

INFORME FINAL

ESTUDIO

ELABORACIÓN Y ANÁLISIS DE MAPAS DE RUIDO DE TRES CONURBACIONES MEDIANTE SOFTWARE DE MODELACIÓN

SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE
FICHA DE LICITACIÓN ID: 608897-50-LP13.

30 DE ABRIL DE 2015

**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE ACÚSTICA**

EQUIPO CONSULTOR

DR. ING. ENRIQUE SUÁREZ S. INSTITUTO DE ACÚSTICA UACH.
DR. ING. JORGE ARENAS B. INSTITUTO DE ACÚSTICA UACH.
DR. ING. JOSÉ LUIS BARROS R. INSTITUTO DE ACÚSTICA UACH.
ING. ACÚSTICO JORGE CÁRDENAS M. INSTITUTO DE ACÚSTICA UACH.
DRA. EST. LILIANA BÁEZ M. INSTITUTO DE ESTADÍSTICA UACH.
DRA. BIOL. OLGA BARBOSA P. INSTITUTO DE CIENCIAS AMBIENTALES Y EVOLUTIVAS UACH.
ING. CIVIL ACÚSTICO JUAN PABLO ÁLVAREZ R.
MG. GEÓGRAFO CARLOS SAAVEDRA P. (CONSULTOR INVITADO)
ING. EUGENIO COLLADOS B. (CONSULTOR INVITADO)



AcústicaUACH
www.acusticauach.cl

Índice de Contenido

| | |
|--|-----------|
| 0. RESUMEN EJECUTIVO | II |
| 1. EXPERIENCIA INTERNACIONAL EN MAPAS DE RUIDO | II |
| 2. MAPAS DE RUIDO DE TRES CONURBACIONES..... | III |
| 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MAPAS DE RUIDO | III |
| 4. PLANES DE ACCIÓN – MEDIDAS DE GESTIÓN PARA ABORDAR EL RUIDO AMBIENTAL | IV |
| 5. APORTE DEL SECTOR TRANSPORTE AL RUIDO AMBIENTAL DE UNA CIUDAD | V |
| 6. ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS PARA VALDIVIA..... | V |
| 1. INTRODUCCIÓN | 2 |
| 2. OBJETIVOS | 4 |
| 2.1. OBJETIVO GENERAL | 4 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 4 |
| 3. EQUIPO CONSULTOR | 6 |
| 4. EXPERIENCIA INTERNACIONAL EN MAPAS DE RUIDO | 8 |
| 4.1. INTRODUCCIÓN..... | 8 |
| 4.1.1. <i>El caso europeo</i> | 9 |
| 4.1.2. <i>El caso estadounidense</i> | 10 |
| 4.1.3. <i>El caso australiano</i> | 11 |
| 4.1.4. <i>El caso asiático</i> | 12 |
| 4.1.5. <i>El caso chileno</i> | 14 |
| 4.2. ASPECTOS TECNOLÓGICOS DE LOS PROYECTOS DE MAPAS DE RUIDO | 15 |
| 4.3. EJEMPLOS DE MAPAS DE RUIDO A SER ANALIZADOS | 18 |
| 4.3.1. <i>Ciudades pequeñas</i> | 19 |
| 4.3.1.1. Funchal, Madeira, Portugal..... | 19 |
| 4.3.1.2. Albufeira, Portugal | 19 |

| | |
|--|-----------|
| 4.3.1.3. Odivelas, Portugal..... | 20 |
| 4.3.1.4. Faro, Portugal | 20 |
| 4.3.2. Ciudades de tamaño medio..... | 20 |
| 4.3.2.1 Almada, Portugal | 20 |
| 4.3.2.2. Bruselas, Bélgica | 21 |
| 4.3.2.3. Dublín, Irlanda..... | 21 |
| 4.3.2.4. Vitoria-Gasteiz, España | 21 |
| 4.3.3. Grandes ciudades | 22 |
| 4.3.3.1. Berlín, Alemania..... | 22 |
| 4.3.3.2. Madrid, España..... | 22 |
| 4.3.3.3. Londres, Inglaterra..... | 22 |
| 4.3.3.4. Fortaleza, Brasil..... | 23 |
| 4.4. ANÁLISIS DE LOS EJEMPLOS DE MAPAS DE RUIDO..... | 23 |
| 4.4.1. Funchal..... | 23 |
| 4.4.2. Albufeira | 24 |
| 4.4.3. Odivelas..... | 25 |
| 4.4.4. Faro | 26 |
| 4.4.5. Almada | 27 |
| 4.4.6. Bruselas..... | 28 |
| 4.4.7. Dublin | 29 |
| 4.4.8. Vitoria-Gasteiz | 30 |
| 4.4.9. Berlín | 31 |
| 4.4.10. Madrid..... | 32 |
| 4.4.11. Londres..... | 33 |
| 4.4.12. Fortaleza..... | 34 |
| 5. MAPAS DE RUIDO DE TRES CONURBACIONES..... | 40 |

| | |
|---|-----|
| 5.1. DESCRIPCIÓN GENERAL..... | 40 |
| 5.2. MAPA DE RUIDO DE VALDIVIA..... | 42 |
| 5.2.1. <i>Análisis de la información disponible para modelar al inicio del Proyecto</i> | 42 |
| 5.2.2. <i>Definición del área a modelar</i> | 43 |
| 5.2.3. <i>Mediciones</i> | 45 |
| 5.2.4. <i>Mapa de ruido modelado</i> | 75 |
| 5.2.5. <i>Comparación modelación y mediciones</i> | 81 |
| 5.3. MAPA DE RUIDO DE TEMUCO – PADRE DE LAS CASAS..... | 85 |
| 5.3.1. <i>Análisis de la información disponible para modelar al inicio del Proyecto</i> | 85 |
| 5.3.2. <i>Definición del área a modelar</i> | 86 |
| 5.3.3. <i>Mediciones</i> | 86 |
| 5.3.4. <i>Mapa de ruido modelado</i> | 98 |
| 5.3.5. <i>Comparación modelación y mediciones</i> | 102 |
| 5.4. MAPA DE RUIDO DE LA SERENA - COQUIMBO..... | 105 |
| 5.4.1. <i>Análisis de la información disponible para modelar al inicio del Proyecto</i> | 105 |
| 5.4.2. <i>Definición del área a modelar</i> | 106 |
| 5.4.3. <i>Mediciones</i> | 106 |
| 5.4.4. <i>Mapa de ruido modelado</i> | 115 |
| 5.4.5. <i>Comparación modelación y mediciones</i> | 119 |
| 5.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS MAPAS DE RUIDO..... | 122 |
| 5.5.1. <i>Descripción General</i> | 122 |
| 5.5.2. <i>Análisis Mapa de Ruido Modelados de Valdivia</i> | 123 |
| 5.2.2.1. <i>Superficie modelada sobre recomendaciones internacionales en Valdivia</i> | 123 |
| 5.2.2.2. <i>Infraestructura de educación afectada por ruido ambiental en Valdivia</i> | 125 |
| 5.2.2.3. <i>Infraestructura de salud afectada por ruido ambiental en Valdivia</i> | 128 |
| 5.2.2.4. <i>Estimación de población potencialmente afectada por ruido ambiental en Valdivia (ejercicio)</i> | 129 |

| | |
|--|------------|
| 5.2.2.5. Estimación de influencia de la locomoción colectiva en el ruido ambiental en Valdivia (ejercicio)..... | 134 |
| 5.5.3. Análisis Mapa de Ruido Modelados de Temuco – Padre Las Casas..... | 136 |
| 5.5.3.1. Superficie modelada sobre recomendaciones internacionales en Temuco - Padre Las Casas | 136 |
| 5.5.3.2. Infraestructura de educación afectada por ruido ambiental en Temuco - Padre Las Casas | 137 |
| 5.5.3.3. Infraestructura de salud afectada por ruido ambiental en Temuco - Padre Las Casas | 143 |
| 5.5.3.4. Estimación de población potencialmente afectada por ruido ambiental en Temuco - Padre Las Casas (ejercicio)..... | 145 |
| 5.5.3.5. Estimación de influencia de la locomoción colectiva en el ruido en Temuco - Padre Las Casas (ejercicio) | 154 |
| 5.5.4. Análisis Mapa de Ruido Modelados de La Serena - Coquimbo | 156 |
| 5.5.4.1. Superficie modelada sobre recomendaciones internacionales en La Serena - Coquimbo..... | 156 |
| 5.5.4.2. Infraestructura de educación afectada por ruido ambiental en La Serena - Coquimbo | 158 |
| 5.5.4.3. Infraestructura de salud afectada por ruido ambiental en La Serena - Coquimbo..... | 164 |
| 5.5.4.4. Estimación de población potencialmente afectada por ruido ambiental en La Serena - Coquimbo (ejercicio) | 166 |
| 5.5.4.5. Estimación de influencia de la locomoción colectiva en el ruido ambiental en La Serena – Coquimbo (ejercicio) | 173 |
| 5.6. ANÁLISIS DE ASPECTOS COMUNES PARA LOS MAPA DE RUIDO | 176 |
| 5.6.1. <i>Definición de horario día y noche</i> | 176 |
| 5.6.2. <i>Análisis de Protocolo de Configuración de Cálculo</i> | 180 |
| 5.6.3. <i>Análisis de modelos de predicción de ruido de tránsito vehicular</i> | 181 |
| 6. MAPAS DE RUIDO RED FERROVIARIA | 192 |
| 6.1. TEMUCO – PADRE LAS CASAS..... | 192 |
| 6.1.1. <i>Mapa de ruido de trenes de Temuco – Padre Las Casas</i> | 192 |
| 6.2. LA SERENA – COQUIMBO | 196 |
| 6.2.1. <i>Mapa de ruido de trenes de La Serena - Coquimbo</i> | 196 |
| 7. PLANES DE ACCIÓN – MEDIDAS DE GESTIÓN PARA ABORDAR EL RUIDO AMBIENTAL..... | 200 |
| 7.1. PLANES DE ACCIÓN EN EUROPA..... | 200 |
| 7.1.1. <i>Alcance</i> | 200 |
| 7.1.2. <i>Situación actual</i> | 203 |
| 7.1.2.1. <i>Cuestiones prácticas</i> | 203 |

