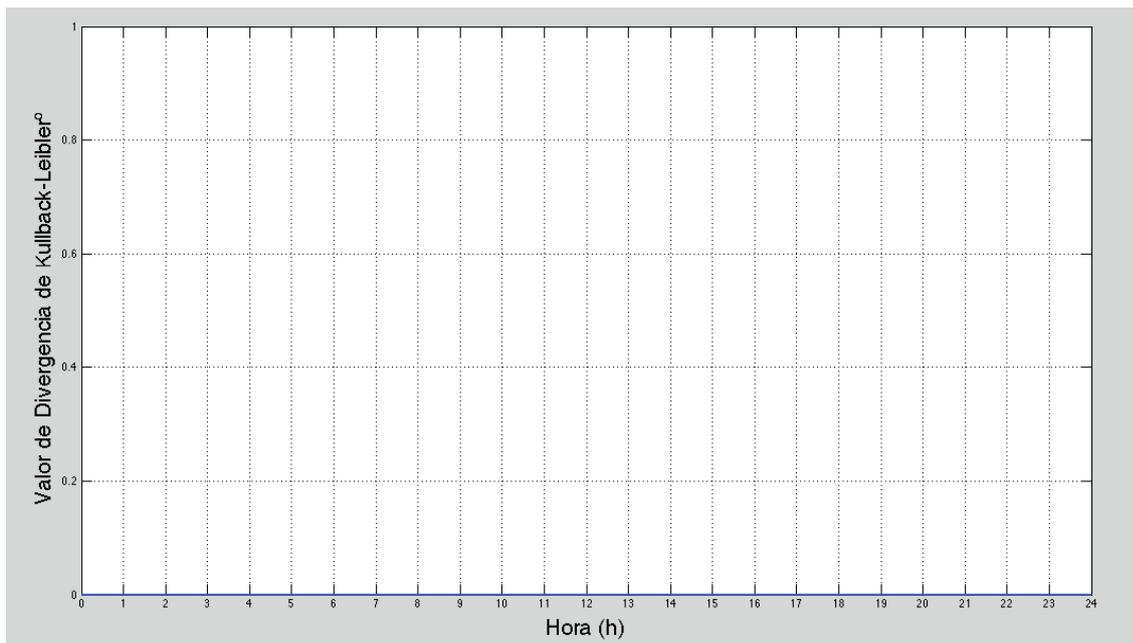


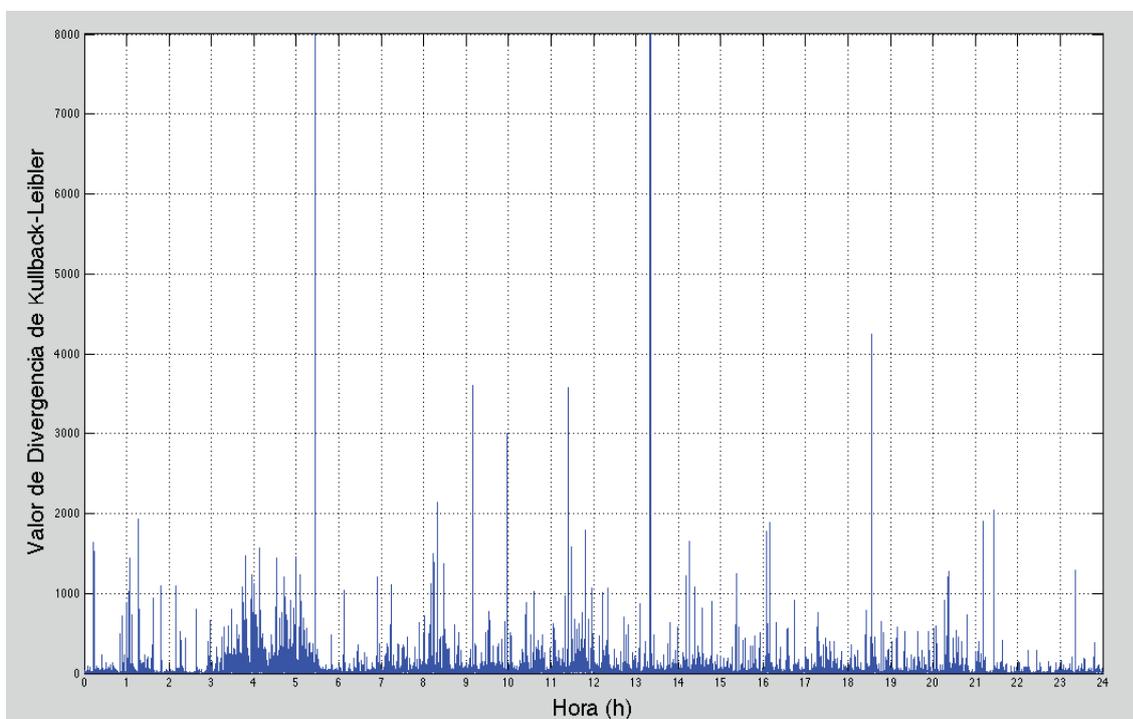
Figura 5.21 Divergencias KL entre el Campus de Tafira (Norte) y el Parque Rural de Doramas – Osorio

Para finalizar el capítulo, se presentarán ahora los resultados correspondientes al cálculo de la Divergencia de Kullback-Leibler Simétrica, con el fin de evitar el manejo de dos gráficas donde existe claramente una diferencia de escala muy elevada, por lo que se dificulta la comparación. Como en el caso anterior, se representará en primer lugar la DKL simétrica entre el Campus de Tafira Norte consigo mismo, con un valor límite de 1, resultando lo mostrado en la *Figura 5.22*:



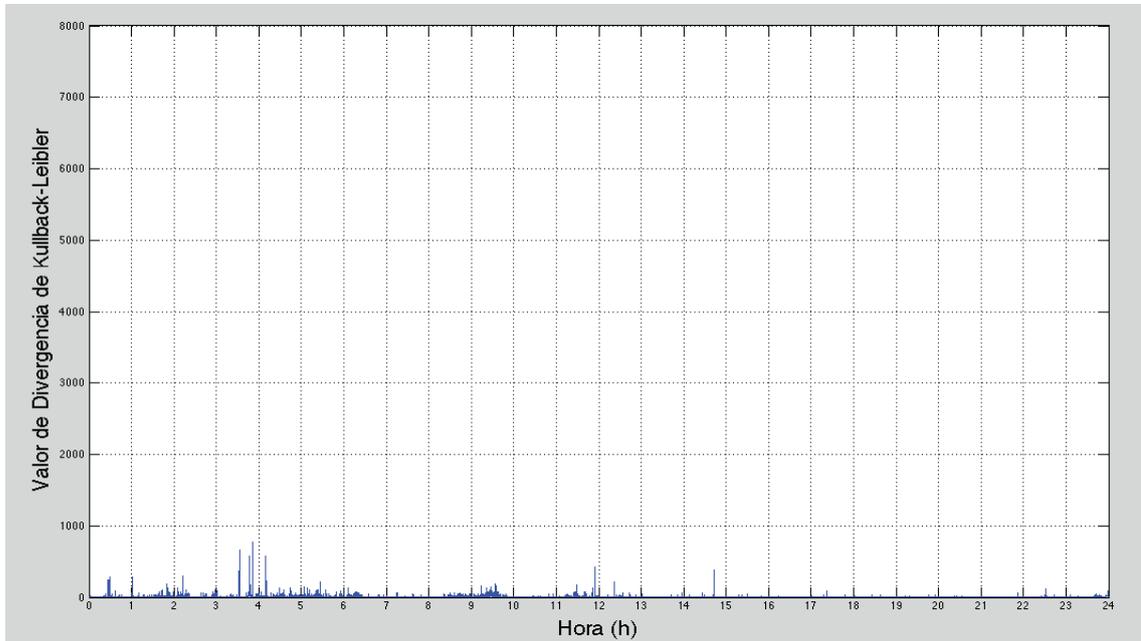
**Figura 5.21 Divergencia KL Simétrica entre el Campus de Tafira Norte consigo misma**

Para el resto de los casos se va a utilizar una escala con un límite de 8.000 de valor de DKL Simétrica. En la *Figura 5.23* se puede observar que, entre las dos partes del Campus de Tafira, existen bastantes diferencias. Los valores más altos de DKL ocurren 5:30 y 13:30 horas, aproximadamente.



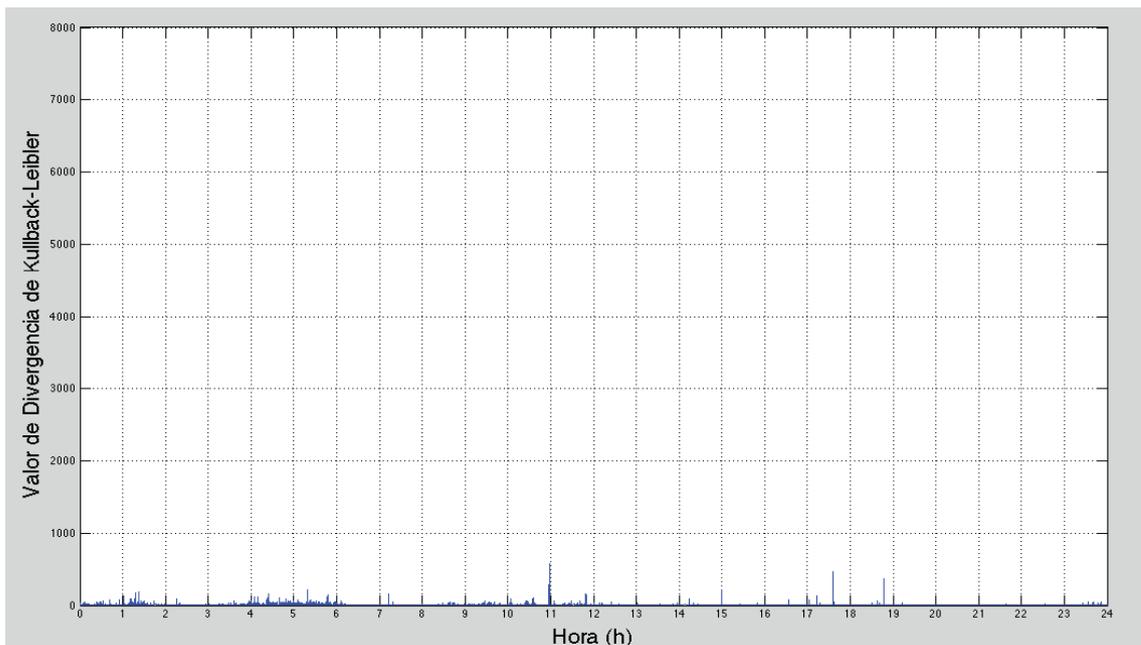
**Figura 5.23 Divergencia de KL Simétrica entre las partes Norte y Sur del Campus de Tafira**

Con respecto al Campus del Obelisco, los resultados de DKL son mucho menores. Los valores más altos ocurren durante el período nocturno (véase *Figura 5.24*).



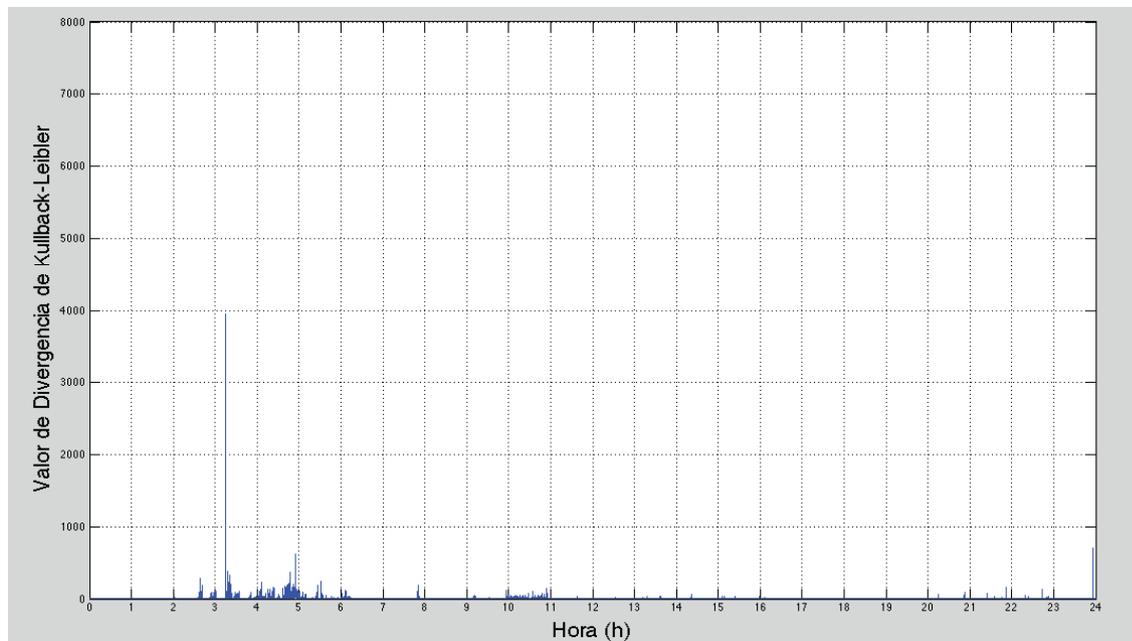
**Figura 5.24** Divergencia de KL Simétrica entre el Campus de Tafira Norte y el Campus del Obelisco

La DKL Simétrica con respecto al Campus de San Cristóbal es muy baja, teniendo en cuenta el gran tamaño de escala con el que se está trabajando. El nivel más alto de DKL Simétrica se tiene a las 11:00 horas (véase *Figura 5.25*).



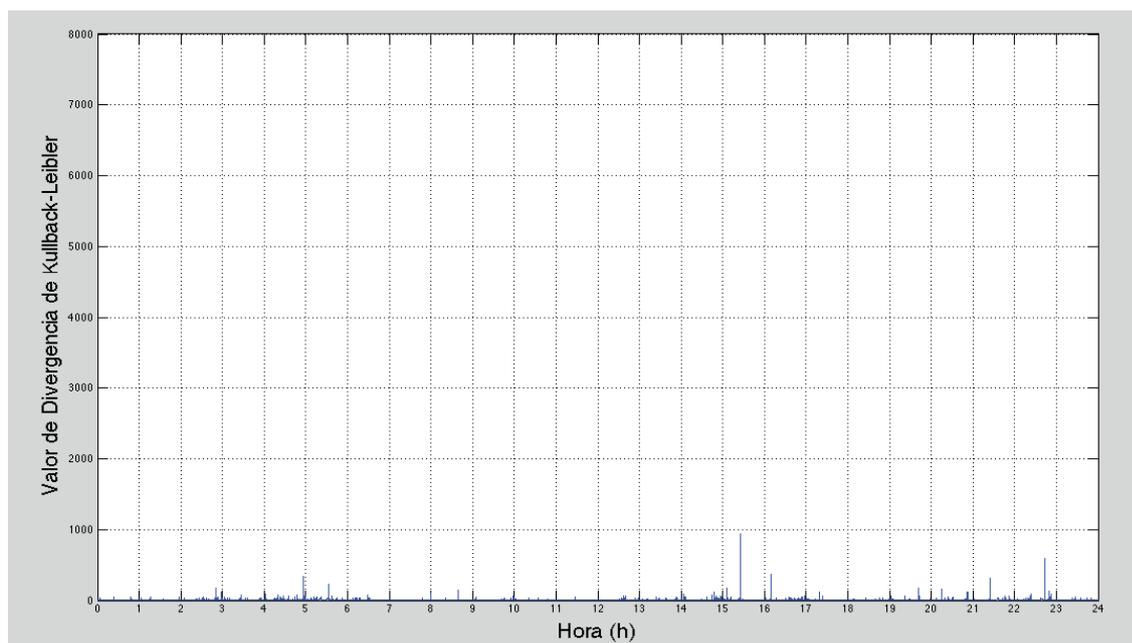
**Figura 5.25** Divergencia de KL Simétrica entre el Campus de Tafira Norte y el Campus de San Cristóbal

Al analizar la divergencia con el Campus de Montaña Cardones, se puede observar en la *Figura 5.26* que los valores más altos surgen por la noche, especialmente durante el período de 3:00 a 5:00 horas.