| | |
|--|------------|
| 7.1.2.2. Políticas | 204 |
| 7.1.3. Las infraestructuras de transporte | 204 |
| 7.1.3.1. Carreteras | 205 |
| 7.1.3.2. Ferrocarriles | 205 |
| 7.1.3.2. Aeropuertos | 206 |
| 7.1.4. Las ciudades | 207 |
| 7.2. RECOMENDACIONES EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL EN CONTROL DE RUIDO. | 209 |
| 7.2.1. Descripción General | 209 |
| 7.2.2. Alcances de la propuesta en gestión ambiental local en control de ruido | 209 |
| 7.2.3. Lineamientos estratégicos para abordar el control del ruido en las ciudades | 210 |
| 7.2.4. Ejemplo de medidas de control de ruido ambiental local | 214 |
| 7.2.5. Medidas especiales para Valdivia | 222 |
| 8. APOORTE DEL SECTOR TRANSPORTE AL RUIDO AMBIENTAL DE UNA CIUDAD | 224 |
| 8.1. EL RUIDO DE TRANSPORTE | 224 |
| 8.2. NECESIDAD DE UNA MÉTRICA | 226 |
| 8.3. RELACIÓN DOSIS-RESPUESTA SUBJETIVA | 228 |
| 8.4. RELACIÓN RUIDO-EFECTOS EN LA SALUD | 229 |
| 8.5. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS IMPACTOS | 232 |
| 8.6. INICIATIVAS RELEVANTES | 234 |
| 8.7. LÍNEAS DE TRABAJO | 237 |
| 9. ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS PARA VALDIVIA | 240 |
| 9.1. ESTUDIO SUBJETIVO DE ACÚSTICA AMBIENTAL EN VALDIVIA (ACTIVIDAD ADICIONAL 1) | 240 |
| 9.1.1. Descripción general | 240 |
| 9.1.2. Metodología | 240 |
| 9.1.3. Lineamientos de la encuesta | 241 |
| 9.1.4. Análisis de resultados de la encuesta en Valdivia | 243 |

| | |
|---|-----|
| 9.1.4.1. Característica de la muestra | 244 |
| 9.1.4.2. Descripción de las variables sobre sensibilidad al ruido ambiental..... | 245 |
| 9.1.4.3. Descripción de las variables fuentes de ruido ambiental. | 248 |
| 9.1.4.4. Descripción de las variables de impacto del ruido ambiental..... | 251 |
| 9.1.4.5. Descripción de las variables de área verde y paisaje sonoro de la ciudad..... | 256 |
| 9.1.4.6. Descripción de las variables relacionada con la evaluación de las políticas públicas. | 260 |
| 9.2. ESTUDIO DE VALORIZACIÓN ACÚSTICA DE ESPACIOS VERDES EN VALDIVIA (ACTIVIDAD ADICIONAL 2)..... | 263 |
| 9.2.1. Descripción general..... | 263 |
| 9.2.2. Contexto | 263 |
| 9.2.2.1. Relevancia de las áreas verdes en la ciudad..... | 263 |
| 9.2.2.2. Multifuncionalidad de áreas verdes e importancia del paisaje acústico..... | 264 |
| 9.2.3. Valdivia como estudio piloto..... | 265 |
| 9.2.4. Desafíos y lineamientos | 269 |
| 9.2.5. Valorización áreas verdes | 271 |
| 9.3. ESTUDIO DE PAISAJE SONORO EN VALDIVIA (ACTIVIDAD ADICIONAL 3)..... | 272 |
| 9.9.1. Descripción general..... | 272 |
| 9.9.2. Relevancia de los Paisajes Sonoros | 272 |
| 9.9.3. Marco teórico..... | 273 |
| 9.9.3.1. Modelos de paisajes sonoros | 273 |
| 9.9.3.2. Acercamientos metodológicos..... | 274 |
| 9.9.3.3. Terminología utilizada en paisaje sonoro | 275 |
| 9.9.3.4. Clasificación y categorización de sonidos | 276 |
| 9.9.3.5. Clasificación y categorización de paisajes sonoros | 276 |
| 9.9.3.6. Algunos ejemplos de paisajes sonoros | 277 |
| 9.9.3.7. Paisajes sonoros y calidad ambiental..... | 277 |
| 9.9.3.8. Paisaje sonoro en América Latina | 278 |
| 9.9.4. Metodología..... | 279 |

| | |
|---|------------|
| 9.9.4.1. Áreas verdes más visitadas | 279 |
| 9.9.4.2. Ambientes sonoros característicos | 280 |
| 9.9.4.3. Tipos de vías en Valdivia | 280 |
| 9.9.4.4. Proceso de grabación de los paisajes sonoros de Valdivia | 281 |
| 9.9.5. Resultados | 282 |
| 9.9.5.1. Paisajes sonoros registrados | 282 |
| 9.9.5.2. CD de Paisajes Sonoros | 289 |
| 9.9.6. Conclusiones | 290 |
| 10. CONCLUSIONES | 292 |
| 11. BIBLIOGRAFÍA | 295 |
| 12. GLOSARIO | 305 |
| 12.1. CONCEPTOS | 306 |
| 12.2. VARIABLES E INDICADORES ACÚSTICOS | 308 |

ANEXOS (EN DISPOSITIVO DE MEMORIA ADJUNTO)

- **Anexo 1-Valdivia**
 - Archivo Cadna
 - Base Datos
 - Clasificación Vial
 - Comparación Modelos
 - Edificaciones Sensibles
 - Fichas Estaciones Fijas
 - Fichas Mediciones Acústicas
 - KMZ
 - Mapas de Ruido
 - Metadata
 - Niveles Estaciones Fijas
 - Shape Valdivia
- **Anexo 2-Temuco – Padre Las Casas**
 - Archivo Cadna
 - Base Datos
 - Clasificación Vial
 - Comparación Modelos
 - Edificaciones Sensibles
 - Fichas Estaciones Fijas
 - Fichas Mediciones Acústicas
 - KMZ
 - Mapas de Ruido
 - Metadata
 - Niveles Estaciones Fijas
 - Shape Temuco-Padre Las Casas
- **Anexo 3-Coquimbo-La Serena**
 - Archivo Cadna
 - Base Datos
 - Clasificación Vial
 - Comparación Modelos
 - Edificaciones Sensibles
 - Fichas Estaciones Fijas
 - Fichas Mediciones Acústicas
 - KMZ
 - Mapas de Ruido
 - Metadata
 - Niveles Estaciones Fijas
 - Shape Coquimbo-La Serena
- **Anexo 4-Estadísticos-Encuestas**
 - Análisis Estadísticos de Datos de Flujos Vehiculares La Serena-Coquimbo
 - Análisis Estadísticos de Datos de Flujos Vehiculares Temuco-Padre Las Casas
 - Análisis Estadísticos de Datos de Flujos Vehiculares Valdivia
 - Encuesta Sobre Ruido Ambiental On Line Aplicada en Valdivia
- **Anexo 5-Protocolo Elaboración de Mapas de Ruido**
- **Anexo 6-Certificados Equipos**
- **Anexo 7-Infomes de Avance**

Capítulo 0.
RESUMEN EJECUTIVO



AcústicaUACH
www.acusticauach.cl

0. RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto licitado por el Ministerio del Medio Ambiente (ID: 608897-50-LP13) se desarrolló durante dos años, y fue concluido en abril de 2015. Contempló varias actividades y estudios, que se reseñan a continuación.

1. Experiencia Internacional en Mapas de Ruido

La elaboración de mapas de ruido comenzó a fines de los 70s en la vecindad de los aeropuertos, cuando la exposición al ruido de la población residente en las cercanías de éstos se convierte en un problema severo. En los Estados Unidos el transporte aéreo creció muy rápido con el desarrollo económico que siguió al fin de la segunda guerra mundial. Ya en los 60s el ruido de los aviones era un tema grave, y los esfuerzos para controlar y reducir el ruido generaron estudios sobre el diseño de aeronaves y la planificación de los aeropuertos. Se establecieron limitaciones a los niveles de ruido y se adoptaron fuertes restricciones legales que continúan hasta el día de hoy.

Las administraciones medio ambientales y los municipios se dieron cuenta de que el manejo de las quejas de la población expuesta no podía enfrentarse sólo con mediciones de ruido en lugares puntuales. Los estudios sobre grandes áreas geográficas involucraron mediciones y predicciones que condujeron finalmente a los mapas de ruido. Hoy los mapas ofrecen una vista de la distribución de los niveles de ruido en una gran superficie, convirtiéndose en una herramienta para la planificación y para los propósitos de gestión del ruido ambiental.

La experiencia europea, estadounidense, australiana, asiática y chilena permiten confirmar que las distintas realidades legislativas y locales han generado diversidad de situaciones. Para el caso europeo, el impulso de la Directiva 2002/49/CE ha puesto a Europa en la vanguardia de los mapas de ruido y la planificación que resultan de ellos. En Estados Unidos esto no ha sucedido, a pesar de disponer de la información para la realización de los mapas (datos GIS de suelo y otros), ni tampoco en Australia, donde se han elaborado en una escala limitada, fundamentalmente en la evaluación de las carreteras. En el caso asiático, se han realizado un número importante de mapas de ruido estratégicos, donde hay variedad de ciudades de enorme tamaño y densamente pobladas, con un constante incremento en el tráfico de carreteras, trenes y aeropuertos asociado al desarrollo industrial y comercial. En el caso de Chile, hay claramente dos etapas: la primera que consistió en los primeros estudios con mediciones y la segunda que consiste de los estudios por modelación. En éste último caso, como país, Chile lleva la delantera en la región, con una línea de estudio nacional en mapas de ruido de varias ciudades.

El estudio realizado de mapas de ruido en ciudades de tamaño pequeño (Funchal, Albufeira, Odivelas, Faro), de tamaño medio (Almada, Bruselas, Dublín, Vitoria-Gasteiz) y grandes (Berlín, Madrid, Londres, Fortaleza), permiten observar una gran variedad de casos. En ciudades desde 39.000 habitantes hasta 8.300.000 habitantes, o superficies modeladas desde 27 km² a 1.600 km², se encuentran las mismas decisiones técnicas de modelación y de obtención de información propias del proceso de elaboración de un mapa de ruido, y que no distintas a aquellas que se enfrentan en Chile.

2. Mapas de Ruido de Tres Conurbaciones

Este proyecto contempló la elaboración de mapas de ruido para periodos diurno y nocturno de las conurbaciones de Valdivia, Temuco-Padre Las Casas y La Serena-Coquimbo utilizando el software Cadna/A Noise Mapping con licencia del Ministerio del Medio Ambiente. Las fuentes de ruido modeladas corresponden al tránsito vehicular para las tres conurbaciones y al tránsito ferroviario para Temuco-Padre Las Casas y La Serena-Coquimbo.

En cada conurbación se llevaron a cabo al menos cien mediciones acústicas de verificación, y cien mediciones de flujo diurno y cien nocturnas. Se incorporaron estaciones fijas semanales de monitoreo de ruido con objeto de validar y optimizar la cantidad y distribución de puntos de medición móviles. Mediante análisis estadístico se definieron cantidad y distribución de las mediciones de base para ajustes del modelo acústico.

Se mejoró el proceso de clasificación vial (REDEVU) utilizado en el Mapa de Ruido del Gran Santiago (2011), y que constituye la metodología base de generación de datos para el mapa de ruido. Se ha incorporado una subclasificación vial sencilla y eficiente, separando vías con y sin locomoción colectiva pesada. Con este proceso, la modelación acústica de los mapas de ruido mejoró en un 2.24 dBA promedio (dato de la ciudad de Valdivia, donde se desarrolló esta mejora metodológica). Los mapas de ruido realizados incorporan todas las edificaciones como una unidad en cada ciudad, en lugar de un sistema de bloques por manzanas, logrando aún mayor precisión.

3. Análisis de Resultados de Mapas de Ruido

Se calculó la superficie efectiva expuesta a los valores de ruido modelados (sin incluir superficie que cubren las edificaciones y cuerpos de agua), para periodos diurno y nocturno. Las recomendaciones internacionales sugieren un valor máximo de 65 dBA para el día y 55 dBA para la noche.

Tabla 1: Superficie que cumple recomendaciones internacionales en periodos diurno y nocturno (en porcentaje).

| VALDIVIA | | TEMUCO-PADRE LAS CASAS | | LA SERENA-COQUIMBO | |
|--|-------|--|-------|--|-------|
| Superficie Modelada 38 km ² | | Superficie Modelada 54 km ² | | Superficie Modelada 84 km ² | |
| Día | Noche | Día | Noche | Día | Noche |
| 90.5% | 94.1% | 82.7% | 91.8% | 91.1% | 85.1% |

Considerando que en la Comuna de Santiago, el 46% de superficie que cumple recomendaciones internacionales en periodos diurno y un 40% nocturno (2010), y 82.6% del Gran Santiago (2011) cumple con el valor durante el día, es posible decir que estas tres ciudades poseen ambientes acústicos bastantes más saludables.

El ruido a que están expuestos los establecimientos de educación por ciudad (universidades, colegios, escuelas, institutos, etc.) sobre 65 dBA para el periodo diurno, es el siguiente:

Tabla 2: Establecimientos de Educación sobre recomendaciones internacionales en periodo diurno (en porcentaje).

| VALDIVIA | TEMUCO-PADRE LAS CASAS | LA SERENA-COQUIMBO |
|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Establecimientos de Educación: 75 | Establecimientos de Educación: 127 | Establecimientos de Educación: 152 |
| 58.4% | 57.1% | 51.0% |

El ruido a que están expuestos los establecimientos de salud por ciudad (hospitales, clínicas, consultorios, centros de salud, etc.) sobre 65 dBA para el periodo diurno, es el siguiente:

Tabla 3: Establecimientos de Salud sobre recomendaciones internacionales en periodo diurno (en porcentaje).

| VALDIVIA | TEMUCO-PADRE LAS CASAS | LA SERENA-COQUIMBO |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Establecimientos de Salud: 11 | Establecimientos de Salud: 25 | Establecimientos de Salud: 25 |
| 36.4% | 32.0% | 24.0% |

Mediante un ejercicio preliminar se evaluó la cantidad de habitantes potencialmente afectados por ruido en cada conurbación. Este análisis es sólo una estimación, ya que no fue posible contar con información detallada respecto a población, distribución de ésta en el territorio y distribución de habitantes por viviendas. Los criterios de aceptabilidad considerados son un valor máximo de 65 dBA para el día y 55 dBA para la noche.

Tabla 4: Habitantes potencialmente afectados por ruido en periodos diurno y nocturno (en porcentaje).

| VALDIVIA | | TEMUCO-PADRE LAS CASAS | | LA SERENA-COQUIMBO | |
|----------|-------|------------------------|-------|--------------------|-------|
| Día | Noche | Día | Noche | Día | Noche |
| 6.3% | 3.9% | 9.8% | 4.9% | 4.4% | 7.3% |

Para estimar el aporte de la locomoción colectiva al ruido ambiental, se modelaron las calles con locomoción colectiva y luego sin ella. Si bien este análisis es un ejercicio inicial, se pudo establecer:

Tabla 5: Aumento de ruido generado por la locomoción colectiva por tipo de vía (en dBA).

| Tipo Vía | VALDIVIA | TEMUCO-PADRE LAS CASAS | LA SERENA-COQUIMBO |
|-----------|----------|------------------------|--------------------|
| Local | +5.4 dBA | +3.3 dBA | +5.18 dBA |
| Servicio | +3.2 dBA | +3.0 dBA | +2.71 dBA |
| Colectora | +1.7 dBA | +2.6 dBA | +2.9 dBA |
| Troncal | - | +1.9 dBA | +2.12 dBA |
| Expresa | - | - | +0.96 dBA |
| PROMEDIO | +4.2 dBA | +2.97 dBA | +3.18 dBA |

4. Planes de Acción – Medidas de Gestión para Abordar el Ruido Ambiental

Los planes de acción a gran escala en Europa parecen estar dando resultados interesantes. Las medidas técnicas de atenuación del ruido se han complementado con una visión más amplia que incluye campañas públicas de educación y sensibilización sobre el ruido, la restauración de la planificación urbana enfocada en la calidad de vida de los ciudadanos, proporcionando lugares con mayor calidad acústica donde los ciudadanos puedan descansar y encontrar tranquilidad. Aunque se requiere que los planes de acción sean revisados cada cinco años, algunas ciudades elaboran sus planes para un plazo más largo. Las agendas políticas vinculadas al calendario electoral de cada país a menudo entorpecen planes más ambiciosos, afectando programas que tengan alto impacto.

Abordar el tema de la contaminación acústica en Chile requiere de una gestión integral e integrada. Integral pues requiere el reconocimiento de todas las fuentes relevantes existentes en las ciudades, e integrada ya que son muchos los actores públicos y privados relacionados con actividades contaminantes, y los instrumentos que permiten su control. Se requiere un diseño de gestión a tres niveles: Nacional (Políticas, Normas y Estrategias), Regional o Intercomunal (Estudios, Priorización y Financiamiento de Medidas, Planificación Territorial) y Local o Comunal

(Análisis en Detalle de Casos, Elaboración de Planes y Medidas, Seguimiento y Evaluación de Acciones, Vinculación e Información a la Comunidad).

5. Aporte del Sector Transporte al Ruido Ambiental de una Ciudad

La actual política de desarrollo urbano en Chile que asocia a las vías principales de transporte mayores densidades de población, sin asociar una mayor protección de fachada, implica que necesariamente a futuro crecerá significativamente la población expuesta, una vez que las vías y las edificaciones alcancen su capacidad. Las iniciativas más urgentes de implementar son dos: integrar en los métodos y lineamientos para elaborar IPTs los indicadores ruido de transporte en forma cuantitativa, de modo que las opciones de cambios sean evaluadas en términos de su impacto sobre la población existente y futura; y en segundo lugar, incorporar a la OGUC estándares mínimos de protección acústica en fachadas expuestas a ruido de transporte actual o futuro.