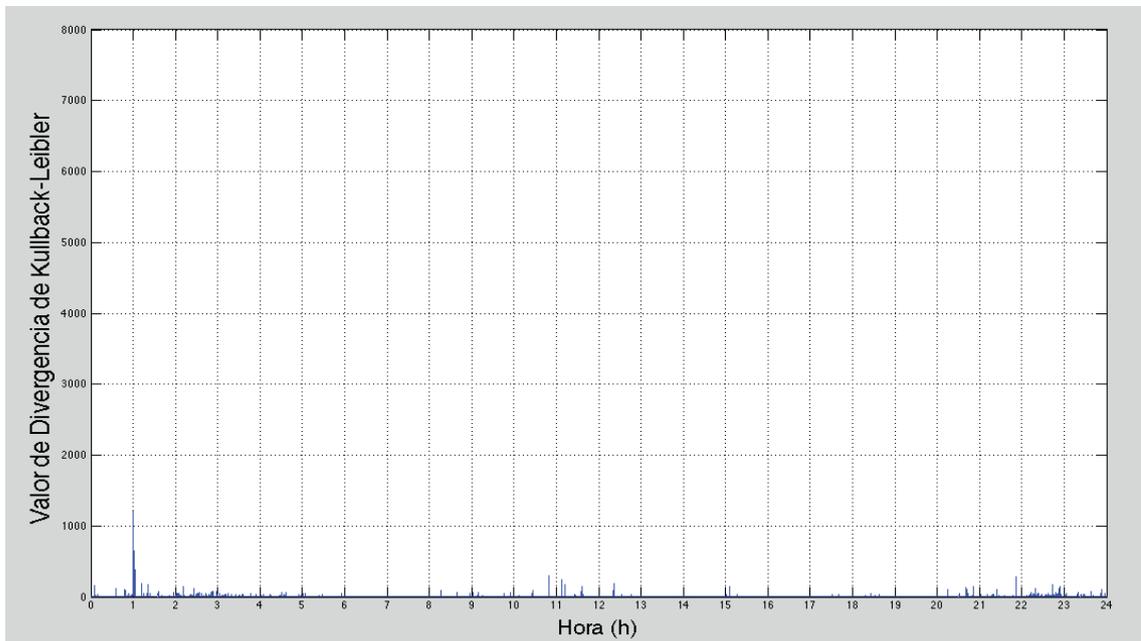
**Figura 5.26** Divergencia de KL Simétrica entre el Campus de Tafira Norte y el Campus de Montaña Cardones

La divergencia con El Burrero es relativamente baja, a excepción de las 15:30 y las 23:00 horas. En la *Figura 5.27* se puede observar el resultado.



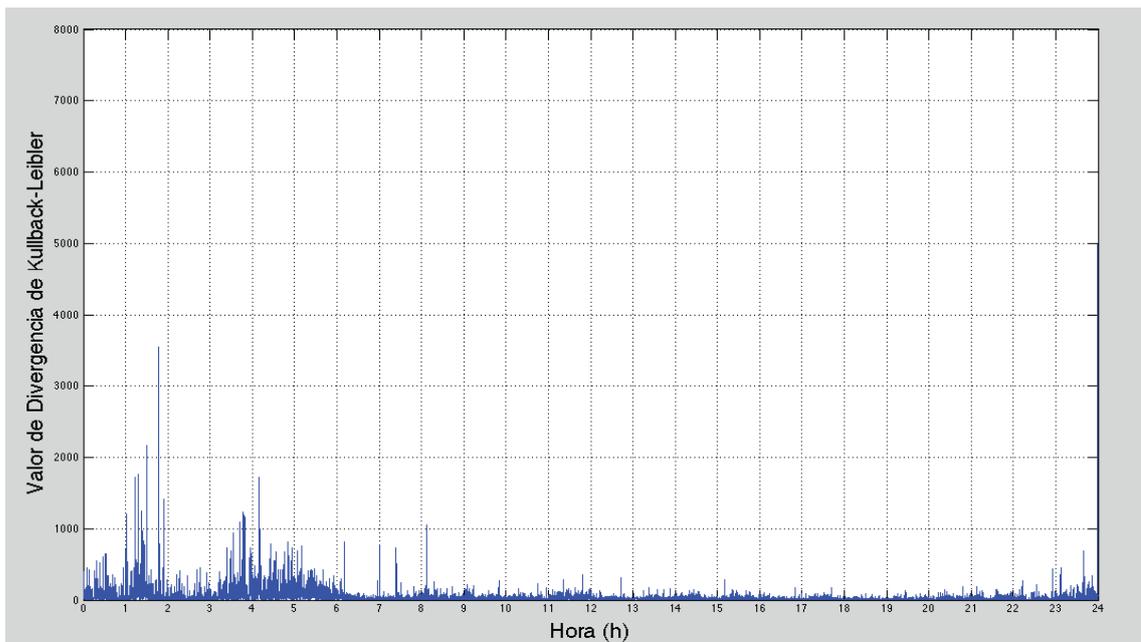
**Figura 5.27** Divergencia de KL Simétrica entre el Campus de Tafira Norte y El Burrero

En la *Figura 5.28* se observa que la mayor divergencia entre el Campus de Tafira Norte y Siete Palmas ocurre por la noche, especialmente a las 1:00 horas.



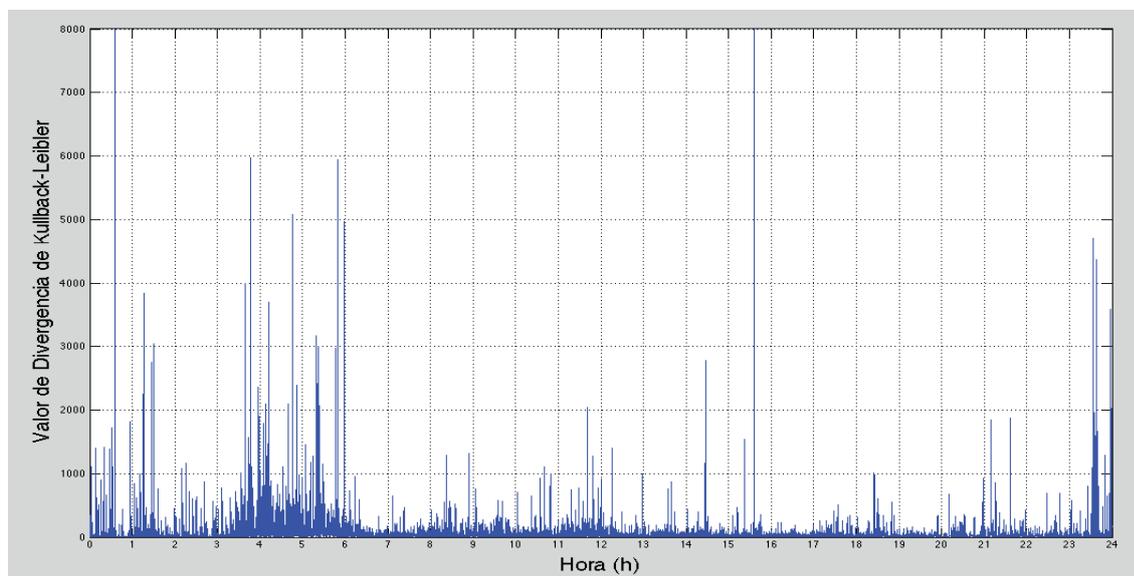
**Figura 5.28** Divergencia de KL Simétrica entre el Campus de Tafira Norte y Siete Palmas

Con respecto a la Avenida Marítima, se puede observar que durante la noche el grado de divergencia aumenta considerablemente, y durante el día se mantiene constante en un nivel bajo. Es decir, las mayores diferencias entre estos dos escenarios ocurren durante el período de descanso (ver *Figura 5.29*).



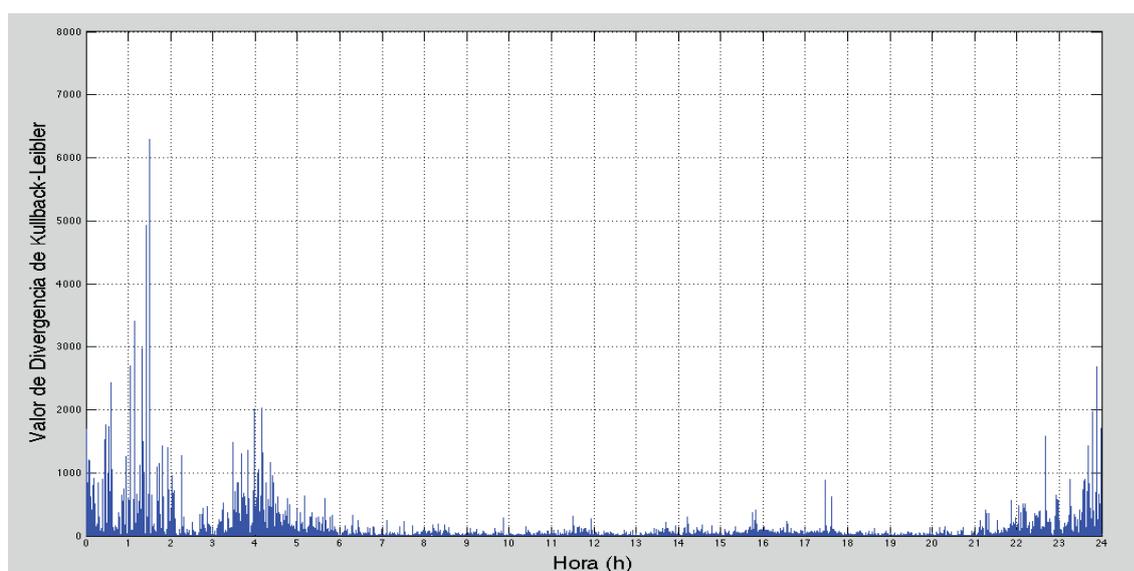
**Figura 5.29** Divergencia de KL Simétrica entre el Campus de Tafira Norte y la Avenida Marítima

Uno de los escenarios más diferentes al Campus de Tafira Norte es Triana-Francisco Gourié, especialmente por la noche, donde se alcanzan niveles muy altos. De manera similar ocurre durante el día, pero en menor medida, a excepción de determinadas franjas horarias entre las 14:00 y las 16:00 horas, que sí son elevados. En la *Figura 5.30* se puede apreciar lo comentado:



**Figura 5.30** Divergencia de KL Simétrica entre el Campus de Tafira Norte y Triana – Francisco Gourié

Para finalizar el capítulo, la Divergencia Simétrica de Kullback-Leibler entre el Campus de Tafira Norte y el Parque Rural de Doramas se eleva durante el período nocturno. Sin embargo, durante el día la divergencia es bastante baja, como se muestra en la *Figura 5.31*.



**Figura 5.31** Divergencia de KL Simétrica entre el Campus de Tafira Norte y el Parque Rural de Doramas

## **Capítulo 6.**

### **Análisis subjetivo**

---

En este capítulo se analizará la percepción subjetiva en los escenarios de medida. En la primera parte se comenta la estructura del cuestionario realizado y el procedimiento seguido para efectuar las encuestas. En su final, se explican los resultados obtenidos en cada entorno.



## 6.1 Modelo de encuesta

Antes de comentar los resultados obtenidos, se va a pasar a comentar el procedimiento llevado a cabo.

El formulario consta de 13 preguntas, las 3 primeras corresponden a información sobre la persona y el entorno: zona evaluada, sexo y edad. El resto se compone de preguntas sobre agradabilidad acústica y la percepción que se tiene del escenario evaluado. Además, se incluye una pregunta sobre qué fuentes de ruido afectan más a la persona; otra sobre la valoración de diferentes zonas que se proponen como lugar para vivir y, por último, se incluye una serie de preguntas con las que se pretende evaluar el grado de neuroticismo o inestabilidad emocional de la persona, con el fin de detectar si hay alguna relación entre las personas neuróticas y una mayor molestia del ruido [28, 29, 30].

Por otro lado, a excepción de las 3 primeras preguntas, el resto de respuestas está en una escala Likert o se compone de elementos tipo Likert en 5 niveles. Se trata de un tipo de escala utilizada comúnmente en cuestionarios y encuestas para la investigación, en la que se especifica el nivel de acuerdo o desacuerdo con una declaración [31].

Cabe resaltar que la encuesta es totalmente anónima, la única información personal requerida ha sido la edad y el sexo. Con lo que se pretende que la persona no se vea condicionada a la hora de realizar la encuesta de forma totalmente sincera, especialmente en aquellas preguntas correspondientes al grado de neuroticismo.

En el *Anexo I. Modelo de Encuesta* se puede observar el documento de encuesta empleado para este Trabajo Fin de Grado.

## 6.2 Extracción de resultados

En cuanto al análisis subjetivo se va a realizar un estudio de los resultados de las encuestas por entorno. En primer lugar se aporta una figura (*Figura 6.1*) en la que se puede apreciar el número de personas encuestadas por entorno:

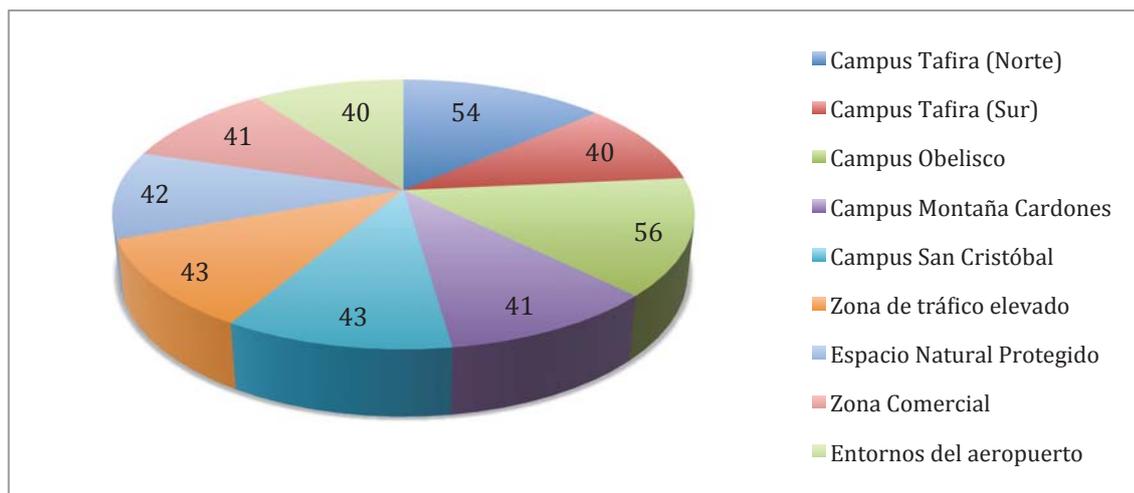


Figura 6.1 Número de personas encuestadas por entorno

En cuando a las preguntas del cuestionario, en relación a la percepción de los niveles acústicos, se puede apreciar en la *Figura 6.2* que en las zonas de tráfico elevado el 83,7% de las personas coinciden con el nivel que se percibe es alto o muy alto. Si se analiza, por el contrario, el Espacio Natural Protegido, el 76,2% afirma que el nivel es bajo o muy bajo. En los campus universitarios destaca la diversidad de opiniones, excepto en el Obelisco, donde el ruido es medio (39,3%) o alto (33,9%), y en Tafira Norte, que se percibe un nivel de ruido bajo (44,4%) y medio (40,7%). En el resto de emplazamientos, los resultados son muy similares entre ellos, por lo que no se puede determinar ninguna conclusión.

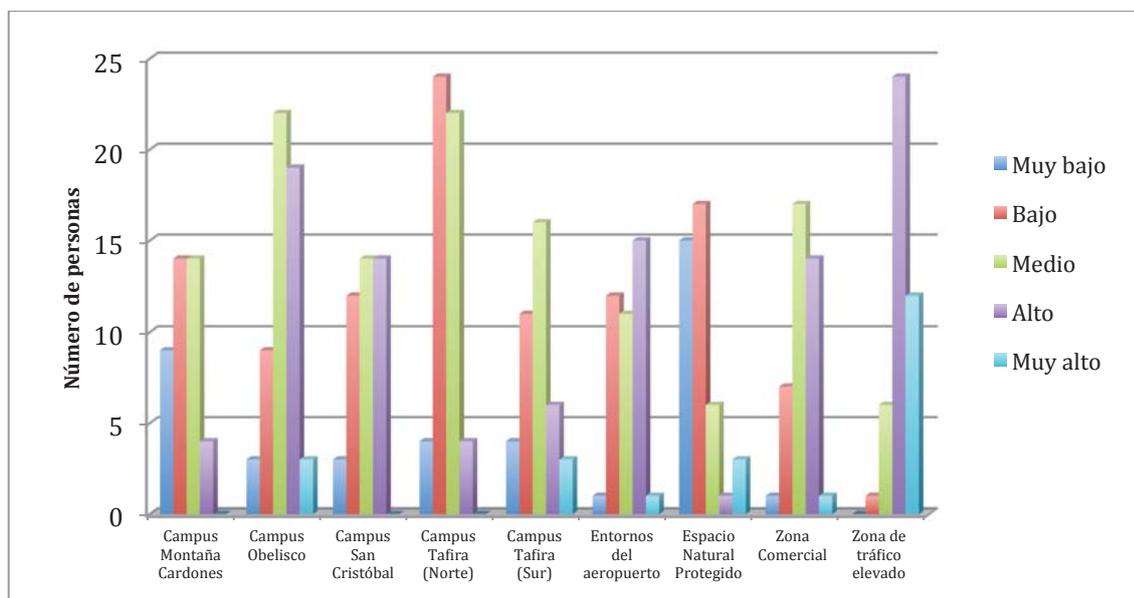
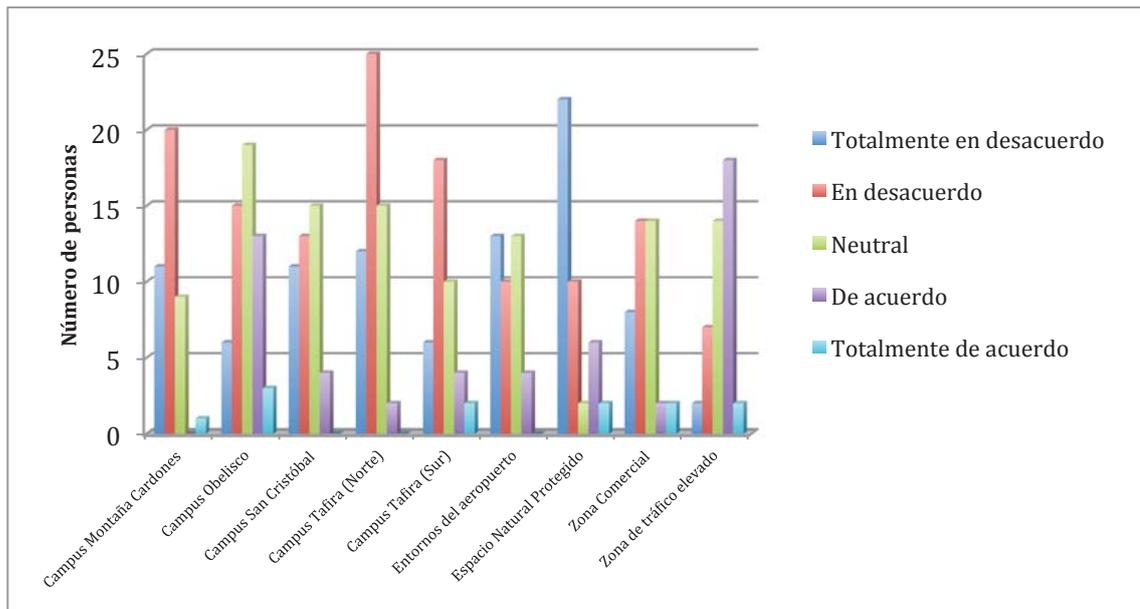


Figura 6.2 Percepción de nivel de ruido

Quando se les preguntaba por si el ruido les impide llevar una vida normal, existe bastante igualdad en las respuestas, y existe una tendencia a estar en

desacuerdo, es decir, el ruido no afecta a la hora de realizar las tareas cotidianas o durante el desempeño de la actividad docente. Sin embargo, en las zonas de tráfico elevado, el 41,9% está de acuerdo con la afirmación. Si se analiza el caso del Espacio Natural Protegido, el 76,2% de las personas están totalmente en desacuerdo y en desacuerdo con la pregunta, por lo que se podría decir que no sólo no se ven afectados negativamente en su día a día, sino que además el ruido que existe en su entorno les favorece (véase la *Figura 6.3*).