Las decisiones sobre la infraestructura vial y las de gestión de tránsito no consideran explícitamente las emisiones de ruido como factor de diseño sino más bien responden a factores de congestión y seguridad vial. Esta ausencia del factor acústico en la planificación y gestión vial puede significar que se pierdan oportunidades de reducir impactos masivos sobre la calidad acústica de las áreas colindantes a vías. El rol de los indicadores de contaminación acústica por transporte es fundamental.

Se debe generar mejor información e indicadores sobre la respuesta subjetiva de las personas y los impactos sobre la salud a nivel epidemiológico, causados por ruido de transporte. Es imprescindible integrar a los ciudadanos en la toma de decisiones, de modo que las acciones no sean desvirtuadas por una falta de aceptación ciudadana. Por otro lado, las relaciones dosis-respuesta y los factores de riesgo de morbilidad y mortalidad debieran estar basados en observaciones realizadas en estudios nacionales. Se estima que el método de carga de enfermedad y el indicador DALY han probado ser robustos y directamente aplicables para definir prioridades, apoyar acciones y diseminar la información a no expertos que deben tomar decisiones, por lo que su uso resultaría recomendable.

La OMS ha estimado que en Europa cada año se pierden por causa del ruido de tránsito al menos 1 millón de años de vida saludable, incluyendo 61.000 años por enfermedades cardíacas, 45.000 por pérdidas cognitivas de niños, 903.000 por alteración del sueño, 22.000 por tinnitus y 654.000 por molestia. Estos datos deben orientar las medidas de control de ruido generado por el tránsito vehicular.

6. Estudios Complementarios para Valdivia

Estudio Subjetivo de Acústica Ambiental en Valdivia. Se realizó exitosamente, y por primera vez en Chile, una encuesta online sobre acústica ambiental. Un 46% de la población de Valdivia se declara medianamente sensible al ruido ambiental, un 26% muy sensible y un 3% nada sensible. Este último valor es singular, ya que demuestra una mayor sensibilidad que los habitantes de la comuna de Santiago, donde el 17% de la población indicó ser “nada sensible”. La población de la comuna de Valdivia identifica con claridad los efectos del ruido que les afecta: un 3,4% indica que el ruido siempre le pone nervioso y un 16% que a menudo le pone nervioso (en suma un 19,4%); un 4,4% el ruido siempre le genera insomnio y un 15% a menudo le produce insomnio (19,4% en total); un 5,3% afirma que el

ruido ambiental siempre le produce dolor de cabeza y un 11% que a menudo le genera dolor de cabeza (en suma 16.2%).

Estudio de Valorización Acústica de Espacios Verdes en Valdivia. Se realizó una evaluación de la valorización de áreas verdes en la ciudad, para obtener datos que permitan realizar una primera orientación de recomendaciones en gestión ambiental en la ciudad, en donde más del 58% de su superficie está cubierta en algún grado por áreas verdes, ya sea formales (municipales), informales (acceso público pero de propiedad no municipal) y jardines domésticos. La población encuestada en Valdivia valora el paisaje acústico en las áreas verdes en relación a aspectos y elementos asociados con la naturaleza. Al momento de priorizar acciones por parte de las autoridades, se pide no solo resguardar espacios de tranquilidad, sino que además se hace mención explícita de mejorar y aumentar las áreas verdes y árboles de la ciudad.

Estudio de Paisaje Sonoro en Valdivia. El estudio de patrimonio y paisaje sonoro permite una definición de aquellos aspectos más relevantes para las personas y la valorización de tales elementos. En la encuesta realizada en Valdivia, en conjunto con el levantamiento de información en terreno, se definieron y realizaron grabaciones sonoras binaurales. Se seleccionaron 16 paisajes sonoros que incluyen las áreas verdes más visitadas en la ciudad (Jardín botánico, Parque Hamecker, Parque Krammer, etc.), ambientes considerados característicos de la ciudad (Lluvias y tormentas, cantos de aves, feria fluvial, lobos marinos, etc.) y ambientes en torno a tipos de calles de la ciudad (local, servicios y colectora con/sin locomoción colectiva, respectivamente). Este material permite aportar el sentido de la escucha a ciertos lugares y eventos sonoros de la ciudad, complementando el mapa de ruido.

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

La elaboración de mapas de ruido en Chile es un área de trabajo que avanza en forma importante. Se están desarrollando metodologías acordes con los datos disponibles en el país, obteniendo información ambiental de calidad. Los trabajos que se están llevando a cabo por el Ministerio del Medio Ambiente hace ya varios años, establecen un importante estándar en cuanto a la forma de elaborarlos y a los datos ambientales que es posible obtener. Es así como otras instituciones o empresas pueden consultar tales directrices y apoyarse en la elaboración de mapas de ruido por modelación con buenos resultados. Sin embargo, es conveniente seguir perfeccionando la metodología, mejorando los datos modelados, la información de entrada a los modelos (que hoy es la mayor dificultad), y las mediciones acústicas de control.

Los mapas de ruido constituyen importantes herramientas de información ambiental y poseen, en sí mismos, un alto valor como instrumento de datos ambientales [Parlamento Europeo 2002]. A partir de lo anterior, es necesario avanzar en la interpretación de esta información y su posible utilización en la gestión ambiental. Se requiere implementar con ellos medidas de control de ruido a nivel local, regional y nacional.

La información que aportan los mapas de ruido sugiere explorar cuáles serían aquellas directrices y elementos que permitan guiar, por ejemplo, la discusión de una norma de calidad ambiental para el país. En ese sentido, se hace necesario estudiar indicadores, descriptores o índices que permitan diseñar un instrumento que se adapte al marco regulatorio nacional, o bien, diseñar un nuevo instrumento regulador que responda de mejor manera a las características del ruido como contaminante. Es conveniente desarrollar mapas de ruido tomando en consideración también este aspecto.

Como es conocido, el transporte urbano es el mayor aportador al ruido ambiental de una ciudad. Parece lógico entonces, orientar esfuerzos iniciales en su cuantificación, mitigación y medidas de prevención apropiadas. Sin embargo, también es necesario observar el comportamiento de otras fuentes de ruido y de cómo las personas perciben el entorno sonoro. Los mapas de ruido deben orientar medidas sobre actores y zonas con niveles de ruido elevados, pero también es necesario tomar medidas sobre aquellas zonas donde tales niveles son confortables. Se debe desarrollar una estrategia para valorar apropiadamente estos espacios, protegerlos de su deterioro, e incluso dar pautas para su diseño urbanístico.

El éxito de las medidas de control en ruido ambiental necesariamente dependen de la valorización del entorno sonoro de las personas como parte de la educación ambiental. Mientras más conscientes sea la comunidad del valor ambiental del sonido, y mientras más atentos se encuentre a su entorno, más sentido tendrán aquellas medidas de control y mitigación de ruido ambiental que son necesarias de implementar.

La reducción del nivel de ruido y el foco de la política sobre el ruido ambiental de la UE, ha llevado a la conclusión que no conduce inequívocamente a una mejor calidad de vida en las zonas urbanas. Se hace necesario incorporar un nuevo enfoque multidisciplinario que demanda no sólo estudiar las medidas físicas, sino también la cooperación de las ciencias humanas y sociales (por ejemplo, la psicología, la sociología, la arquitectura, la antropología, la medicina, la ecología, etc.). Es necesario dar cuenta de la diversidad de los paisajes sonoros de los distintos países y culturas, y considerar los sonidos ambientales como un "recurso" en lugar de un "residuo". [COST 2013]

Capítulo 2. OBJETIVOS



2. OBJETIVOS

Los objetivos establecidos por las Bases Administrativas del proyecto se definen a continuación.

2.1. Objetivo general

1. Elaborar los mapas de ruido de las conurbaciones: Gran Coquimbo, Valdivia y Temuco-Padre Las Casas, mediante la aplicación de modelos de predicción de ruido.

2.2. Objetivos específicos

1. Obtener los mapas de ruido para periodos diurno y nocturno, de cada conurbación, utilizando el Software de modelación CadnaA Noise Mapping (Extensiones CadnaA Estándar, BMP, XL y 64Bit)
2. Analizar los resultados y realizar un cruce de información, estableciendo recomendaciones y lineamientos estratégicos para el control de ruido ambiental.
3. Realizar un levantamiento respecto a experiencias y aplicaciones de mapas de ruido de grandes extensiones espaciales (ciudades).

Capítulo 3. EQUIPO CONSULTOR



3. EQUIPO CONSULTOR

El equipo consultor se presenta en forma de organigrama, en la siguiente figura:



Fig. 1. Organigrama equipo consultor Instituto de Acústica UACH.

Además, el Ing. Joaquín Stevens participó como colaborador en la edición del Informe Final.

Capítulo 4. EXPERIENCIA INTERNACIONAL EN MAPAS DE RUIDO



4. EXPERIENCIA INTERNACIONAL EN MAPAS DE RUIDO

Se realizó un levantamiento de información respecto a experiencias y aplicaciones de los resultados de mapas de ruido de grandes extensiones espaciales, hayan sido o no exitosas. Se incluyen en el análisis, según la información disponible considerando experiencias desde el año 1990 a la fecha, estudios en países miembros de la UE y/o de la OCDE, descriptores de ruido utilizados, actualización y/o ajuste de los mapas de ruido y su nexa con redes de monitoreo de ruido ambiental, etc.

Para tales efectos se contó con la participación del reconocido experto internacional en esta materia, Dr. J. Luis Bento Coelho, quien ha participado en diversos proyectos de investigación en Acústica y Vibraciones desde 1977, tanto en Portugal como otros internacionales. Destaca su participación como miembro en CNOSSOS-EU Technical Committee (European Commission, desde 2010), EU Expert Panel on Noise (European Environmental Agency, desde 2009) y Expert Panel of the European Green Capital City Award Scheme (European Commission, desde 2008). Su labor en este proyecto fue guiar la búsqueda de información, aportando su experiencia en Europa para tales efectos por medio de reuniones de trabajo, correspondencia vía email, y una visita a Chile a inicios de diciembre de 2014. En esa oportunidad, el Dr. Bento Cohelo participó como conferencista del IX Congreso Iberoamericano de Acústica FIA2014, y también del XIV Seminario de Acústica Ambiental (organizado por el Ministerio del Medio Ambiente y la Sociedad Chilena de Acústica), ambos eventos realizados en Valdivia entre el 01 al 03 de diciembre de 2014. Además, el día jueves 04 de diciembre se realizó una reunión de trabajo con la Contraparte Técnica, donde se abordaron temas del presente proyecto y la opinión del experto sobre los alcances, resultados y modalidad de trabajo.

Como resulta evidente, se incluyen análisis vinculados con las recomendaciones y directrices establecidas por la UE y por la OCDE, con un levantamiento pormenorizado de experiencias destacadas.

Para efectos de este análisis, se realizó una selección de 12 casos de estudios

4.1. Introducción

La elaboración de mapas de ruido comenzó a fines de los 70s en la vecindad de los aeropuertos, cuando la exposición al ruido de la población residente en las cercanías de éstos se convierte en un problema severo. En los Estados Unidos el transporte aéreo creció muy rápido con el desarrollo económico que siguió al fin de la segunda guerra mundial. Ya en los 60s el ruido de los aviones era un tema grave, y los esfuerzos para controlar y reducir el ruido generaron muchos estudios sobre el diseño de aeronaves y la planificación de los aeropuertos. Se establecieron limitaciones a los niveles de ruido y se adoptaron fuertes restricciones legales que continúan hasta el día de hoy.

Las administraciones medio ambientales y los ayuntamientos se dieron cuenta de que el manejo de las quejas de la población expuesta no podía enfrentarse sólo con medidas de ruido en lugares puntuales. Los estudios sobre grandes áreas geográficas involucraron medidas y predicciones que condujeron finalmente a los mapas de ruido. Estos mapas permiten una vista de la distribución de los niveles de presión sonora en una gran superficie, convirtiéndose en una herramienta importante para la planificación y para los propósitos de gestión del ruido ambiental [Kang 2007]; [Licitra 2013].

4.1.1. El caso europeo

En Europa, los problemas de ruido ambiental generaron varias ordenanzas de ruido durante la década de 1970 y la década de 1980. En 1970 se emitió la primera Directiva sobre la limitación de las emisiones sonoras de los vehículos de carretera [Council Directive 1970], aunque los límites de ruido sólo se incluyeron en la Directiva de 1977 [Council Directive 1977]. La década de 1980 vio cómo diferentes países del mundo emitían legislaciones y limitaciones al ruido. Reconociendo que el ruido era un indicador primario de la calidad de vida en la zona europea, aunque la mayoría de los esfuerzos medioambientales se dirigieron al agua y la contaminación y la gestión de residuos, la Conferencia de 1989 en París sobre la Energía y el Medio Ambiente recomienda a la Comisión Europea centrarse en los problemas de ruido en la próximas décadas.

En la década de 1980 el ruido en las ciudades se estaba convirtiendo en un problema y el concepto de mapa de ruido se aplicó a los sitios urbanos en Europa. Algunas partes de las ciudades fueron mapeadas para identificar los puntos ruidosos o para tener una visión macro con fines de planificación. En 1996, el Libro Verde Europeo [EU 1996], identificó el ruido en Europa como un problema grave que afectaba a un gran número de población. La Conferencia de Copenhague de 1998 decidió poner en marcha una directiva europea sobre la gestión del ruido y control, para lo cual se requeriría de mapas para identificar los problemas de ruido. En 2000, Portugal actualizó su Ley del Ruido de 1987 para requerir mapas de ruido de todos los municipios y de las infraestructuras de transporte, para evaluar el cumplimiento de los límites de ruido establecidos. En 2002, la Directiva sobre el ruido ambiental [END 2002], se publica luego de su aprobación por todos los Estados miembros de la UE. El documento requiere de la elaboración de mapas de ruido y planes de acción para todas las grandes infraestructuras de transporte y en todas las grandes urbes.

En 1999 Birmingham concluye su mapa de ruido. En 2000 Lisboa completa el mapa de ruido de toda el área municipal. Estos dos mapas parecen ser los primeros mapas de ruido europeos a gran escala. Los mapas de ruido de París fueron, aparentemente, los primeros en estar disponibles completamente en línea para el acceso de los ciudadanos después de su finalización en 2002-2003. Un gran esfuerzo fue hecho para en el acceso a todos los mapas y en la difusión de información [Paris 2014]. Los mapas de ruido de tráfico se calculan siguiendo el método francés NMPB- Routes- 96 . Este método se actualizó posteriormente en 2008 incorporando los avances del proyecto Harmonoise, ya que algunos expertos habían participado en el desarrollo de ambos métodos. El método se basa en el documento CETUR 1980 (Guide du bruit des transports terrestres), ampliamente utilizados en ese momento. El estricto uso del método requiere datos meteorológicos. Sin embargo esta información detallada podría no estar disponible en todas las ciudades del mundo, aunque la experiencia ha demostrado que con simplificaciones adecuadas el método proporciona resultados confiables y es relativamente fácil de usar. La buena experiencia en la comunicación de los resultados animó a otras ciudades a publicar rápidamente los mapas de ruido y tenerlos disponibles en línea, ejemplo seguido por Bruselas. Para el año 2007 la mayoría de las ciudades europeas habían completado sus proyectos de mapas de ruido, en cumplimiento de la END.

En otras partes del mundo las preocupaciones sobre la exposición de la población al ruido también fueron creciendo y las actividades desarrolladas en Europa eran vistas como un ejemplo a seguir. A principios de 2000 el Departamento de Protección Ambiental de Hong-Kong decidió elaborar un mapa de ruido a gran escala de su zona urbana. Más tarde le siguieron diversos proyectos de mapas de ruido en el continente. En el año 2005 un proyecto piloto se puso en marcha en Turquía para los mapas de ruido. Luego, en 2013 le siguió un ambicioso proyecto para trazar sus principales ciudades.

4.1.2. El caso estadounidense

Es claro que gracias al impulso de la Directiva 2002/49/CE de la Unión Europea [END 2002], las ciudades de la UE han estado a la vanguardia de los mapas de ruido y la planificación que resultan de ellos. Los esfuerzos por desarrollar mapas de ruido en los Estados Unidos han sido casi infructuosos, y se han quedado atrás respecto a los europeos por tres motivos. En primer lugar, los Estados Unidos no posee una legislación sobre mapas de ruido similar a nivel federal o estatal. En segundo lugar, los Estados Unidos tiene menos de la mitad de la densidad de población de la UE. En tercer lugar, y como consecuencia de los dos primeros, los planificadores en los Estados Unidos son generalmente menos conscientes de los problemas de ruido que sus homólogos europeos [Kaliski 2008].

Sin embargo, las áreas metropolitanas de los Estados Unidos han invertido mucho en la modelización del transporte. Como resultado, la base de datos para los mapas de ruido, es decir, la geometría vial y ferroviaria y de volúmenes de tráfico, está disponible en muchas áreas metropolitanas. Además, los datos digitales de elevación del terreno, fotografías aéreas y datos de GIS están generalmente disponibles en los estados o a nivel nacional sin costo alguno a través de Internet. Usando estas herramientas, varias comunidades han iniciado el proceso de creación de mapas de ruido y planificación.

El primer mapa de ruido, de estilo europeo, en los Estados Unidos fue probablemente el desarrollado en 2004 para el Condado de Chittenden en Vermont [Kaliski et al. 2007]. Este mapa de ruido tuvo en cuenta todas las principales carreteras del condado, las vías de ferrocarril, la atenuación de los edificios y el terreno. La salida del modelo muestra una cuadrícula de ruido y los rangos de niveles para cada residencia.

El mapa de ruido de San Juan, desarrollado en abril de 2007, fue uno de los primeros mapas de ruido de gran escala generados en los Estados Unidos por una agencia estatal. Se desarrolló por el Área de Control de Ruido de la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico, para promover el uso de la tecnología por parte de los municipios para un mejor estudio y gestión del ruido ambiental, que forma parte del Plan de Acción contra el Ruido de Puerto Rico.

El nuevo mapa de ruido de la ciudad de San Francisco fue actualizado por última vez en marzo de 2008, e incluye las fuentes de ruido del transporte y del ruido industrial. Inicialmente, este mapa fue desarrollado para estudiar el efecto de las sirenas de alerta temprana en la población.

Más recientemente, y usando un modelo implementado en SoundPLAN se desarrolló el mapeo del ruido de carreteras en el condado de Fulton, el cual incluye el centro de la ciudad de Atlanta [Seong et al. 2011] en el estado de Georgia. Como resultado del mapa de ruido elaborado se estimó que un 48% de la población residente estaba expuesta a niveles de ruido iguales o mayores a 55 dBA durante el día y el 32% expuesto a niveles iguales o superiores a 50 dBA durante la noche.