**Figura 6.3 El ruido le impide llevar una vida normal**

Respecto a si el ruido interfiere en su descanso nocturno (*Figura 6.4*), en las zonas de tráfico la mayoría está de acuerdo (46,5%), en el Espacio Natural Protegido está totalmente en desacuerdo y en desacuerdo (80,9%), al igual que en el Campus de Tafira Norte (61,1%) y en el Campus de Montaña Cardones (70,7%). En el resto de escenarios las diferencias entre las respuestas no son muy notables.

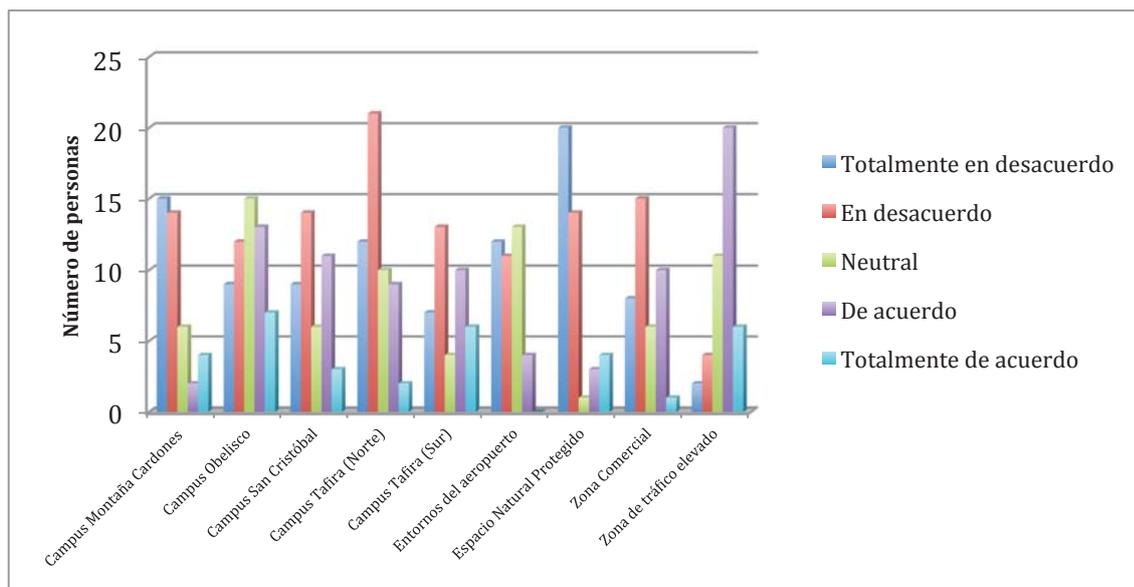


Figura 6.4 Interfiere el ruido en su descanso nocturno

En todos los entornos las personas están acostumbradas al ruido existente. De las personas encuestadas, el 45,1% ha dicho que está de acuerdo con la afirmación y el 24,3% se ha mostrado neutral. El resto están totalmente de acuerdo (16,5%), totalmente en desacuerdo y en desacuerdo (14,1%). Si se analiza los escenarios individualmente, hay que destacar que el grado de acuerdo en el espacio natural protegido es aún mayor, con un 64,3% (véase Figura 6.5).

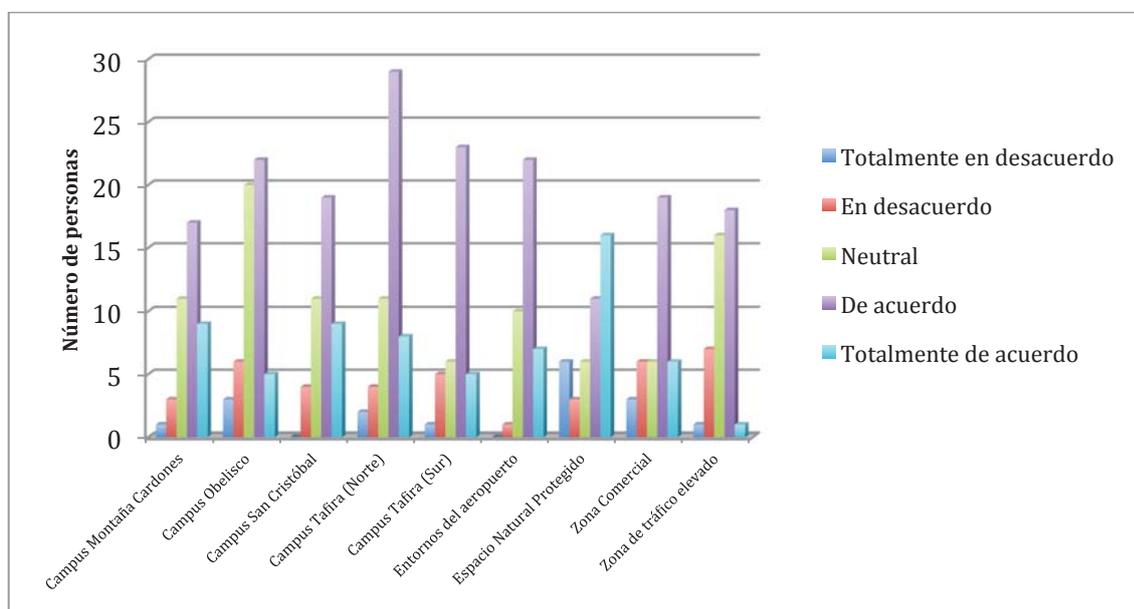
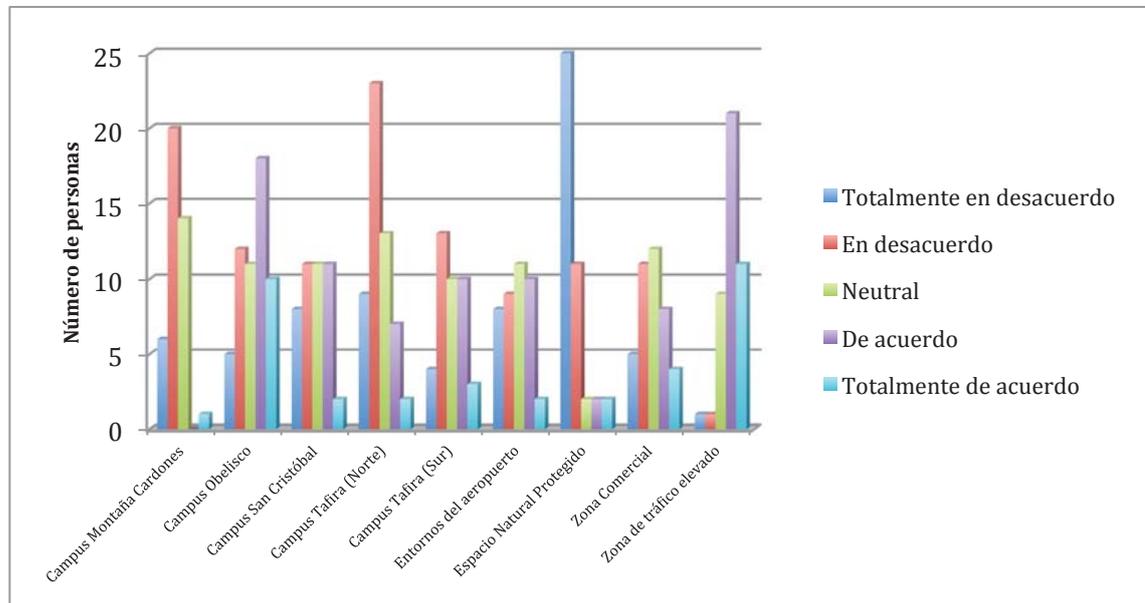


Figura 6.5 Está acostumbrado al ruido de su entorno

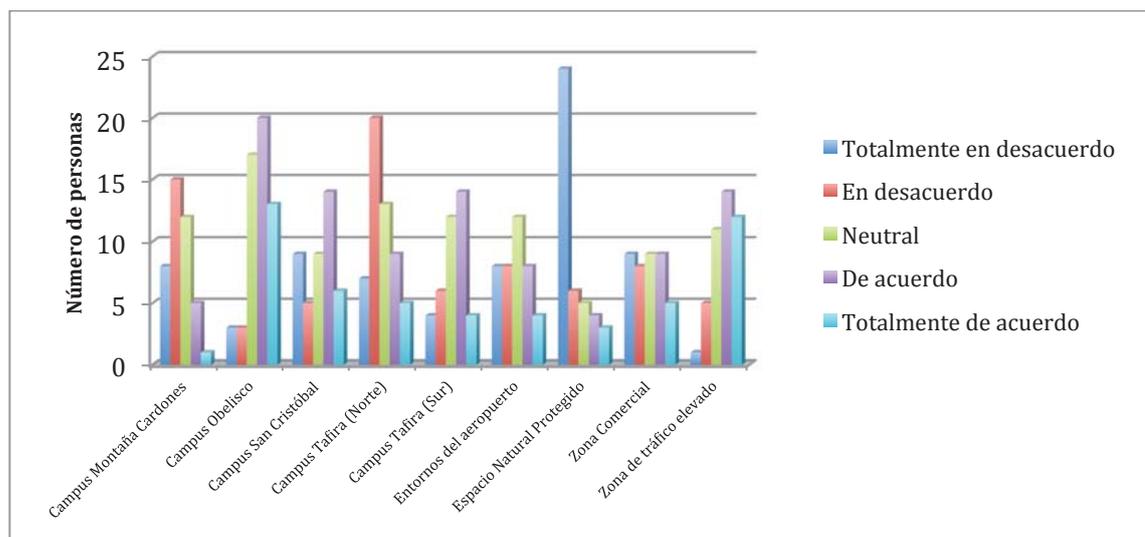
Al preguntar si se considera excesivo el ruido al que se está sometido, el 48,8% de las personas encuestadas en las zonas de tráfico elevado consideran excesivo el ruido al que están sometidos, y el 32,1% en el Campus del Obelisco. En

el Campus de Montaña Cardones predominan el en desacuerdo (48,8%) y el neutral (34,1%). En cambio, el 59,5% de las personas del Espacio Natural Protegido discrepan totalmente con esta afirmación. En la *Figura 6.6* se puede ver una mejor desglose de los resultados.



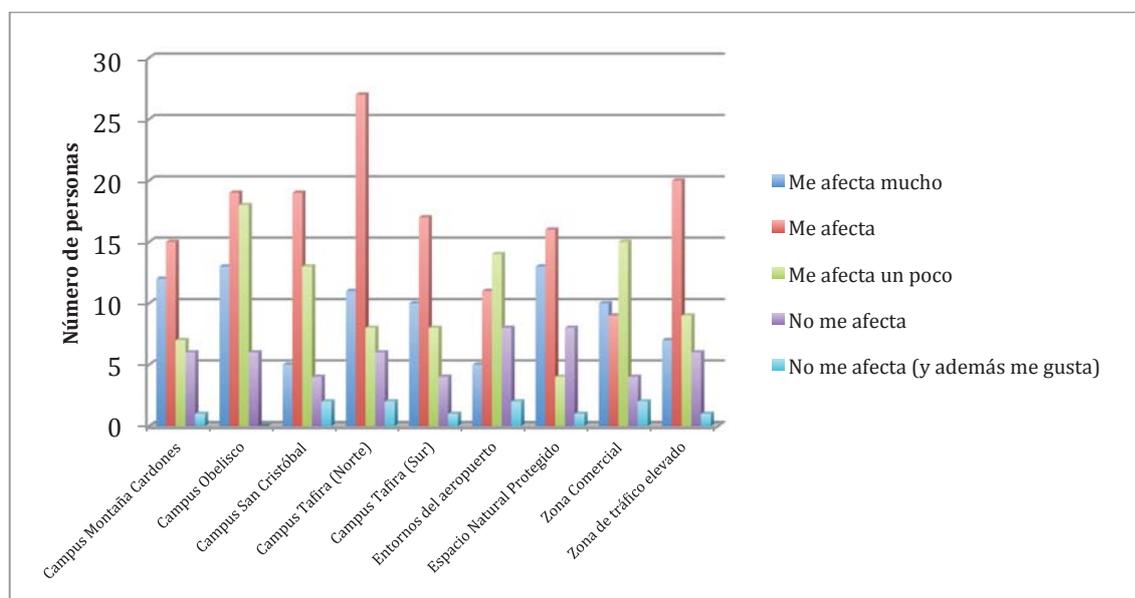
**Figura 6.6 Considera excesivo el ruido al que está sometido**

En los entornos del Campus del Obelisco, San Cristóbal, Tafira (Sur) y en las zonas de tráfico elevado, las personas consideran necesario un cambio para vivir en mejores condiciones acústicas (*Figura 6.7*). En el resto, existe mucha diversidad de opiniones e incluso en el caso del Espacio Natural Protegido o Tafira Norte, ocurre todo lo contrario: solo un 16,6% y 26% de los preguntados está de acuerdo, respectivamente.



**Figura 6.7 Considera necesario un cambio para vivir en mejores condiciones acústicas**

Las siguientes preguntas se plantearon con el objetivo conocer cómo valoran las personas las diferentes fuentes de ruido que se les planteó. En primer lugar, en cuanto al ruido procedente de la multitud, del total de personas encuestadas en todos los entornos, al 60% de las personas les afecta negativamente. El resultado *me afecta* coincide con ser mayoría en todos los entornos excepto en dos de ellos: entornos del aeropuerto (me afecta un poco – 35%) y en la zona comercial (me afecta un poco – 37,5%). Resulta curioso este último dato, puesto que las zonas comerciales son aquellas que se caracterizan tener una presencia masiva de personas en su entorno. Por tanto, se podría concluir con que las personas que viven por estas zonas están tan acostumbradas a escuchar multitudes, que no les afecta. Para una mejor visualización se puede observar en la *Figura 6.8* los resultados:



**Figura 6.8 Valoración ruido Multitud**

Al preguntarse sobre el ruido de tráfico, del total de personas, al 93,5% le *afecta* negativamente en mayor o menor medida, independientemente del lugar donde se pregunte. En contrapartida, sólo al 6,5% de las personas no les afecta. En la *Figura 6.9* se pueden apreciar los resultados.

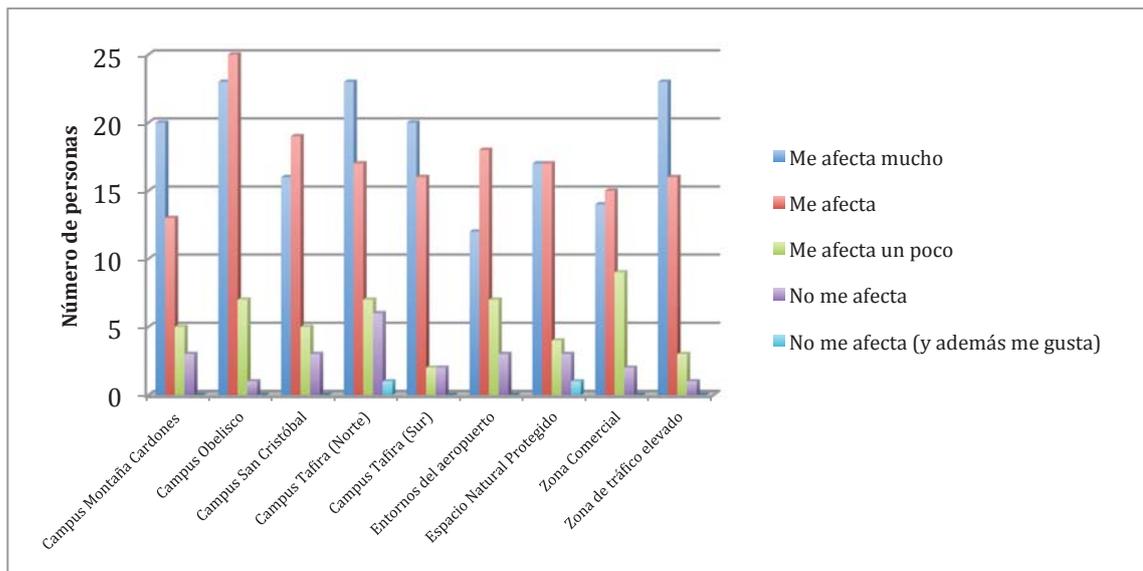


Figura 6.9 Valoración ruido tráfico

En cuanto al ruido procedente de aviones, en todos los escenarios predomina que *afecta mucho*, esto hace un total del 43,1% de los encuestados. Resulta también curioso que el segundo escenario con el *me afecta mucho* más bajo sea el entorno del aeropuerto (35%), aunque al 22,5% le *afecta*. El entorno en el que a las personas les afecta menos el ruido de aviones es Campus del Obelisco (28,6%) (véase Figura 6.10).