Como conclusión, Kaliski [Kaliski 2008] resume los siguientes desafíos para los Estados Unidos en el tema de mapas de ruido: primeramente, la inexistencia de una legislación nacional o directiva que exija realizar mapas de ruido. Sin este incentivo poderoso, muchas comunidades optan por concentrar sus esfuerzos de planificación en las áreas que son requeridas por la ley, tales como el transporte y la calidad del aire. En segundo lugar, el modelo de ruido de tránsito usado como estándar por la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (TNM, Traffic Noise Model), no es adecuado para los mapas de ruido, ya que es relativamente difícil de programar en grandes áreas, es lento, y limita la salida gráfica. Aunque los desarrolladores europeos de software de mapas de ruido están poniendo en práctica los algoritmos TNM en su software, aún no han sido aprobados para uso oficial en los Estados Unidos.

Finalmente, el principal desafío es que la planificación y gestión del ruido no es una prioridad en muchas áreas metropolitanas de Estados Unidos.

Sin embargo, el mismo Kalinski [Kalinski 2008] menciona como oportunidades que los Estados Unidos posee una amplia gama de fuentes de datos, relativamente fáciles de acceder y utilizar para la elaboración de mapas de ruido. En particular, todas las organizaciones de planificación metropolitana, que existen en la mayoría de las zonas urbanas con poblaciones de 50.000 habitantes o más, tienen algún tipo de modelo de demanda de transporte y de tránsito estimados para las principales carreteras. Además, en consideración que los Estados Unidos cuenta buenos datos GIS, tanto para el terreno, la cobertura del suelo y, en algunas zonas, los datos suelen estar disponibles de forma gratuita.

4.1.3. El caso australiano

La cartografía del ruido en las ciudades sólo se ha utilizado en Australia en una escala muy limitada, fundamentalmente en la evaluación de las carreteras, pero muchas veces sin incorporar los detalles de terreno, obstáculos, edificios y similares. Sin embargo, se han realizado estudios cartográficos del ruido futuro provocado por los aeropuertos, de los cuales el principal corresponde al mapa de contornos de ruido para el año 2029 del aeropuerto de Sydney (2014), el cual se expresa en unidades ANEF (Australian Noise Exposure Forecast). ANEF es un índice de ruido que tiene en cuenta la sonoridad, las frecuencias del ruido, si es de día o de noche y la cantidad de aviones que vuelan sobre cada área. El mapa de Sydney muestra que para 150.000 viviendas, el ruido estaría por encima del nivel que las normas establecen como demasiado ruidoso para vivir sin aislamiento acústico. Además, 50.000 de estas viviendas estarían en zonas que se consideran demasiado ruidosas, incluso con aislamiento. La predicción se desarrolló usando el software INM 7.0.

Al respecto, se puede mencionar que la normativa australiana AS2021 [Australian Standard 2000], establece que por encima de 20 ANEF, las viviendas, escuelas, hospitales y hogares de ancianos deben poseer aislamiento acústico y por encima de 25 ANEF, el ruido de los aviones se considera demasiado alto para estos tipos de edificios, incluso con aislamiento.

Un ejemplo de mapa de ruido que intentó seguir, en lo posible, las recomendaciones europeas se desarrolló en 2006 en la ciudad de Adelaide, en el sur de Australia [Adelaide 2006]. El modelo para el ruido de tránsito fue construido usando el software SoundPlan, versión 6.3 y se basó en los datos del promedio de flujos de tránsito vehicular para representar un promedio de la exposición al ruido de la población en un periodo de 24 horas. Algunas de las limitaciones de esta modelación son el no utilizar datos topográficos, que no se incluyen otras fuentes de ruido (trenes, tranvías, aeropuertos, etc.) y que la calibración del modelo se efectuó con medidas en terreno en sólo tres calles principales de la ciudad.

Actualmente, se está llevando a cabo el proyecto del mapa de ruido del Gran Melbourne, el mayor proyecto de este tipo realizado hasta ahora en Australia, tanto por la superficie a modelar como por el nivel de detalle requerido. El proyecto, asignado a la empresa WSP (www.wspgroup.com), cubrirá una superficie de 5.600 km² y 2 millones de edificios, con una población de 4 millones de habitantes. Utilizando los resultados de la modelación de ruido, se evaluará el porcentaje de la población del área metropolitana de Melbourne expuesto al ruido. Esta información será utilizada por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), en concordancia con su Plan Anual 2012-13 [EPA 2012].

El modelo informático incluirá la modelación del ruido de carreteras, ferrocarriles, industrias y tranvías, basado en datos precisos del terreno. El modelo comprende también la representación de todos los edificios tridimensionalmente

y de todas las barreras acústicas existentes a lo largo de las autopistas, permitiendo así evaluar el impacto de la exposición al ruido a varias alturas dentro de edificios altos. El modelo será evaluado y verificado con mediciones reales tomadas a lo largo del área de estudio. El proyecto se llevará a cabo por completo con un Sistema de Información Geográfica (GIS), y otras herramientas en línea, incluyendo Google Earth.

4.1.4. El caso asiático

Un número importante de mapas de ruido estratégicos han sido desarrollados en aglomeraciones en Asia. Este continente posee una gran cantidad de ciudades de enorme tamaño y densamente pobladas, con un constante incremento en el tráfico de carreteras, trenes y aeropuertos asociado al constante desarrollo industrial y comercial de esa parte del mundo.

Uno de los primeros mapas de ruido de estilo europeo elaborado en Asia correspondió a la ciudad de Hong-Kong. El Departamento de Protección Ambiental (EPD) de Hong-Kong decidió, a principios de 2000, poner en marcha un importante proyecto de cartografía del ruido a gran escala. Los mapas de ruido estuvieron disponibles en línea en 2006 [Hong-Kong 2014]. La metodología se basó en la experiencia de la Unión Europea y, por ese motivo, un equipo de consultores europeos fue llamado para otorgar asesoría. Esta fue una experiencia notable, no sólo por su gran extensión, sino también por la singularidad del compacto entorno construido de Hong Kong el que presenta grandes desafíos. Incluye un gran número de edificios altos de viviendas, complejas redes de caminos, terrenos y estructuras elevadas, todos en estrecha interacción. Teniendo en cuenta la altura de los edificios, la cartografía de las fachadas, aunque compleja, resulta de gran utilidad. La EPD utiliza activamente los mapas de ruido para la gestión del ruido ambiental. La experiencia fue un ejemplo para la región. De hecho, China continental procedió a mapear el ruido en algunas de sus ciudades durante los años siguientes.

Actualmente, se está desarrollando una extensión de éste proyecto utilizando innovadores mapas de ruido en tres dimensiones mediante SoundPLAN usando una combinación de modelamiento, GIS y tecnología gráfica computacional [Law et al. 2011]. Esto debido a que se consideró que las cartografías de ruido en dos dimensiones son inadecuadas para describir en forma precisa el medioambiente construido de Hong Kong, donde existen aproximadamente 110.000 edificios en una superficie de 1.100 km². Los resultados de este proyecto serán sin duda un real aporte al estado del arte y la experiencia sobre mapas de ruido en el mundo.

Wang y Kang [Wang y Kang 2011] compararon el mapa de ruido de la ciudad china de Wuhan (de alta densidad) con un mapa equivalente en Manchester (de baja densidad), demostrando el importante efecto que tiene la morfología urbana en la distribución del ruido de tránsito en ambos casos. Otro mapa de ruido interesante de mencionar corresponde al de la península de Macao [Sheng y Tang 2011]. En este caso, se observó que en la hora punta de la tarde, un 60% del tiempo los niveles de las veredas peatonales excedían el estándar chino de 70 dBA.

En otro trabajo, se concluye que en la ciudad de Tainán, en la isla de Taiwán, más del 90% de la población está expuesta a niveles inaceptables de ruido. En el mismo estudio, se indica que en verano la población expuesta a niveles inaceptables alcanza el 97%, mientras en invierno esta cifra baja a 90% [Tsai et al. 2009].

Un mapa estratégico de ruido se elaboró en el distrito administrativo de Youngdeungpo-gu, perteneciente a Seúl, Corea del Sur [Ko et al. 2011^a]. En este caso, el 35% de los residentes estaba expuesto a niveles de ruido superiores a 55 dBA durante el día y un 80% expuesto a niveles mayores que 40 dBA en la noche, debido a la exposición combinada del ruido de carretera y trenes. También en Corea del Sur, los mismos autores elaboraron un mapa de ruido en la ciudad de Chungju [Ko et al. 2011^b], donde se muestra que el 20% de la población está expuesta a niveles

sobre 55 dBA en el día y 68% a niveles mayores que 40 dBA en la noche. Otros ejemplos coreanos se encuentran en los trabajos de Lee [Lee et al. 2008] que presentan un mapa de ruido dentro del contexto de una evaluación de impacto ambiental para un área de desarrollo de Seúl y el trabajo de Cho [Cho et al. 2007] que presentaron un mapa realizado en el campus de la Universidad Nacional de Pusan, en la ciudad de Busan, usando mediciones y datos de GPS.