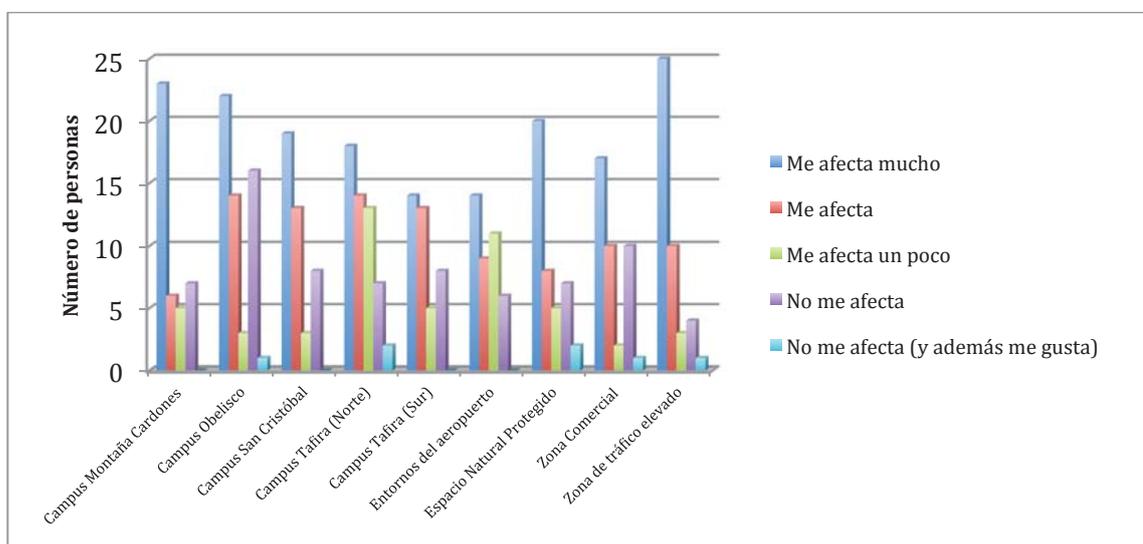


Figura 6.10 Valoración ruido aviones

Al valorar el ruido del mar se observa que en todos los escenarios se obtiene el mismo resultado: *no me afecta y además me gusta*, con un 59,4%. Tan sólo el 14% del total afirma que el mar le afecta negativamente. Estos valores se pueden observar en la Figura 6.11.

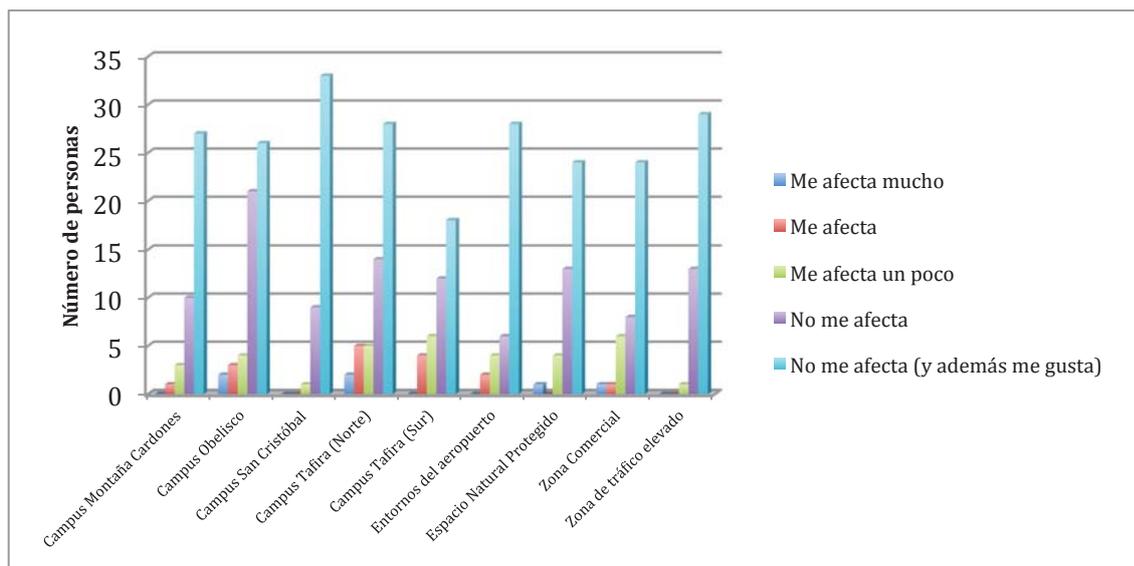


Figura 6.11 Valoración ruido mar

En cuanto al ruido de las aves, la mayoría coincide con que *no les afecta*, con un 41,1% y con que *no les afecta y les gusta* (30,1%). Además, en algunas ocasiones *les afecta un poco*, como en los casos de Tafira (Sur) (30%) o en la zona comercial (35%) (ver Figura 6.12).

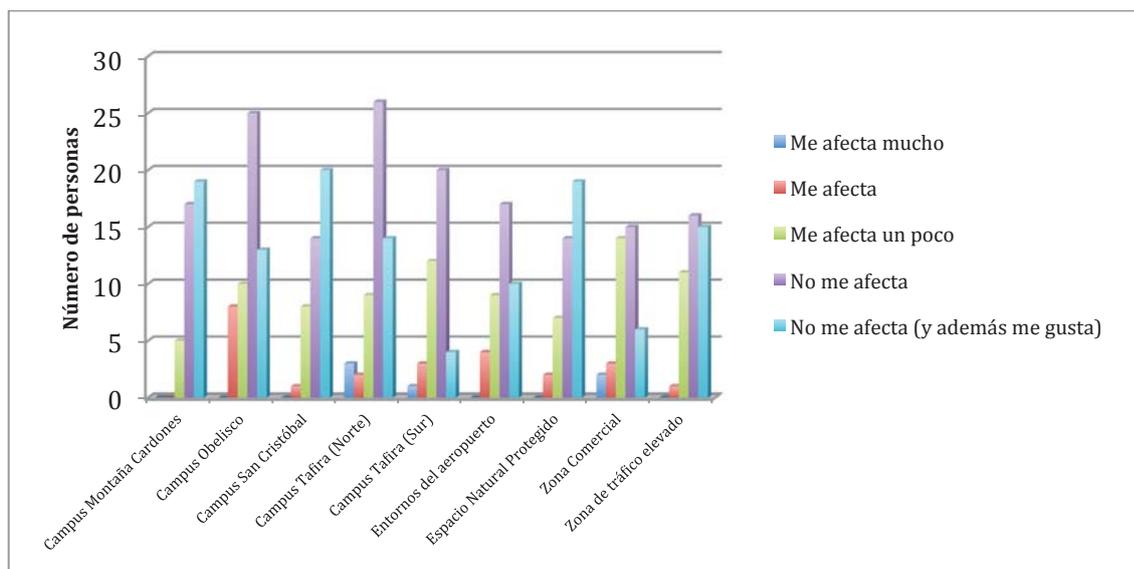


Figura 6.12 Valoración ruido aves

El ruido de animales *no afecta* en la mayoría de los casos, o *afecta un poco*. Resulta destacable que en el Espacio Natural Protegido es donde más *no me afecta y además me gusta* se han obtenido, de todas las personas que han votado lo han dicho, el 20,2% corresponde a aquellas personas pertenecientes al escenario natural. Para más detalle se puede consultar la Figura 6.13.

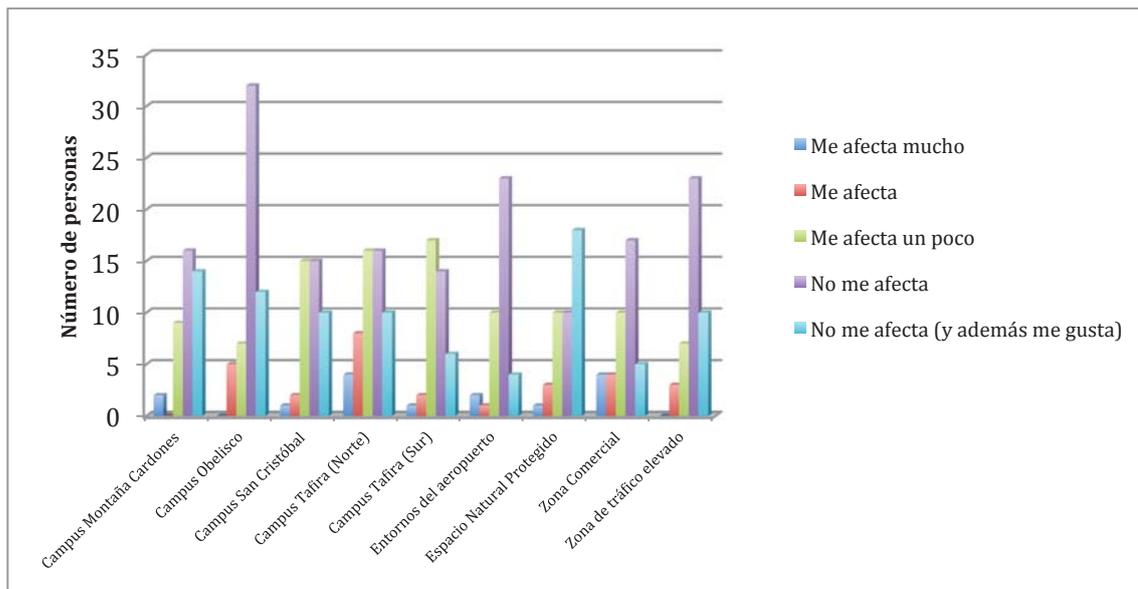


Figura 6.13 Valoración ruido animales

Si se valora el ruido procedente del viento sí se detectan diferencias en cuanto a los entornos. Por ejemplo, En las zonas de tráfico elevado y en el Campus de Tafira (Sur) no afecta. En cambio en el Espacio Natural Protegido, en el Campus de Montaña Cardones sí. Sin embargo, los porcentajes no son demasiado altos, por lo que hay una gran variabilidad de opiniones. Lo que sí se puede apreciar es que es un ruido que tiende a no afectar demasiado, pero muy pocas veces a gustar (véase Figura 6.14).

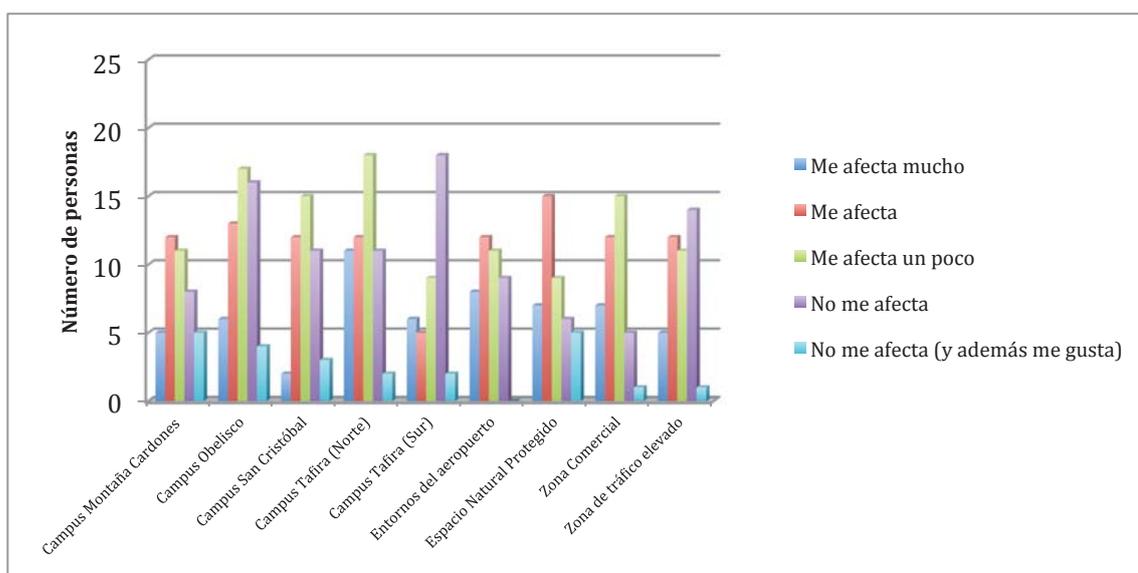


Figura 6.14 Valoración ruido viento

Con respecto al ruido procedente de vecinos, en general se tiene la misma percepción. En todos los casos *afecta mucho* y *afecta*, ambos resultados abarcan un 72,7% del total de personas encuestadas (observar *Figura 6.15*).

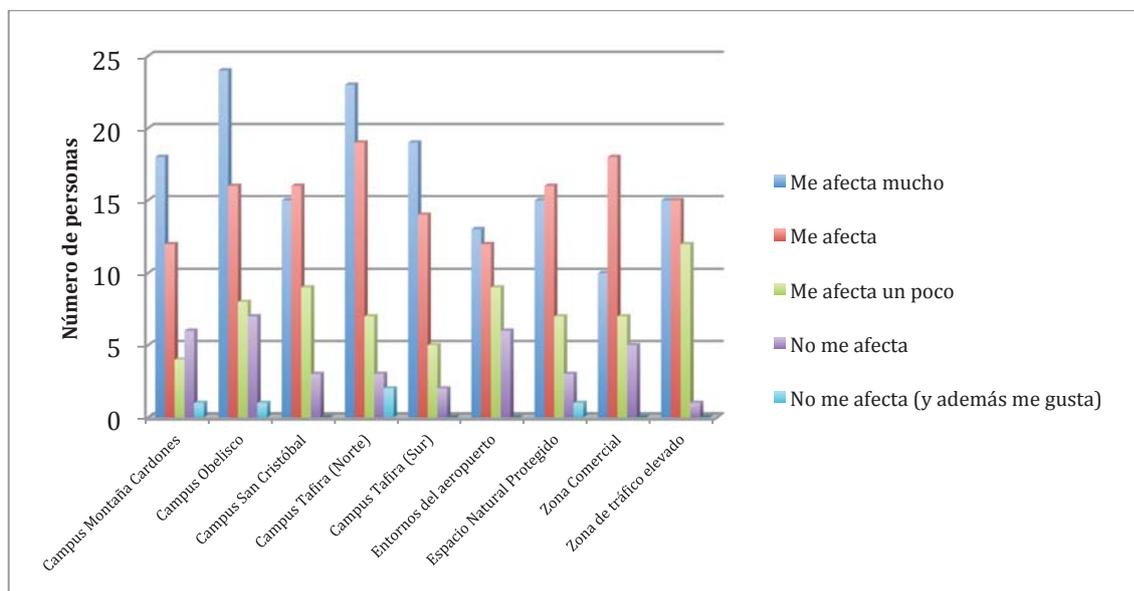


Figura 6.15 Valoración ruido procedente de vecinos

La última fuente de ruido que se ha estudiado es la lluvia. En este caso, las opciones más escogidas son *no me afecta* y *no me afecta y además me gusta* con un 38,8% y 33,6% del total de personas preguntadas, respectivamente. En el entorno donde a más personas les afecta es en el Campus del Obelisco (*me afecta un poco*, con un 21,4%). Para más información se puede consultar la *Figura 6.16*.

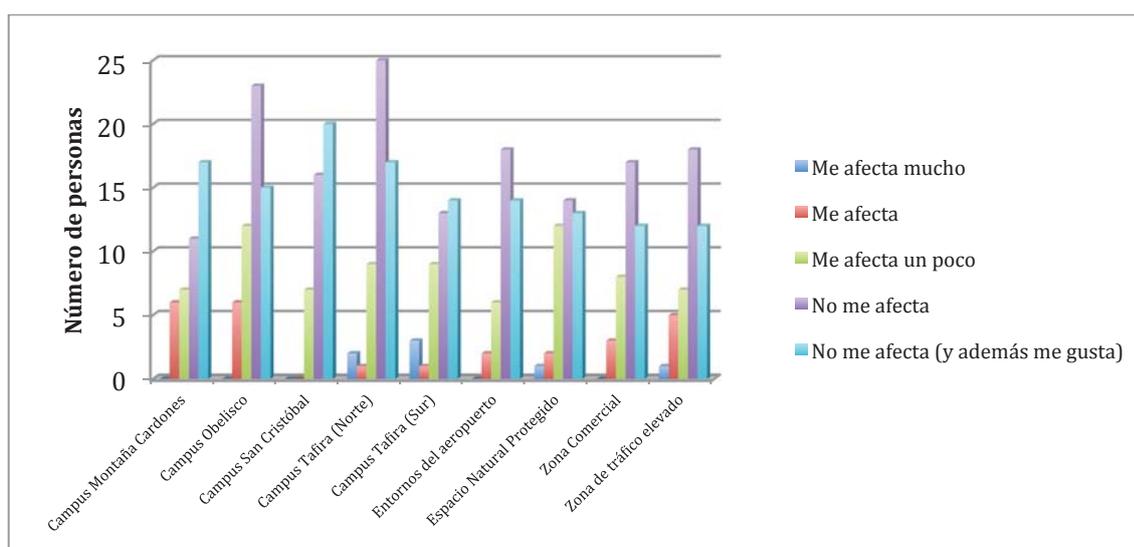


Figura 6.16 Valoración ruido lluvia

Al analizar la frecuencia con la que las personas se ven afectadas en su descanso por el ruido, se puede observar que prácticamente en todos los entornos predomina que *algunas veces* (40,9% del total de personas) se ven afectados en su descanso o período de estudio. En sitios como el Campus de San Cristóbal y en las zonas de tráfico sí se ven resultados donde destaca el *con frecuencia*: 27,9% y 32,6%, respectivamente (véase la *Figura 6.17*).

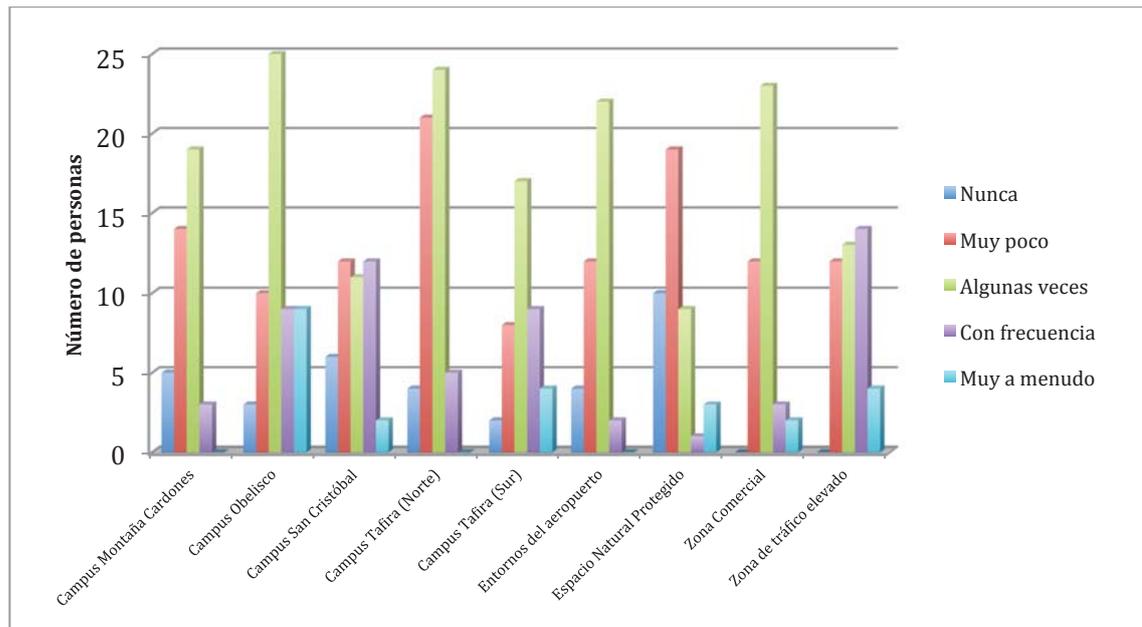


Figura 6.17 Frecuencia con la que se ve afectado en su descanso por el ruido

En cuanto a la valoración de los diferentes entornos a la hora de vivir, se puede observar en la *Figura 6.18*, en primer lugar, la opinión de las personas sobre su entorno. Destacan las respuestas sobre Tafira Norte, que el 40,7% ha dicho que *me gusta*, entornos del aeropuerto con un 40,0% de *me gusta* o el Espacio Natural Protegido, donde el 42,9% de las personas encuestadas lo consideran como el *sitio ideal para vivir*. En el resto de los emplazamientos se consideran *aceptables*.

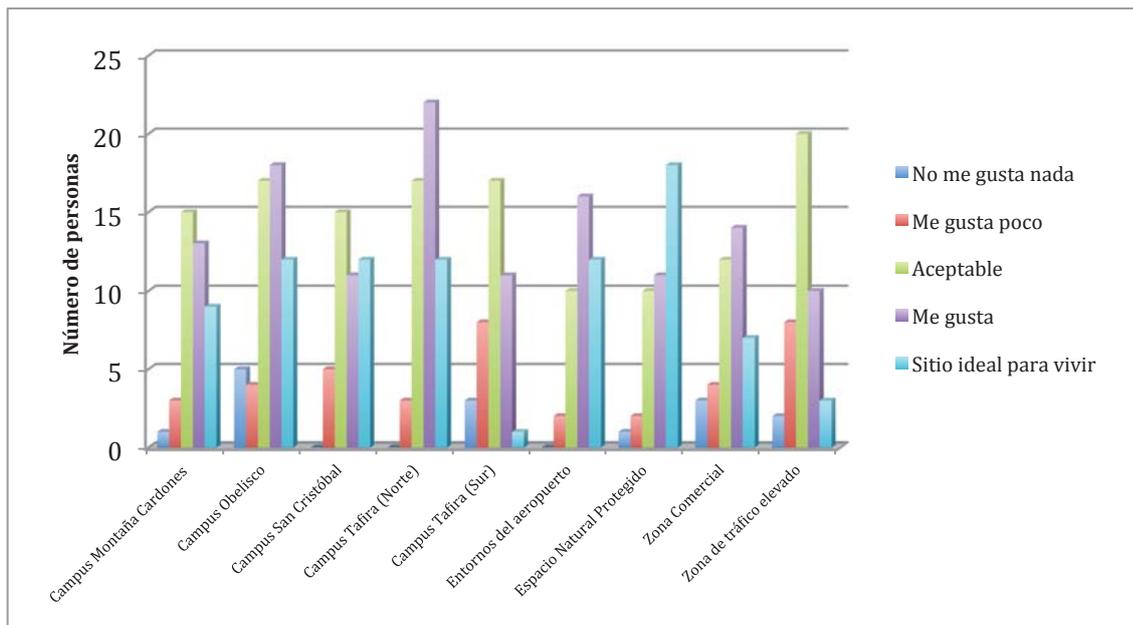


Figura 6.18 Valoración sobre vivir en el entorno evaluado

En la *Figura 6.19* se observa que al valorar vivir en un entorno de playa solitaria, de las 399 personas encuestadas predomina el *me gusta* (37,1%) e incluso el *sitio ideal para vivir* (39,8%).

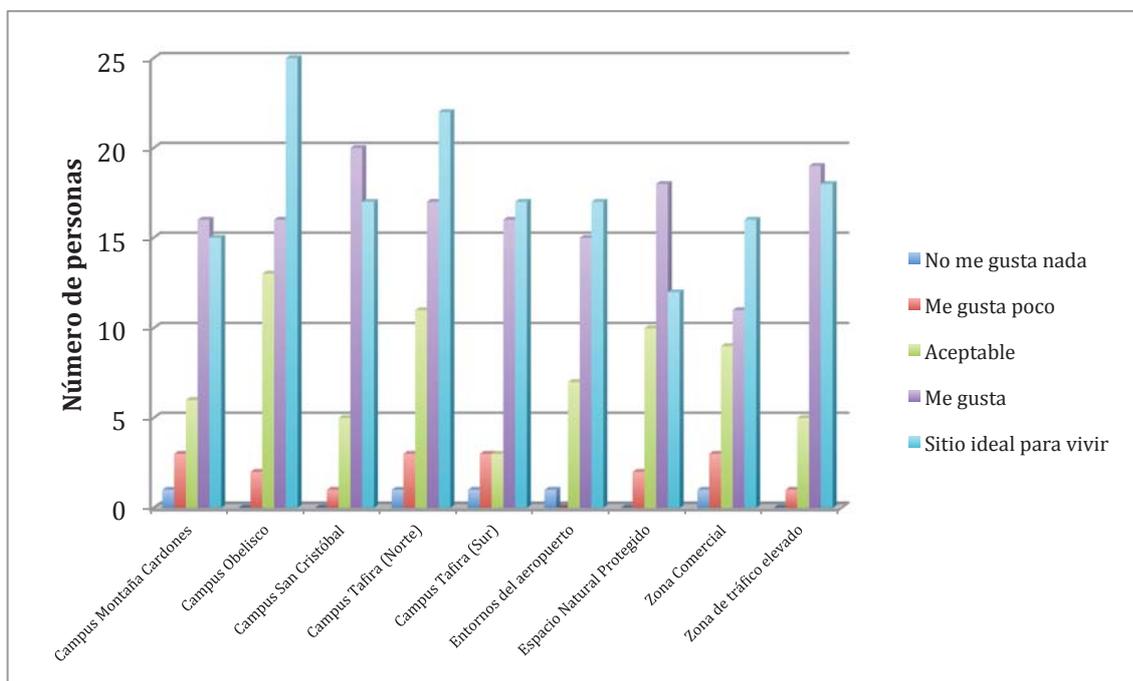


Figura 6.19 Valoración sobre vivir en una zona de playa solitaria

En cambio, cuando se valora vivir en una zona de playa concurrente los resultados cambian, con una mayoría de *me gusta poco* (34,8%) y *aceptable* (29,8%). Para más información se puede consultar la *Figura 6.20*.

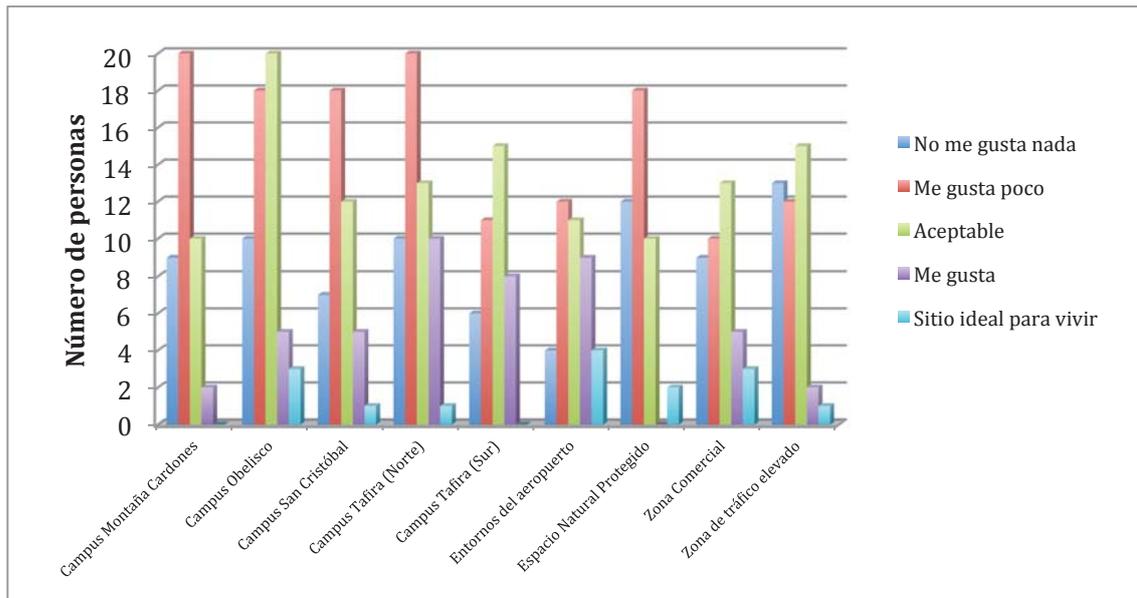


Figura 6.20 Valoración sobre vivir en una playa concurrida

Los resultados de la *Figura 6.14* se complementan con la *Figura 6.21*, en ambas se refleja la poca tolerancia al viento, puesto que el 80,9% de las personas han dicho que *no gusta nada* o *gusta poco*.

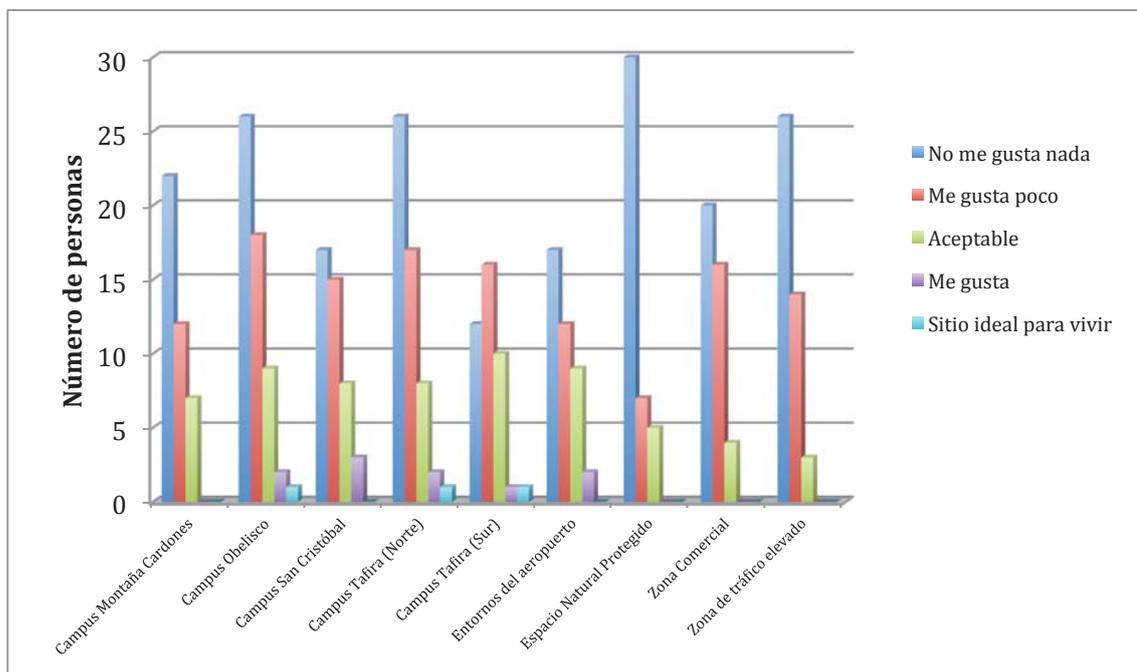


Figura 6.21 Valoración sobre vivir en una zona ventosa

Cuando se valora el vivir en una zona recreativa concurrida (*Figura 6.22*), destaca el *no me gusta nada*, excepto en los entornos del aeropuerto, donde la mayoría lo evalúa como *aceptable*. Además, en las zonas comerciales y de tráfico domina el *me gusta poco*, con un 37,5% y un 41,9%, respectivamente.

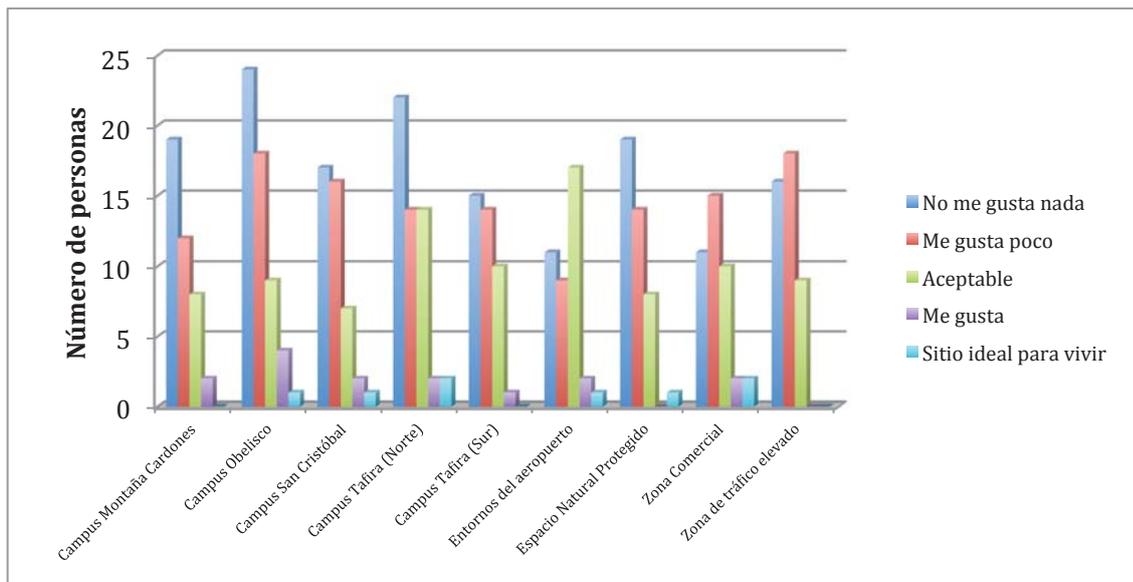


Figura 6.22 Valoración sobre vivir en una zona recreativa concurrida

Las zonas de campo solitarias obtienen mayoría de *me gusta* y *sitio ideal para vivir* en todos los entornos medidos excepto en los Campus del Obelisco y Tafira (Sur), donde este tipo de ambientes se valoran como *aceptables* (véase Figura 6.23). De todas las respuestas obtenidas, tan sólo el 15,6% de las personas han dicho que vivir en este entorno *gusta poco o nada*.