El mapa de ruido más completo de la capital de Corea del Sur, corresponde al presentado por Lee [Lee et al. 2014]. El estudio se realizó usando el modelo NMPB-Routes-96 francés, implementado en SounPLAN. Se modeló los 25 distritos que componen el área metropolitana de Seúl correspondiente a una superficie de 605 km² con una población superior a los 10 millones de habitantes. Se seleccionó como fuentes de ruido solamente aquellas vías con un volumen mayor que 2.000 vehículos por hora. Esta información se obtuvo directamente del Departamento de Transportes de la ciudad. El porcentaje de población promedio expuesta a niveles mayores que 65 dBA en el día y de 55 dBA en la noche fue de 16,6% y 34,8%, respectivamente. Se concluye que se deben tomar medidas urgentes para reducir el ruido de tránsito en Seúl en horario nocturno.

Un interesante trabajo fue presentado por Oshino [Oshino et al. 2006] relacionado con una metodología para realizar mapas de ruido de tránsito combinando el modelo de predicción de flujo de tránsito llamado AVENUE, con el modelo japonés para predicción de ruido de tránsito ASJ [Kono et al. 2004]. La metodología fue aplicada para desarrollar el mapa de ruido de la ciudad japonesa de Tsukuba, ubicada a 60 km al noreste de Tokio. Por otra parte, la elaboración de un mapa de ruido en un área de 61 km² en la ciudad de Matsudo, en la prefectura de Chiba en Japón, es discutida por Imaitzumi [Imaitzumi et al. 2005]. Ellos usaron datos GIS y se consideraron como fuentes principales de ruido al tráfico rodado y el ruido de trenes. La resolución del mapa elaborado fue de 50 m x 50 m indicando niveles de ruido a 3,5 m de altura, aunque no se indica el software usado.

El mapa de ruido completo de la ciudad de Karachi en Pakistán fue presentado por Mehdiá [Mehdiá et al. 2011] usando medición directa del ruido. En ese trabajo solamente se concluye que una gran cantidad de habitantes se encuentra en riesgo de ser expuesto a niveles de ruido excesivos. La conclusión se obtuvo comparando los resultados de los mapas estratégicos de ruido con los mapas de densidad poblacional.

Para Singapur, se ha consignado solamente un estudio de la isla, encargado por el Ministerio del Medioambiente en 2001, utilizando el método de medidas directas en terreno, lo cual es más limitado para implementar futuros planes de acción. En Singapur, el GIS no está disponible comercialmente en formatos bi o tri dimensionales, lo cual se menciona como una dificultad en la tarea de realizar mapas a un nivel macro [AIG 2012].

En el caso de Besiktas, un distrito de la ciudad de Estambul en Turquía, se usaron mapas de ruido para determinar el aislamiento requerido para las fachadas de edificios [Kurra y Dal 2012]. En este trabajo se muestra un método para transformar los niveles de ruido en fachadas en contornos de aislamiento y propone una categorización para facilitar el diseño de fachadas de edificios. El concepto de mapas de ruido ha sido empleado también en la ciudad de Yazd, en Irán, para analizar la contaminación acústica por el ruido de tráfico [Nejadkoorki et al. 2010].

Un estudio longitudinal del comportamiento del medioambiente acústico en el tiempo ha sido publicado más recientemente por Lam y Ma [Lam y Ma 2012] en Hong Kong. Ellos presentaron los niveles de ruido de complejos habitacionales construidos en diferentes periodos de tiempo, usando mapas de ruido en tres escalas espaciales: las viviendas, los vecindarios y la comunidad. Los resultados indicaron que los niveles de ruido promedio en las nuevas residencias son más bajos que en aquellas más antiguas, lo que sugiere que ha habido leves mejorías en el medioambiente construido recientemente.

4.1.5. El caso chileno

El caso chileno se puede separar en dos etapas: la primera que consistió en los primeros estudios con mediciones y la segunda que consiste de los estudios por modelación. Los principales hitos de estas etapas han sido descritos en el trabajo de Suárez y Quezada [Suárez et al. 2013].

En 1989 se realizó un estudio en Santiago, encargado por la Intendencia Metropolitana, con el propósito de evaluar y analizar el ruido comunitario exterior en una zona que cubrió cerca de 280 Km² del Gran Santiago, correspondiendo a 23 comunas de la Región Metropolitana. Mediante este estudio, se pudo detectar los sectores donde la contaminación acústica presentaba mayores niveles y al mismo tiempo, permitió identificar los posibles riesgos a los cuales está sometida la población expuesta al ruido urbano, considerando normativas nacionales e internacionales. Este estudio fue actualizado parcialmente por el Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente (Ministerio de Salud), el año 2001, y demostró que, mientras la población en estudio había aumentado un 1,9%, un 37% de ella había aumentado su grado de contaminación y sólo un 1,5% la había disminuido.

En otras regiones de Chile, estudios realizados indicaron que para la ciudad de Talcahuano (1997) el tránsito es la fuente de ruido más importante de la comuna y que el 90% de las fuentes fijas no cumplen con los niveles máximos permitidos para el horario nocturno. Estudios posteriores durante el período 1999 – 2000 en Valparaíso, Iquique y Temuco han arrojado datos similares en cuanto a que el tráfico es la fuente de ruido más importante, junto con los ruidos generados por las mismas personas (vecinos). Se aplicó una encuesta en estas tres ciudades, y se observó que sobre el 60% de los encuestados se manifiesta molesto por el ruido. En el caso de la ciudad de Valdivia, más del 90% de la población considera que el ruido tiene una influencia media o fuerte en su calidad de vida.

La segunda etapa de los estudios por modelación en Chile tiene su origen en la línea de trabajo impulsada el año 2007 por el Ministerio del Medio Ambiente. El Ministerio del Medio Ambiente ha optado por la elaboración de mapas mediante un software de modelación especializado, considerando las principales conurbaciones de cada una de las regiones del país, y ha impulsado en los últimos años una secuencia de proyectos para obtener mapas de ruido.

De esta forma se desarrollaron los mapas de ruido de Antofagasta y Providencia en 2009 [CONAMA 2010] y el de la comuna de Santiago de 2010 [MMA 2010]. Finalmente, se elaboró el mapa de ruido del Gran Santiago [MMA 2011], el que ha sido el mayor proyecto de este tipo en el país. Este proyecto contempló realizar, para el período diurno, un mapa de ruido por modelación para una zona urbana de 1.000 Km², aproximadamente [Suárez et. al. 2014]. La información para la realización de la modelación acústica contempló la categorización de vías de flujo vehicular y fue realizada usando el software CadnaA, de la empresa Datakustik.

La elaboración de mapas de ruido en Chile lleva varios años, incluyendo además otros estudios a los ya mencionados, como mapas de ruido de la ciudad de Valdivia (2001, 2011, 2013) y Puerto Montt (2008), ciudades más pequeñas como Castro [Suárez et al. 2005], y también de otras zonas urbanas. Algunos se realizaron con mediciones y otros por modelación.

Actualmente el mayor desarrollo de mapas de ruido es el realizado por el Ministerio del Medio Ambiente, que ha impulsado su elaboración por modelación orientada a mejorar la información ambiental y a establecer medidas de gestión en diversos ámbitos normativos.

4.2. Aspectos tecnológicos de los proyectos de mapas de ruido

La realización de un mapa de ruido es un ejercicio complejo, ya que requiere una gran cantidad de datos, tanto del terreno como de las fuentes de ruido y, además, un profundo conocimiento de los fundamentos de la emisión acústica y la propagación del sonido. La gestión del ruido puede ser un serio problema para grandes áreas de terreno y donde se requieran resultados más detallados.

Reconociendo las posibles dificultades la Comisión Europea creó en 1998, con motivo de la conferencia de Copenhague, la Red de Expertos de ruido de la UE. La misión de esta Comisión era prestar asistencia en el desarrollo de la política europea sobre el ruido, en cinco grupos de trabajo (GT), que reunían expertos designados por los organismos ambientales nacionales de los diferentes países de la UE comenzaron a trabajar a finales de 1999. Unos de estos grupos se centró en cuestiones de mapeo del ruido, el Working Group on Noise Mapping. Estos grupos dieron lugar en 2002 al GT sobre Evaluación de la exposición al ruido (WG -AEN) y el GT sobre Salud y Aspectos Socio- Económicos (WG- HSEA). En 2008 tales grupos se combinan bajo la Agencia Europea de Medio Ambiente en el Panel de Expertos en Ruido (EPoN), el cual continúa su trabajo hasta el día de hoy.

La Directiva Europea [END 2002] requiere los mapas estratégicos de ruido para fines de gestión del ruido y de planificación, los cuales deben ser seguidos por planes de acción con un enfoque especial en las zonas donde se identifican los problemas. Estas dos etapas, que van desde el diagnóstico hasta el diseño de las medidas de reducción del ruido, requieren en la práctica diferentes formatos de los mapas de ruido. El formato de “mapa estratégico” es un mapa macro donde las áreas con altos y bajos niveles sonoros se perciben claramente y donde los problemas se identifican cuando se exceden los límites de ruido. No es necesario mucho detalle en este caso. De hecho, para grandes superficies, un detalle más fino significa enormes tamaños de las bases de datos y tiempos de cálculo más altos. Evidentemente, para las grandes ciudades esto constituye un serio problema. Sin embargo, el detalle es sólo necesario en la etapa de acción, cuando se estudian y diseñan las medidas de reducción del ruido y cuando la optimización técnica y económica es crucial. La mejor práctica para los municipios es, generalmente, un procedimiento que consta de dos partes: una primera fase de los mapas estratégicos de ruido y una segunda etapa de mapas de ruido detallados en aquellas zonas donde se identificaron problemas. Sólo estos mapas detallados son útiles para la planificación urbana.