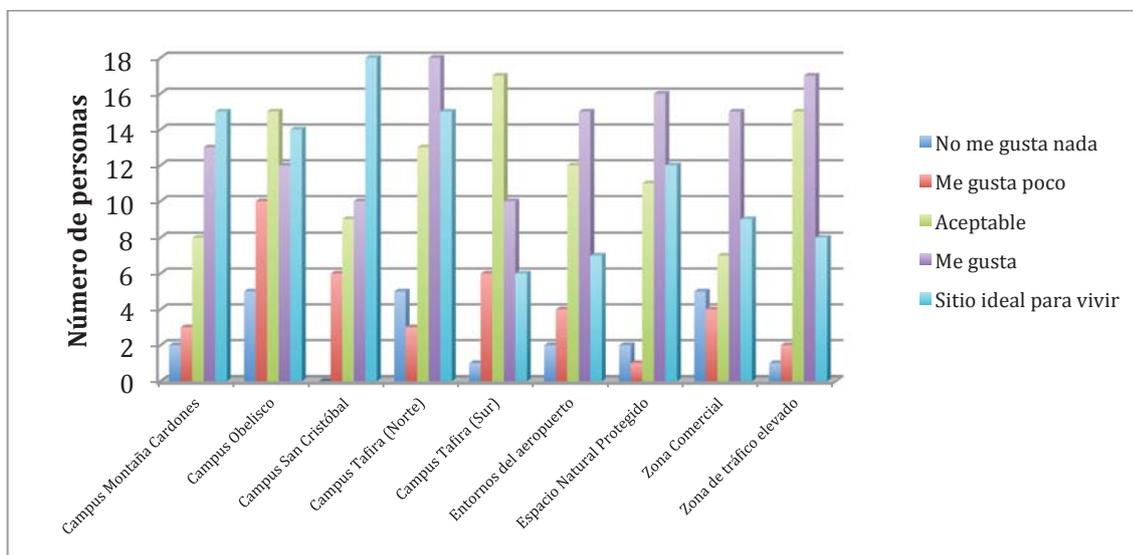


Figura 6.23 Valoración sobre vivir en una zona de campo solitaria

El último escenario tipo que se ha propuesto valorar es aquel rodeado por zonas verdes (parques y fuentes). En la Figura 6.24 se observa el dominio de respuestas de *me gusta* y de *sitio ideal para vivir*, que abarcan un 76,7% del total de respuestas, por lo que esta pregunta consolida lo comentado en el Capítulo 2.

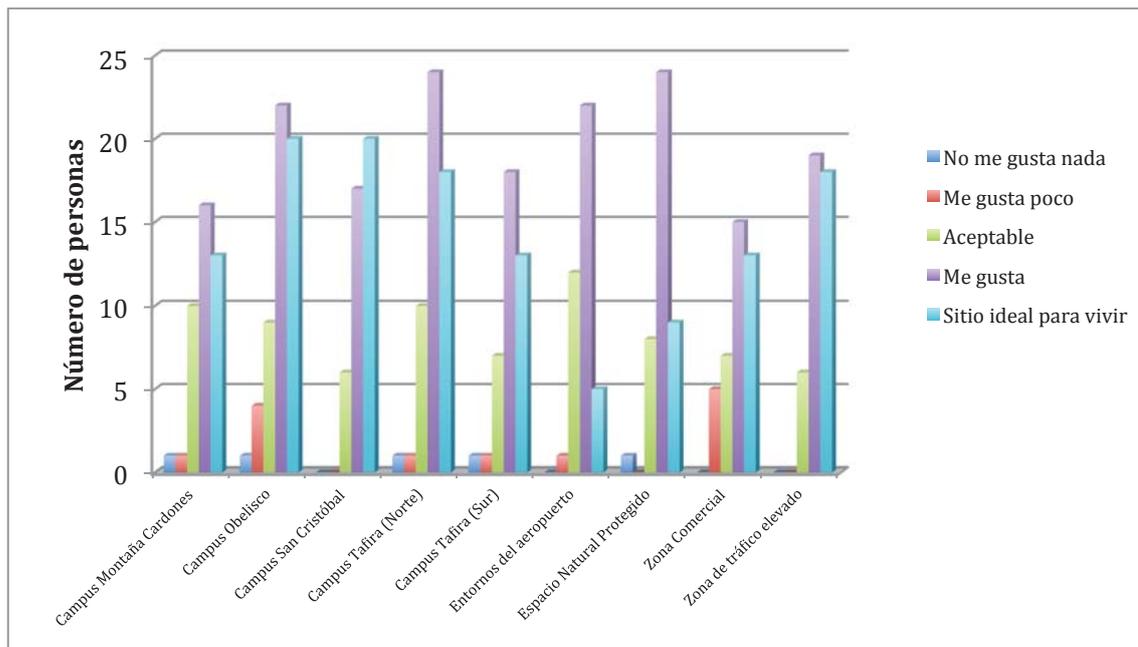


Figura 6.24 Valoración sobre vivir en zonas verdes

Por último, se han realizado unas pruebas con el fin de comprobar si existe algún vínculo entre neuróticos y molestia de ruidos, pero los resultados extraídos no han sido concluyentes, por lo que este análisis se ha omitido del presente capítulo.



## **Capítulo 7.**

### **Análisis de los resultados**

---

En este capítulo se utilizan los resultados comentados en secciones anteriores con el fin de elaborar un análisis más profundo en que se relacionen los 3 estudios realizados en este Trabajo Fin de Grado.



## 7.1 Estudio correlativo

A continuación se expondrán los resultados obtenidos para cada uno de los escenarios en los 3 análisis que se les ha llevado a cabo.

### **Campus de Tafira Norte**

Con respecto a los datos extraídos del sonómetro y su representación gráfica, se puede concluir que se obtienen unos niveles de presión sonora continuos equivalentes para el día, tarde y noche de 53,4 dB, 52,7 dB y 47,7 dB, respectivamente. Es un escenario tranquilo con predominio de niveles bajos de ruido, donde los más elevados se corresponden a horas punta como las 8 horas o de 16 a 19 horas, alcanzando los 65 dB, aproximadamente.

En relación a la teoría de la información, la Entropía de Shannon es muy baja prácticamente durante todo el día, a excepción de las 15:00 horas. Esta información se concibe como poca variabilidad en las señales en este entorno. En cuanto a la Divergencia Simétrica de Kullback-Leibler se ha comprobado que el algoritmo empleado es correcto, al calcular la divergencia de Tafira Norte consigo misma, y cuyo resultado se ha confirmado con un valor de 0.

Para realizar el análisis subjetivo se han encuestado a 54 personas en este escenario. Las respuestas que han alcanzado la mayoría son que la percepción del ruido es de un nivel medio-bajo, que el ruido no les impide llevar una vida normal, que pocas veces interfiere en su descanso nocturno o período de estudio, que las personas están acostumbradas al ruido existente, que no se considera excesivo el ruido al que se está sometido y que no consideran necesario un cambio para vivir en mejores condiciones sonoras. Por otro lado, les afecta el ruido de la multitud, el de tráfico, el de aviones, el producido por vecinos y el del viento en menor medida. No les afecta el ruido de la lluvia, el de los animales y aves y, además, les gusta el ruido del mar.

### **Campus de Tafira Sur**

En el Campus de Tafira Sur se obtienen unos niveles de presión sonora continuos equivalentes para el día, tarde y noche de 58,0 dB, 52,5 dB y 48,1 dB,

respectivamente. En comparación con Tafira Norte, se obtienen niveles más altos de ruido y la hora punta se localiza en torno a las 12 horas.

En cuanto a la Entropía de Shannon, en la parte sur del Campus de Tafira se mantienen niveles bajos de entropía durante la noche, pero durante el día los valores se disparan, especialmente a las 13:00h y a las 19:00h. La Divergencia Simétrica de Kullback-Leibler en este escenario con respecto a Tafira Norte existen bastantes diferencias. Los valores más altos de DKL ocurren 5:30 y 13:30 horas, aproximadamente.

De las 40 personas que han respondido al cuestionario, se ha alcanzado mayoría de opiniones en las siguientes afirmaciones: el nivel de ruido es medio-alto, el ruido no impide llevar una vida normal, el ruido interfiere algunas veces en el descanso o período de estudio, está acostumbrado al ruido de su entorno, no se considera excesivo el ruido y neutralidad en menor medida y se considera necesario un cambio para vivir en mejores condiciones de ruidos. Además, afectan las siguientes fuentes de ruido: multitud, tráfico, aviones, vecinos y animales en menor magnitud. No les afectan: lluvia, viento y aves y, por último, les gusta el ruido del mar.

### **Campus del Obelisco**

En el Campus del Obelisco se obtienen unos niveles de presión sonora continuos equivalentes para el día, tarde y noche de 58,3 dB, 53,0 dB y 51,1 dB, respectivamente. Hasta las 20:00 horas el nivel de ruido no baja de 45-50 dB, además, su hora punta es a las 10:00 horas, momento en el que se alcanzan los 65-70 dB.

El Campus del Obelisco presenta una Entropía de Shannon baja prácticamente durante las 24 horas, a excepción de las 12:00h y 15:00h. Destacan los sonidos procedentes de estudiantes y del tráfico de la zona, pero no es perceptible ruido de biofonías o geofonías, que pueden ser fuentes que eleven la entropía. La Divergencia Simétrica de Kullback-Leibler con respecto al Campus de Tafira Norte es baja. Los valores más altos ocurren durante el período nocturno.

En este escenario se realizó el cuestionario a 56 personas, con un predominio de las siguientes afirmaciones: el nivel de ruido percibido es medio-alto, neutralidad ante si el ruido impide llevar una vida normal y si interfiere en su

descanso nocturno o estudio, está acostumbrado al ruido de su entorno, considera excesivo el ruido percibido y considera necesario un cambio para vivir en mejores condiciones sonoras. Además, molesta el ruido de multitud, tráfico, aviones, vecinos y viento en menor medida; no molesta el ruido de aves, animales y lluvia; y gusta el sonido del mar.

### **Campus de San Cristóbal**

En el Campus de San Cristóbal se obtienen unos niveles continuos equivalentes para el día, tarde y noche de 59,9 dB, 55,7 dB y 55,0 dB, respectivamente. Los niveles mínimos superan los 40 dB durante la noche, durante el día el nivel es prácticamente constante, de 60-70 dB con algunos picos que alcanzan los 75-80 dB.

La Entropía de Shannon en este campus aumenta con respecto al resto. Existen diversas horas con valores altos, especialmente durante el día. Durante la noche la entropía disminuye considerablemente. La Divergencia Simétrica de Kullback-Leibler entre el Campus de Tafira Norte y el Campus de San Cristóbal es muy baja durante todo el día. Tan sólo se perciben ciertos niveles de 4:00 a 6:00 horas y durante el día a las 11:00, 17:30 y 19:00 horas.

En este entorno se preguntó a 43 personas, donde la mayoría concluyó lo siguiente: el nivel de ruido percibido es medio-alto, neutralidad frente a si el ruido impide llevar una vida normal, igualdad entre muy poco y con frecuencia en si el ruido interfiere en el descanso nocturno o estudio, se está acostumbrado al ruido del entorno, neutralidad al considerar excesivo el ruido al que se está sometido y se considera necesario un cambio para vivir en mejores condiciones acústicas. Además, afectan los ruidos de multitud, tráfico, aviones, viento y de vecinos; no afecta el ruido de los animales; y gusta el sonido del mar, aves y lluvia.

### **Campus de Montaña Cardones**

En el Campus de Montaña Cardones se obtienen unos niveles de presión sonora continuos equivalentes para el día, tarde y noche de 55,4 dB, 49,7 dB y 52,7 dB, respectivamente. Se observan dos horas puntas claramente diferenciadas: a las 6:00 horas y entre las 11:00 y las 12:00 horas, donde se alcanzan los 65 dB aproximadamente. El resto del día ronda los 50 dB y, durante la noche, los 40 dB.

Entre las diversas fuentes de ruido que se localizan en este campus, destacan las procedentes de los animales ubicados en la granja y el propio ruido de la actividad docente.

El Campus de Montaña Cardones que presenta valores bajos de Entropía de Shannon. Lo más destacable en este entorno es que los valores más altos se concentran durante las primeras horas de la mañana, hecho que puede deberse al ruido de los animales procedentes de la granja propia del campus. La Divergencia Simétrica de Kullback-Leibler entre este campus con el de Tafira Norte es muy baja, excepto durante el período nocturno de 3:00 a 5:00 horas.

En este campus se realizó el cuestionario a 41 personas, de las cuales la mayoría afirmó que: el nivel de ruido percibido es medio-bajo, el ruido no impide llevar una vida normal, algunas veces interfiere en el descanso nocturno o estudio, no se considera excesivo el ruido al que se está sometido y no se considera un cambio para vivir en mejores condiciones de ruidos. Por otro lado, afectan los ruidos de multitud, tráfico, aviones, viento y de vecinos; no afectan los ruidos de animales; y gustan los sonidos del mar, aves y lluvia.

### **El Burrero**

En El Burrero se obtienen unos niveles de presión sonora continuos equivalentes para el día, tarde y noche de 55,9 dB, 51,3 dB y 48,8 dB, respectivamente. Se obtiene prácticamente el mismo nivel durante todo el día, excepto durante el paso de aviones, momentos en los que se superan los 70 dB.

Este entorno presenta un nivel de Entropía de Shannon bajo, a pesar de encontrarse en una zona cercana al mar. La razón es la lejanía entre el equipamiento y la playa, por lo que el sonómetro no ha recogido ruidos geofónicos. Sin embargo, los niveles de entropía más altos podrían relacionarse con el paso de aviones por la zona, que añaden una fuente con características muy diferentes a las que comparte el escenario en estado de tranquilidad. La Divergencia Simétrica de KL del Campus de Tafira Norte con respecto al Burrero es baja, a excepción de las 15:30 y las 23:00 horas.

De las 40 personas que respondieron al cuestionario, se obtuvo mayoría en las siguientes afirmaciones: se percibe un nivel alto de ruido, el ruido no impide llevar una vida normal, el ruido interfiere algunas veces en su descanso nocturno,

se está acostumbrado al ruido de su entorno, neutralidad ante si se considera el ruido al que está sometido y ante si se considera necesario un cambio para vivir en mejores condiciones. Además, afecta negativamente los sonidos de multitud, tráfico, avión, viento y de vecinos; no afecta el sonido de las aves y animales; y gusta el sonido del mar y de la lluvia.

### **Siete Palmas**

En Siete Palmas se obtienen unos niveles de presión sonora continuos equivalentes para el día, tarde y noche de 58,4 dB, 55,1 dB y 51,5 dB, respectivamente. Los niveles más altos se pueden deber a su localización, ya que se ubicó el equipamiento en las cercanías de la zona habilitada para perros del Parque Juan Pablo II. Por tanto, se ve influido por los ruidos procedentes de estos animales, además de los propios del tráfico rodado.

La Entropía de Shannon en Siete Palmas presenta niveles bajos, sobre todo durante el período nocturno. La hora de entropía más alta es sobre las 20:30 horas, que coincide con el nivel de ruido más alto. Esto podría deberse a que sea la hora de mayor afluencia de personas con sus animales al parque. La Divergencia Simétrica de KL entre esta zona y el Campus de Tafira Norte es muy baja, tan sólo a las 1:00 horas se aprecia un nivel mayor.

En este escenario se ha encuestado a 40 personas, donde la mayoría afirmó lo siguiente: el nivel de ruido percibido es medio-alto, el ruido no impide llevar una vida normal, interfiere algunas veces en su descanso nocturno, están acostumbrados al ruido y neutralidad frente a si el considera excesivo el ruido percibido. En cuanto a la valoración de ruido, molesta el ruido de tráfico, de aviones, de vecinos y de multitud y viento en menor medida; no molesta el ruido de aves, animales y lluvia; y gusta el sonido del mar.

### **Avenida Marítima**

En la Avenida Marítima se obtienen unos niveles de presión sonora continuos equivalentes para el día, tarde y noche de 64,4 dB, 61,7 dB y 60,6 dB, respectivamente. Durante el día se superan los 65 dB, con muchas horas punta donde se alcanzan los 80 dB. Durante el período nocturno se rondan los 50-55 dB, nivel que se considera alto para las horas de las que se trata. Esto se debe a que

esta avenida es la carretera con más afluencia de vehículos de Gran Canaria y es un lugar de circulación de transportistas.

La Entropía de Shannon en este escenario permanece constante durante todo el día y decrece módicamente durante la noche. Además, durante el período de 6:00 a 8:00 horas los niveles se disparan, debido a la hora punta de tráfico de camiones de carga. Por tanto, la entropía en este entorno hace referencia a la cantidad y variedad de vehículos que circulan a lo largo del día. La Divergencia Simétrica de Kullback-Leibler entre este entorno y el Campus de Tafira Sur aumenta considerablemente durante la noche y durante el día se mantiene constante en un nivel bajo. Es decir, las mayores diferencias entre estos dos escenarios ocurren durante el período de descanso.

Las 43 personas encuestadas en la Avenida Marítima concluyeron que: el nivel de ruido percibido es alto-muy alto, el ruido impide llevar una vida normal, interfiere con frecuencia en su descanso nocturno, están acostumbrados al ruido de su entorno, se considera excesivo el ruido al que se está sometido, y se considera necesario un cambio para vivir en mejores condiciones. Estas personas dijeron que molesta el ruido de multitud, tráfico, aviones y vecinos; no molesta el ruido de aves, animales, viento y lluvia; y gusta el sonido del mar.

### **Triana – Francisco Gourié**

En Triana – Francisco Gourié se obtienen unos niveles de presión sonora continuos equivalentes para el día, tarde y noche de 63,9 dB, 62,0 dB y 58,7 dB, respectivamente. Al ser una vía con un tránsito elevado y congestionado de vehículos, posee un escenario acústico ruidoso durante todo el día. La cantidad de vehículos y el tipo de los mismos hace que existan numerosos momentos en donde se superen los 75 dB.

En Triana el grado de Entropía de Shannon es muy elevado. Cabe destacar que el equipo de medida se ubicó en una ventana de un edificio próximo a la carretera, por lo que las fuentes de ruido que se captaron procedían de vehículos y de los transeúntes de la zona. Se trata de un espacio con una elevada congestión de tráfico, por la que la presencia de sonidos de bocinas es muy frecuente. Durante la noche se alcanzan niveles de Divergencia Simétrica de Kullback-Leibler muy altos.

De manera similar ocurre durante el día, pero en menor medida, a excepción de determinadas franjas horarias entre las 14:00 y 16:00 horas que sí son elevadas.

El análisis subjetivo en este entorno es el mismo que el de Siete Palmas, debido a que se realizó una única encuesta para las personas que viven en una *Zona comercial*.

### **Parque Rural de Doramas – Finca de Osorio**

Por último, en el Parque Rural de Doramas – Finca de Osorio se obtienen unos niveles de presión sonora continuos equivalentes para el día, tarde y noche de 59,6 dB, 40,9 dB y 45,9 dB, respectivamente. Los niveles de ruido apenas superan los 50 dB, excepto en ocasiones puntuales. En especial en el intervalo de 17:00 a 18:00 horas, hecho que podría ser debido al viento. Por otro lado, algunas fuentes de ruido podrían provenir de las labores de agricultura y ganadería que allí se desempeñan, influyendo la maquinaria empleada.

La Entropía de Shannon permanece constante tanto por el día como por la noche. A pesar de no ser muy elevada, el hecho de que durante el período nocturno se alcancen esos niveles sin la presencia de tráfico rodado es un indicio de que la alta presencia de biofonías en este entorno contribuye a una gran entropía. La Divergencia Simétrica de Kullback-Leibler entre este Osorio y el Campus de Tafira Norte se eleva durante el período nocturno. Sin embargo, durante el día la divergencia es bastante baja.

En este entorno realizaron el cuestionario 42 personas, y las respuestas con mayoría han sido: el nivel de ruido percibido es bajo-muy bajo, el ruido no impide llevar una vida normal, el ruido interfiere muy poco en el descanso nocturno, está acostumbrado al ruido, no se considera excesivo el ruido al que se está sometido y no se considera necesario un cambio para vivir en mejores condiciones. Además, molesta el ruido de multitud, tráfico, aviones, viento y vecinos; y gusta el sonido del mar, aves, animales y lluvia.

## 7.2 Resultados

Del *apartado 7.1 Estudio correlativo* se pueden extraer los siguientes resultados:

Se puede deducir que el **Campus de Tafira Norte es un entorno estable**, sin demasiadas variaciones acústicas (ruido). En cambio, en la **parte sur del campus se obtienen niveles más altos de ruido**, por lo que se puede concluir que estando en el mismo campus existe una variación en los niveles de presión sonora de norte a sur, que pueden deberse tanto a un mayor número de estudiantes matriculados en las carreras, como a una mayor circulación de vehículos. Además, la Entropía de Shannon en la parte norte es muy baja prácticamente durante todo el día, mientras que en la **parte sur del campus ocurre totalmente lo contrario, siendo el campus con presenta más nivel de entropía**: durante la noche se mantienen niveles bajos de entropía, pero durante el día los valores se disparan. Una de las razones es la localización en la que se ha medido, puesto que el Módulo C del Edificio de Ciencias Económicas y Empresariales está cercano a la carretera que atraviesa el campus, por lo que se ha podido captar una mayor variabilidad de sonidos procedentes de vehículos y de estudiantes. Esta razón va ligada al ruido que existe en el entorno, que se puede apreciar que es más elevado que en la parte norte, en la cual se midió en el Módulo B de la Escuela de Ingeniería de Telecomunicación y Electrónica, un escenario con menos presencia directa de vehículos y de estudiantes. Además, estos resultados se ven reflejados también en la opinión de las personas, dado que existe **una mayor conformidad en cuanto al nivel de ruido en la parte norte que en la sur**.

Debido a su localización en el centro de la ciudad, el **Campus del Obelisco es más ruidoso que el Campus de Tafira**, tanto por el día como por la noche. En cambio, su nivel de entropía indica que es un emplazamiento con poca diversidad de sonidos. Las encuestas reflejan el **malestar** que existe en este campus con respecto al ruido, en la que destacan las respuestas de que el nivel de ruido percibido en este escenario es medio-alto, que sí interfiere en el descanso nocturno o período de estudio y las personas de este campus consideran necesario un cambio para vivir en mejores condiciones debido al excesivo ruido

El **Campus de Montaña cardones se percibe como un entorno con un nivel sonoro bajo y constante**, en el que la mayor variabilidad de sonidos ocurre durante la mañana. Además, los estudiantes muestran su **conformidad** con el ruido existente en este campus.

El **Campus de San Cristóbal es, sin duda, el peor escenario acústico de los campus de Gran Canaria**, al estar localizado entre la Avenida de San José y la Avenida Marítima, viéndose altamente afectado por el tráfico de vehículos. Se trata de un entorno con una buena presencia de sonidos diferentes, que pueden provenir de la Avenida Marítima, paseo de San José o de los propios estudiantes. Existe una diversidad de opiniones entre los estudiantes de este campus, destacando la **postura neutral** en afirmaciones como que el ruido impide llevar una vida normal o si se considera elevado el ruido.

La urbanización de **El Burrero es un escenario a priori tranquilo** durante todo el día, puesto que es una zona alejada del núcleo urbano y que se encuentra en un entorno costero. Sin embargo, su proximidad al Sistema General Aeroportuario hace que la tranquilidad existente se vea perturbada en numerosos momentos del día y de la noche debido al aterrizaje y/o despegue de los aviones. En cuanto al análisis subjetivo, **a pesar de que se percibe un nivel de ruido alto, las personas muestran una postura neutral al ser preguntados por si consideran necesario un cambio para vivir en mejores condiciones.**

En **Siete Palmas se percibe un nivel de ruido medio-alto**, pero no se observa que exista una queja notable entre las personas encuestadas, que se muestran **neutrales**.

La **Avenida Marítima cuenta con un escenario acústico similar al del Campus de San Cristóbal**, debido a su proximidad, pero con un mayor nivel de ruido. Aunque el grado de desorden (entropía) no es muy elevado, si se compara con la tendencia del resto de escenarios, podría considerarse como alto. **Las personas perciben un nivel de ruido muy alto y reflejan su disconformidad con el ruido presente.**

En Triana **ocurre una tendencia similar a la de la Avenida Marítima**, posee un escenario acústico ruidoso durante todo el día. En cuanto a la entropía, los niveles son bastante elevados si se compara con el resto de escenarios. Es,

además, **uno de los escenarios más diferentes al Campus de Tafira Norte**, tal y como muestra la Divergencia Simétrica de Kullback-Leibler.

El **Parque Rural de Doramas, concretamente en la Finca de Osorio, es el escenario con menos ruido del repositorio de grabaciones**, y presenta un nivel de entropía considerable durante todo el día. Es preciso resaltar que, en escenarios naturales, un alto nivel de entropía se relaciona con una alta biodiversidad del entorno. Asimismo, los habitantes que viven en los entornos cercanos **perciben un nivel de ruido muy bajo y están conformes** con el ambiente sonoro. Por último, es el único entorno donde la mayoría ha coincidido con que agrada el sonido de animales.

De manera general, al proponer unos escenarios tipo como lugar para vivir, se ha observado una clara tendencia a **preferir escenarios tranquilos y solitarios, además de zonas verdes** con presencia de flora y fuentes ornamentales. En contraposición, los escenarios con **menos agradabilidad** son los que cuentan con una **elevada presencia de personas y de tránsito de vehículos**, así como aquellas zonas que son muy **ventosas**.

## **Capítulo 8.**

### **Conclusiones y líneas futuras**

---

En este capítulo se evaluarán los resultados obtenidos y hasta qué punto se han conseguido los objetivos planteados. Finalmente, se añade un apartado con algunas pinceladas de las posibles líneas futuras de actuación que podrían complementar éste trabajo.



## 8.1 Conclusiones

La primera conclusión extraíble del estudio realizado es la **consecución parcial de los objetivos planteados** al inicio del presente Trabajo Fin de Grado. Al comienzo, existían dos objetivos principales. El primero de ellos era demostrar que la agradabilidad del sonido es cuantificable, objetivo que no se ha completado. Sin embargo, en los *Capítulos 4, 5 y 7* se exponen determinados valores y razones que dejan una vertiente de investigación en la que se puede contrastar esta hipótesis. El segundo objetivo era declarar que una mayor presencia de biofonías repercute en la calidad de vida de las personas. Este segundo objetivo sí se ha cumplido satisfactoriamente.

Como se ha comentado en el *Capítulo 4*, **aquellos escenarios donde el nivel de ruido es menor cuentan con una mayor presencia de biofonías, mientras que aquellos en los que los niveles son altos, de tecnofonías**. A modo de ejemplo, en las *Figuras 4.10 y 4.12* se puede ver la comparación de niveles entre una zona urbana como la Avenida Marítima y una zona natural como la Finca de Osorio. Además, este resultado se puede contrastar en el *Capítulo 6*, en el que las personas han evaluado cada uno de los entornos. Por ejemplo, en la *Figura 6.7*, las personas responden a si consideran necesario un cambio para vivir en mejores condiciones acústicas, en la cual las personas que viven en las zonas de tráfico elevado están de acuerdo y, las que viven en un Espacio Natural Protegido, por el contrario, están en desacuerdo.

En cuanto al cálculo de la **energía y la variabilidad** de señales, se puede concluir que son una herramienta muy útil a la hora de **clasificar los sonidos** presentes más elevados de un escenario determinado, con el fin de determinar si pertenecen a la misma fuente (variabilidad), como se observa en la *Figura 4.16*.

Otra conclusión a la que se llega, y que es uno de los motivos de la consecución del segundo objetivo del proyecto, **es que los sonidos procedentes de biofonías y geofonías repercuten en la calidad de vida de las personas**. En las *Figuras 6.11, 6.12, 6.13 y 6.16* se pueden ver las respuestas a la valoración de ruidos procedentes del mar, de aves, de animales y de lluvia, y en su mayoría no afecta o, además de no afectar, gusta. En contrapartida, en la *Figura 6.15* se puede comprobar que el ruido procedente del viento no resulta agradable acústicamente.

De manera análoga, se puede verificar también en las valoraciones de los diferentes escenarios tipo, reflejadas en las *Figuras 6.18-6.24*.

Con respecto a las medidas realizadas en el Parque Rural de Doramas, es preciso comentar que **no se obtuvo el resultado esperado durante el día**, debido a la franja horaria de 17:00 a 18:00 horas, como se muestra en la *Figura 4.12*, que contribuyó a que el  $L_{Aeq,d}$  aumentara considerablemente. Como ya se mencionó en el *Capítulo 4*, este aumento de niveles puede haber sido ocasionado por una racha de viento.

Una de las conclusiones a las que se ha llegado tras el análisis sonométrico realizado en el *Capítulo 4* es que la **representación en dos y tres dimensiones utilizando colores de los niveles de ruido es un elemento mucho más ilustrativo cuando se trabaja con una cantidad masiva de datos**. En las *Figuras 4.3 y 4.4* se pueden observar dos ejemplos de este tipo de gráficos.

Del *Capítulo 5* se puede extraer que, con respecto a la Divergencia de Kullback-Leibler, **el método más óptimo es utilizar la Divergencia Simétrica de Kullback-Leibler**, debido a que el hecho de ser asimétrica dificulta el análisis de los resultados, tanto por motivos de escala como facilidad de manejo. Además, la **Entropía de Shannon resulta ser un método útil para evaluar la diversidad de sonidos dentro de un escenario**.

Por último, el análisis subjetivo también informa que, **a pesar de que exista malestar en algunos escenarios en cuanto al ruido percibido, en todos los lugares de medida se ha obtenido mayoría de respuestas en que las personas están acostumbradas al ruido existente**. Este hecho puede dar un indicio de que en los lugares con fuentes de ruido determinadas, como puede ser los entornos del aeropuerto, el ruido procedente de los aviones molesta menos a los vecinos de la zona que a las personas que no están habitualmente en ese entorno.

### 8.2 Líneas futuras

A continuación se plantean varios puntos que se consideran posibles vías de actuación para la mejora del actual estudio:

- Emplear otros tamaños de ventana deslizante u otras frecuencias de muestreo para comprobar si se obtienen mejores resultados.

- Utilizar los resultados desarrollados en los *Capítulos 4 y 5* junto a otros métodos para realizar una estimación cuantitativa sobre el índice de agradabilidad acústica.
- Realizar más estudios sobre los resultados obtenidos de las encuestas, con el fin de detectar más tendencias en la percepción y valoración del ruido según las zonas.

También podrían seguirse algunas líneas de carácter algo más general, como serían:

- Considerar otros métodos estadísticos para comparar los entornos basados en Distancias: Distancia de Mahalanobis, de Renyi, de Hellinger, de Rao... Los cuales pueden aportar información útil a la hora de caracterizar los emplazamientos [32].
- Mejoras en el repositorio de grabaciones: aumento de escenarios o una mayor precisión en la colocación de los equipos (cercanía a la fuente de ruido) para tener un mayor rango de trabajo y una mayor exactitud en la obtención de niveles de ruido por parte del sonómetro.



**ANEXOS**



# Caracterización Acústica de Entornos Medioambientales

Trabajo Fin de Grado - Encuesta sobre agradabilidad acústica - ULPGC 2015

**\*Obligatorio**

**1. Zona evaluada \***

*Marca solo un óvalo.*

- Campus Tafira Norte (Ingenierías, Educación Física, Arquitectura, CC del Mar...)
- Campus Tafira Sur (Jurídicas, Sociales...)
- Campus Obelisco
- Campus Montaña Cardones
- Campus San Cristóbal
- Zona de tráfico elevado (Avda Marítima, Rafael Cabrera...)
- Espacio Natural Protegido (Zona de campo)
- Zona Comercial (7 Palmas, Triana)
- Entornos del aeropuerto (El Burrero, Las Majoreras, Carrizal)

**2. Sexo \***

*Marca solo un óvalo.*

- Hombre
- Mujer

**3. Edad \***

.....

**4. En el entorno que va a evaluar, indique en una escala del 1 al 5, siendo el 1 “muy bajo” y el 5 “muy alto”, el nivel de ruido que usted percibe. \***

*Marca solo un óvalo por fila.*

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

**5. En el entorno evaluado, ¿El ruido le impide llevar una vida normal? \***

*Marca solo un óvalo por fila.*

Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

6. **¿Interfiere el ruido en su descanso nocturno? \***

En caso de que se evalúe un entorno universitario, la pregunta se refiere a si el ruido le interfiere a la hora de estudiar

Marca solo un óvalo por fila.

Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

7. **¿Está acostumbrado al ruido que existe en el entorno evaluado? \***

Marca solo un óvalo por fila.

Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

8. **¿Considera excesivo el ruido al que está sometido? \***

Marca solo un óvalo por fila.

Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

9. **¿Considera necesario un cambio para poder vivir en mejores condiciones de ruidos? \***

Marca solo un óvalo por fila.

Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

10. **Indique cómo valora los siguientes factores a la hora de elegir vivir en una comunidad u otra: \***

Indique en qué grado le afectan NEGATIVAMENTE a usted los siguientes tipos de ambientes sonoros:

Marca solo un óvalo por fila.

	Me afecta mucho	Me afecta	Me afecta un poco	No me afecta	No me afecta (y además me gusta)
Multitud	<input type="radio"/>				
Tráfico	<input type="radio"/>				
Aviones	<input type="radio"/>				
Mar	<input type="radio"/>				
Aves	<input type="radio"/>				
Animales	<input type="radio"/>				
Viento	<input type="radio"/>				
Ruido producido por vecinos	<input type="radio"/>				
Lluvia	<input type="radio"/>				

11. **¿Con qué frecuencia se ve usted afectado en su descanso debido a los ruidos que se producen en el entorno evaluado? \***

En caso de que se evalúe el ámbito universitario, relacionarlo con la frecuencia en la que el ruido le afecta a la hora de estudiar

Marca solo un óvalo por fila.

	Nunca	Muy poco	Algunas veces	Con frecuencia	Muy a menudo
	<input type="radio"/>				

12. **Indique cómo valora las siguientes zonas a la hora de vivir en una escala del 1 (no me gusta nada) al 5 (sitio ideal para vivir): \***

Marca solo un óvalo por fila.

	1	2	3	4	5
Su entorno	<input type="radio"/>				
Playa solitaria	<input type="radio"/>				
Playa concurrida	<input type="radio"/>				
Zona muy ventosa	<input type="radio"/>				
Zona recreativa concurrida	<input type="radio"/>				
Zona de campo solitaria	<input type="radio"/>				
Zonas verdes (parques, fuentes...)	<input type="radio"/>				

13. **Indique el grado de acuerdo con las siguientes afirmaciones \***

Marca solo un óvalo por fila.

	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
Me siento molesto fácilmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mi estado de ánimo cambia mucho	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Me siento irritado fácilmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Me siento estresado fácilmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Me enfado fácilmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tengo frecuentes cambios de humor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
A menudo me siento triste	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Me preocupan las cosas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estoy relajado la mayor parte del tiempo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Raramente me siento triste	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



**BIBLIOGRAFÍA**

[1] De Conceptos – Definición de Acústica

<http://deconceptos.com/ciencias-naturales/acustica>

Última visita: 10/05/2015

[2] Rayleigh, J. W. S. B. (1896). *The theory of sound* (Vol. 2). Macmillan.

[3] Votsi, N. E. P., Mazaris, A. D., Kallimanis, A. S., Drakou, E. G., & Pantis, J. D. (2014). Landscape structure and diseases profile: associating land use type composition with disease distribution. *International journal of environmental health research*, 24(2), 176-187.

[4] Krause, B. L., (1987). Bioacoustics, habitat ambience in ecological balance. *Whole Earth Rev* 57:14 – 18.

[5] Farina, A., (2014). *Soundscape ecology*. Springer, Dordrecht, NL.

[6] Servick, K., (2014). Eavesdropping on Ecosystems. *Science*: 343 (6173), 834-837. [DOI:10.1126/science.343.6173.834].

[7] Truax, B., (1999). *Handbook for acoustic ecology*. Cambridge Street Publishing.

[8] Sueur, J., Pavoine, S., Amerlynck, O., Duvail, S., (2008). Rapid acoustic survey for biodiversity appraisal. *PLoS ONE* 3(12):e4065.

[9] Pieretti, N., Farina, A., Morri, D., (2011). A new methodology to infer the singing activity of an avian community: The Acoustic Complexity Index (ACI). *Ecological Indicators* 11(3): 868-873.

[10] Van Kempen, E.E.M.M., Kruize, H., Boshuizen, H.C., Ameling, C.B., Statsen, B.A.M., de Hollander, A.E.M (2002). The association between noise exposure and blood pressure and ischemic heart disease: A meta-analysis *Environmental Health Perspectives*, 110 (3), pp. 307-317.

[11] Babisch W. (2008). Road traffic noise and cardiovascular risk. *Noise Health*; 10:27-33.

[12] Jeon, J.Y., Lee, P.J., You, J., Kang, J. (2010). Perceptual assessment of quality of urban soundscapes with combined noise sources and water sounds. *J. Acoust. Soc. Am.* 127(3): 1357-1366.

[13] AENA - Mapas Estratégicos de Ruido de los Grandes Aeropuertos. Aeropuerto de Gran Canaria. Memoria:

[http://www.aena.es/csee/ccurl/12/628/MER\\_GCLP\\_MEMORIA\\_V1.pdf](http://www.aena.es/csee/ccurl/12/628/MER_GCLP_MEMORIA_V1.pdf)

Última visita: 08/04/2015

[14] AENA - Estadísticas de Tráfico:

<http://www.aena.es/csee/Satellite?pagename=Estadisticas/Home>

Última visita: 08/04/2015

[15] Servicio de Medioambiente del Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria - Mapa Estratégico de Ruido de la Aglomeración Las Palmas de Gran Canaria:

[http://www.eduambiental.org/maparuido/informes/AAC072072\\_Resumen.pdf](http://www.eduambiental.org/maparuido/informes/AAC072072_Resumen.pdf)

Última visita: 09/04/2015

[16] Martín, Matilde Teresa Armengol, and Alejandro González Morales (2008). "Los centros comerciales en Las Palmas de Gran Canaria. Dinámicas e impactos en el espacio urbano." *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. Vol. 27. No. 1.

[17] ULPGC: <http://www.ulpgc.es>

Última visita: 17/04/2015

[18] Urbanismo y Arquitectura en las Universidades de la Comunidad de Canarias – Pablo Campos Calvo-Sotelo – Gobierno de Canarias:

[http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/dts/publicaciones\\_ceus/pdf/libro\\_campus\\_canarias\\_esp\\_fra.pdf](http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/dts/publicaciones_ceus/pdf/libro_campus_canarias_esp_fra.pdf)

Última visita: 17/04/2015

[19] Consejería de Obras Públicas, Transportes y Política Territorial – Gobierno de Canarias:

[http://www.gobcan.es/cmoyot/espaciosnaturales/informacion/grancan\\_todo.html](http://www.gobcan.es/cmoyot/espaciosnaturales/informacion/grancan_todo.html)

Última visita: 17/04/2015

[20] REAL DECRETO 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas:

<http://www.boe.es/boe/dias/2007/10/23/pdfs/A42952-42973.pdf>

Última visita: 25/05/2015

[21] Acústica Integral – Presión sonora:

<http://www.acusticaintegral.com/3305/potencia-sonora-equivalencias/>

Última visita: 25/05/2015

[22] Physclips – What is a decibel? Definition and examples:

<http://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/dB.htm>

Última visita: 25/05/2015

- [23] Weisstein, Eric W. "Entropy." From *MathWorld* - A Wolfram Web Resource. <http://mathworld.wolfram.com/Entropy.html>  
Última visita: 01/06/2015
- [24] Lin, J. (1991). Divergence measures based on the Shannon entropy. *Information Theory, IEEE Transactions on*, 37(1), 145-151.
- [25] Kullback, S.; Leibler, R.A. (1951). «On Information and Sufficiency». *Annals of Mathematical Statistics* 22 (1): 79–86. doi:10.1214/aoms/1177729694.
- [26] Dominik Schnitzer (2011). Matlab/Octave Multivariate Normals Toolbox.
- [27] Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G., & Poggi, J. M. (1997). Wavelet toolbox. *Matlab User's Guide*.
- [28] Benet-Martínez, V., & John, O. P. (1998). Los Cinco Grandes across cultures and ethnic groups: Multitrait-multimethod analyses of the Big Five in Spanish and English. *Journal of personality and social psychology*, 75(3), 729.
- [29] Gosling, S. D., Rentfrow, P. J., & Swann, W. B. (2003). A very brief measure of the Big-Five personality domains. *Journal of Research in personality*, 37(6), 504-528.
- [30] Widhiarso, W., & Himam, F. (2015). Employee Recruitment: Identifying Response Distortion on the Personality Measure.
- [31] Likert, Rensis (1932). "A Technique for the Measurement of Attitudes". *Archives of Psychology* 140: 1–55.
- [32] Cuadras Avellanas, C. (1988). Distancias estadísticas. *Estadística Española*, (119), 295-357.



## **II. Pliego de Condiciones**



## PLIEGO DE CONDICIONES

En este apartado se especifican los requerimientos software y hardware necesarios para la correcta ejecución de las aplicaciones implementadas.

### 1. Especificaciones hardware

El sistema mínimo necesario para la correcta ejecución de la aplicación desarrollada es:

- Ordenador Personal con las siguientes características principales: procesador Intel Core i5 a 2,5 GHz, con 4Gb de RAM. Con un espacio libre en el disco duro recomendable de unos 30 Gb, debido al elevado peso de los archivos.
- Sonómetro integrador RION NL-18, cuyas características principales son: micrófono de condensador de media pulgada UC-53, capacidad para hallar niveles instantáneos de ruido, equivalentes, máximos, mínimos y percentiles, durante un período continuo de 24 horas. Nivel de ruido de 18 dB(A) y un rango de frecuencia de 20-12.500 Hz.
- Grabador reproductor portátil profesional MARANTZ PMD671, con grabación y reproducción estéreo y mono, formatos de grabación MP3 y PCM, archivos WAV, BWF y MP3 y posibilidad de grabación automática.
- Kit de intemperie basado en pantalla antiviento esférica, mástil de sujeción, cable prolongador de micrófono, abrazaderas tipo “U” y bridas.
- Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI): NGS Chronus 500, con una potencia de 300W y una autonomía de 5-10 horas.
- Impresora.

### 2. Especificaciones software

- Sistema Operativo: Windows 7 Home Premium / OS X Mavericks.
- MATLAB R2013a.
- Microsoft Office 2011: Word, PowerPoint, Excel.
- Analizador de encuestas: IBM SPSS Statistics.
- Base de datos correspondiente a las grabaciones realizadas, detallada en el apartado *Descripción de la base de datos* de la Memoria.



### **III. PRESUPUESTO**

Saúl Marrero Mendoza, autor del presente Trabajo de Fin de Grado, declara que:

El Trabajo Fin de Grado con título "*Caracterización Acústica de Entornos Medioambientales*", desarrollado en la Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones y Electrónica, de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, tiene un coste de desarrollo total de 16.581,52€ correspondiente a la suma de las cantidades consignadas a los apartados considerados a continuación.

Fdo.: Saúl Marrero Mendoza

Las Palmas de Gran Canaria a 17 de Julio de 2015



## P1. Desglose del presupuesto

Para la realización del presupuesto se han seguido las recomendaciones del Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación (COIT) sobre los baremos orientativos mínimos para trabajos profesionales en 2009. El presupuesto se ha desglosado en varias secciones en las que se han separado los distintos costes asociados al desarrollo del TFG, fijándose la duración del mismo en 4 meses. Estos costes se dividen en:

- Recursos materiales.
- Trabajo tarifado por tiempo empleado.
- Costes de redacción del Trabajo Fin de Grado.
- Material Fungible.
- Derechos de visado.
- Aplicación de impuestos.

## P2. Recursos Materiales

Entre los recursos materiales utilizados para la realización de este TFG se incluyen las herramientas software para el desarrollo de los algoritmos del sistema, los paquetes software usados para la redacción de la memoria y el sistema operativo bajo el que se ejecutó el trabajo. Asimismo, se incluyen los equipos hardware utilizados para dar soporte a estas herramientas.

Se estipula el coste de amortización para un período de 3 años. Para ello, se utilizará un sistema de amortización lineal o constante, en el que se supone que el inmovilizado material se deprecia de forma constante a lo largo de su vida útil. La cuota de amortización anual se calcula usando la siguiente fórmula:

$$\text{Coste anual} = \frac{\text{Valor de adquisición} - \text{Valor residual}}{\text{Número de años de vida útil}} \quad (PR1)$$

Siendo el *valor residual* el valor teórico que se supone que tendrá el elemento después de su vida útil.

### P2.1 Recursos Hardware

Para la realización de este estudio se ha contado con la siguientes herramientas hardware:

- Ordenador portátil MacBook Pro con procesador Intel Core i5 a 2,5 GHz, con 4Gb de RAM DDR3.
- Sonómetro integrador RION NL-18.
- Grabador reproductor portátil profesional MARANTZ PMD671.
- Kit de intemperie basado en pantalla antiviento esférica, mástil de sujeción, cable prolongador de micrófono, abrazaderas tipo “U” y bridas.
- Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) NGS Chronus 500.
- Impresora.

<b>Costes de las herramientas hardware</b>			
Descripción	Coste Total	Valor Residual (3 años)	Valor Amortización (4 meses)
Ordenador portátil	990€	350€	71,11€
Sonómetro integrador	2.100€	700€	155,55€
Grabador portátil	400€	150€	27,78€
Kit intemperie	50€	20€	3,33€
SAI	50€	20€	3,33€
Impresora	68,6€	25€	4,84€
<b>Total de Costes</b>			<b>265,94€</b>

**Tabla P.1 Costes de las herramientas hardware**

### P2.2 Recursos Software

Las herramientas software empleadas para la realización del TFG han sido:

- MATLAB R2013a.
- Microsoft Office 2011.
- OS X Mavericks.
- IBM SPSS Statistics.

<b>Costes de las herramientas software</b>			
Descripción	Coste Total	Valor Residual (3 años)	Valor Amortización (4 meses)
MATLAB R2013a	3.900€	0€	433,33€
Microsoft Office 2011	0€	0€	0€
OS X Mavericks	0€	0€	0€
IBM SPSS Statistics	1.331€	0€	147,89€
Total de Costes	5.231€	0€	581,22€

**Tabla P.2 Costes de las herramientas software**

### **P3. Trabajo tarifado por tiempo empleado**

En este Trabajo Fin de Grado se ha invertido 300 horas en las tareas de especificación, desarrollo y documentación necesarias para la elaboración del mismo. El importe de las horas de trabajo empleadas para la realización del estudio se calcula siguiendo las recomendaciones del COIT:

$$H = C_t \cdot 74,88 \cdot H_n + C_t \cdot 96,72 \cdot H_e \quad (PR2)$$

donde:

- $H$  son los honorarios totales por el tiempo dedicado.
- $H_n$  son las horas normales trabajadas (dentro de la jornada laboral).
- $H_e$  son las horas especiales.
- $C_t$  es un factor de corrección función del número de horas trabajadas.

Las 300 horas invertidas, se han realizado todas ellas dentro del horario normal.

Según el COIT, el coeficiente  $C_t$  tiene un valor variable en función del número de horas empleadas de acuerdo con la siguiente tabla:

<b>Horas empleadas</b>	<b>Factor de corrección</b>
Hasta 36 horas	1.00
Desde 36 horas a 72 horas	0.90
Desde 72 horas a 108 horas	0.80
Desde 108 horas a 144 horas	0.70
Desde 144 horas a 180 horas	0.65
<b>Desde 180 horas a 360 horas</b>	<b>0.60</b>
Desde 360 horas a 540 horas	0.55

**Tabla P3. Factor de corrección en función del número de horas invertidas**

Como se puede observar el número de horas está en el rango de más de 180 y menos de 360, por lo que según la Tabla P.3, el factor de corrección es de 0,60. Con ello, la ecuación del importe de horas de trabajo resulta de la siguiente manera:

$$H = 0,6 \cdot 74,88 \cdot 300 + 0,6 \cdot 96,72 \cdot 0 = 13.478,40 \text{ €}$$

Los honorarios totales por tiempo dedicado libres de impuestos ascienden a *trece mil cuatrocientos setenta y ocho euros con 40 céntimos (13.478,40€)*.

#### **P4. Costes de redacción del Trabajo Fin de Grado**

El importe debido a la redacción del Trabajo Fin de Grado se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$R = 0,07 \cdot P \cdot C_n$$

(PR3)

donde:

- $P$  es el presupuesto.
- $C_n$  es el coeficiente de ponderación en función del presupuesto.

En la siguiente tabla se puede observar el presupuesto calculado hasta el momento:

Descripción	Costes
Recursos Hardware	265,94€
Recursos Software	581,22€
Trabajo Tarifado por Tiempo Empleado	13.478,40€
Total de Costes	14.325,56€

**Tabla P4. Costes de ejecución material**

El presupuesto calculado hasta el momento es de 14.325,56€. Como el coeficiente de ponderación para presupuestos menores de 30.050 € viene definido por el COIT con un valor de 1.00, el coste derivado de la redacción del Trabajo Fin de Grado es de:

$$R = 0,07 \cdot 14.325,56 \cdot 1 = 1.002,79€$$

Por tanto, el coste libre de impuestos derivado de la redacción del Trabajo Fin de Grado es de *mil dos euros con setenta y nueve céntimos (1.002,79€)*.

### P5. Material Fungible

Por otro lado, en este trabajo se han empleado también materiales como folios o tóner de impresora, que se especifican como material fungible. La siguiente tabla muestra el coste generado por estos materiales:

Descripción	Costes
Folios	10,00 €
Tóner de impresora	50,00 €
Encuadernación	10,00 €
Total de Costes	70,00 €

**Tabla P5. Costes de material fungible**

### P6. Derechos de visado del COIT

Como se mencionó al comienzo del bloque de Presupuesto, todos los cálculos son orientativos, por lo que se han añadido también los derechos de un supuesto visado por el COIT.

Los gastos de visado del COIT se tarifican mediante la siguiente expresión:

$$V = 0,006 \cdot P \cdot C_v$$

(PR4)

donde:

- $P$  es el presupuesto del TFG.
- $C_v$  es el coeficiente reductor en función del presupuesto del trabajo.

El presupuesto  $P$ , calculado hasta el momento asciende a la suma de los costes de ejecución material, de redacción y de material fungible.

$$P = 1.002,79 + 14.325,56 + 70 = 15.398,35 \text{ €}$$

Como el coeficiente de ponderación para presupuestos menores de 30.050 € viene definido por el COIT con un valor de 1.00, el coste de los derechos de visado del trabajo asciende a la cantidad de:

$$V = 0,006 \cdot 15.398,35 \cdot 1 = 92,39 \text{ €}$$

Por tanto el coste de los derechos de visado del trabajo asciende a *noventa y dos euros con treinta y nueve céntimos (92,39€)*.

#### **P7. Gastos de tramitación y envío**

Los gastos de tramitación y envío están fijados en 6,01 €.

#### **P8. Aplicación de impuestos**

Para la actividad económica del presente trabajo el valor del Impuesto General Indirecto Canario (I.G.I.C) graba el presupuesto con un 7%. El coste total del trabajo con el I.G.I.C incluido se desglosa en la siguiente tabla:

<b>Coste Total del TFG</b>		
Descripción	Coste Parcial	Total
Recursos Materiales		847,16 €
Software	581,22 €	
Hardware	265,94 €	
Coste de Ingeniería		13.478,40 €
Coste de Redacción		1.002,79 €
Material Fungible		70,00 €
Derechos de Visado		92,39 €
Tramitación y Envío		6,01 €
Subtotal		15.496,75 €
Aplicación de Impuestos (7% I.G.I.C)		1.084,77 €
<b>Total de Costes</b>		<b>16.581,52 €</b>

**Tabla P6. Coste total del TFG**

El importe final al que asciende el presupuesto de este trabajo es de *dieciséis mil quinientos ochenta y un euros con cincuenta y dos céntimos* (**16.581,52 €**).

Autor: Saúl Marrero Mendoza  
Fdo.:

Las Palmas de Gran Canaria a 17 de Julio de 2015