Tal vez la tarea más compleja en un proyecto de mapas de ruido es la recopilación y gestión de los datos. El WG - AEN publicó entre el 2006 y 2007 (siendo la última versión de agosto de 2007), una guía de buenas prácticas para la confección de mapas de ruido que proporciona recomendaciones en una gran variedad de situaciones [WG-AEN 2007]. Este documento todavía se utiliza en todo el mundo, ya que abarca muchas situaciones donde los datos para elaborar un mapa de ruido no están disponibles, son escasos, insuficientes o incluso erróneos. En 2008, este grupo de trabajo elaboró una guía práctica sobre la presentación de la información de los mapas de ruido para el público en general [WG-AEN 2008].

Los datos necesarios dependen también de los métodos de cálculo. Los mapas de ruido comenzaron a elaborarse de las mediciones utilizando algoritmos matemáticos para extrapolar los valores entre los puntos de referencia. Este es un ejercicio muy pesado y costoso si se necesita estudiar grandes superficies, con el inconveniente añadido de ser un resultado estático, difícil de actualizar. Con el desarrollo de los computadores más rápidos y más baratos en la década de 1990, los mapas de ruido comenzaron a ser elaborados mediante el modelado y simulación en computador. Los mapas de ruido del aeropuerto de Lisboa se elaboraron por primera vez en la década de 1980 y más tarde entre 1992 y 1993 a partir de mediciones, pero la siguiente etapa, desarrollada en el año 1996 dentro del proyecto de mapeo de ruido de la ciudad, ha sido realizada por computador. Aun así, Madrid realiza su primer mapa de ruido a gran escala

en la década de 2000, a partir de mediciones, un método que más tarde se abandonó. Varios programas computacionales para mapas de ruido están disponibles desde la década de 1980, los cuales se actualizan muy a menudo aprovechando los avances de la computación y del hardware. Estos programas permiten el cómputo de los niveles de emisión y la propagación del ruido por, prácticamente, todos los procedimientos de cálculo disponibles.

A lo largo de los años, se han desarrollado en el mundo algoritmos de cálculo para la predicción de las emisiones de ruido, tanto en el transporte como en la industria. Se han desarrollado y adoptado en diferentes países procedimientos nacionales de cálculo para el ruido de tránsito, de trenes, de las aeronaves y de las fuentes industriales. La norma 9613 de la ISO [ISO 1996], considera emisiones y propagación de fuentes puntuales y es recomendada por la Directiva Europea [END 2002], para fines de predicción del ruido industrial. La END se aplica en la zona Europea con la intención de comparar y estandarizar los resultados. Por lo tanto, aunque la directiva recomienda métodos de cálculo provisionales cuando no se hayan adoptado métodos nacionales, se declara la intención de establecer métodos de cálculo europeos armonizados para ser utilizado por todos los Estados miembros de la UE. El proyectos Harmonoise (2001-2004) [HARMONOISE 2004] y más tarde el Imagine (2004-2007) [IMAGINE 2007], configuraron la base científica para un método de cálculo europeo, materializado en el procedimiento armonizado CNOSSOS-UE en 2012 [CNOSSOS 2012]. Este método está siendo probado y optimizado por los fabricantes de software, con el fin de ser utilizado ampliamente en la próxima ronda de la cartografía europea sobre el ruido en el año 2017. La siguiente tabla se expone un resumen de los principales algoritmos de cálculo que han sido usados en la elaboración de mapas estratégicos de ruido.

Tabla 1: Algunos modelos de predicción del ruido usados en la elaboración de mapas estratégicos de ruido en varios países.

| Tipo de fuente | Modelo | País |
|--------------------|---------------------------------------|---|
| Ruido de Carretera | ASJ RTN 2009 | Japón |
| | CoRTN | Reino Unido |
| | HARMONOISE/IMAGINE | Unión Europea |
| | NMPB 2008 | Francia |
| | Nord 2000 | Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega, Suecia |
| | RLS90/VBUS | Alemania |
| | RMW | Holanda |
| | RVS 3.02/4.02 | Austria |
| | STL97, SonRoad | Suiza |
| | FHWA TNM | Estados Unidos |
| | HJ 2.4 - 2009 | China |
| ODM 218. 013-2011 | Rusia | |
| Ruido Industrial | HARMONOISE/IMAGINE | Unión Europea |
| | ISO 9613 | Internacional |
| | VDI 2714/VDI 2720/DIN 18005/ TA-Laerm | Alemania |
| | OeAL 28 | Austria |
| | BS 5228 | Reino Unido |
| | NMPB08 - Industry | Francia |
| | CONCAWE | Internacional |
| Ruido Ferroviario | CRN | Reino Unido |
| | HARMONOISE/IMAGINE | Unión Europea |
| | Nord 2000 | Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega, Suecia |
| | ONRegel 305011 | Austria |
| | RMR/SRMII | Holanda |
| | Schall 03/VBUSch | Alemania |
| | Semibel | Suiza |
| | FERR3 | Portugal |
| | NFS 31-133 | Francia |
| | FRA-HSGT 2005 | Estados Unidos |
| Ruido de Aviones | VBUF-AzB 2006 | Alemania |
| | OAL 24 | Austria |
| | ECAC Doc. 29 – ICAO doc. 9911 | Unión Europea |
| | HARMONOISE/IMAGINE | Unión Europea |

Las discusiones sobre el nuevo método de cálculo Europeo fueron largas y difíciles. Al parecer, los aspectos más conflictivos que surgieron frecuentemente tenían relación con la búsqueda de precisión, lo que puede requerir más datos y cálculos más detallados, en contra de los costos y los tiempos de cálculo. Incluso con los actuales computadores, las grandes bases de datos y distribuciones densas de puntos pueden conducir a grandes tiempos de cálculo y los datos detallados pueden ser difíciles o muy costosos de obtener. Por lo tanto, algunos compromisos se

han alcanzado en el método de CNOSSOS-EU y el experto en mapas de ruido tendrá que lidiar con el paradigma tradicional de la ingeniería: precisión versus costos. De hecho, un resultado de alta precisión no es necesario en la fase estratégica, donde una visión macro es el objetivo principal. Sin embargo, una precisión relativamente alta será necesaria a nivel de detalle, cuando se diseñan las medidas de reducción de ruido y cuando se evalúan los beneficios.

Fuera del espacio europeo, en el que no existe la obligación de seguir un determinado procedimiento, están disponibles un número interesante de métodos y modelos para su uso en carreteras y para el cálculo del ruido ferroviario. Para el ruido industrial, existe un consenso en el uso de la norma ISO 9613. Asimismo, para el ruido de los aviones, el método de la ECAC (2005) concita el apoyo de la mayoría de las administraciones aeroportuarias en todo el mundo.

4.3. Ejemplos de mapas de ruido a ser analizados

Considerando que los mapas de ruido son herramientas poderosas para la gestión del ruido y para la planificación urbana, las ciudades usan sus mapas de ruido interactivamente para que los ciudadanos puedan valorar la información del ruido ambiental online.

La información de los mapas ayuda a las autoridades locales para autorizar procesos y están frecuentemente unidas a los planes sobre el uso de suelo (equivalentes a los planes reguladores de los municipios en Chile).

En este proyecto se planteó como objetivo identificar y analizar algunos buenos ejemplos de ejercicios de mapas de ruido existentes en el mundo. En esta etapa, se contó con la asesoría del experto internacional, quien orientó la identificación en base a su experiencia previa. Para estos efectos se eligieron 12 ciudades que hayan realizado mapeos de ruido relevantes. Se agruparon en tres categorías (pequeños, medianos y grandes núcleos urbanos), dependiendo del número de habitantes, considerando 4 ciudades en cada grupo. La siguiente tabla muestra las ciudades elegidas.

Tabla 2: Ciudades consideradas como ejemplos de mapas de ruido relevantes.

| Categoría | Ciudad | País | Habitantes |
|--|------------------|----------|------------|
| Pequeña (menor a 140.000 habitantes) | Funchal, Madeira | Portugal | 111.000 |
| | Albufeira | Portugal | 39.000 |
| | Odivelas | Portugal | 133.000 |
| | Faro | Portugal | 80.000 |
| Mediana (mayor a 140.000 y menor que 1.200.000 de habitantes) | Almada | Portugal | 160.826 |
| | Bruselas | Bélgica | 950.000 |
| | Dublín | Irlanda | 528.000 |

| Categoría | Ciudad | País | Habitantes |
|---|-----------------|------------|------------|
| Grandes (mayores de 1.200.000 de habitantes) | Vitoria-Gasteiz | España | 242.000 |
| | Berlín | Alemania | 3.350.000 |
| | Madrid | España | 3.100.000 |
| | Londres | Inglaterra | 8.300.000 |
| | Fortaleza | Brasil | 3.600.000 |

4.3.1. Ciudades pequeñas

Las ciudades Europeas de este tamaño no están obligadas a elaborar mapas estratégicos de ruido. Se les exige sólo en algunos países, como en Portugal y en Polonia, aunque con algunos requisitos más claros [Oliveira et al. 2008]. Algunas ciudades pequeñas en Alemania también han desarrollado mapas, pero principalmente en aquellas zonas donde se sospecha que existen problemas de ruido. Los Países Bajos han mapeado la mayor parte de su territorio, ya que está atravesada por las carreteras y líneas de ferrocarriles internacionales, además de ser afectada enormemente por el ruido del aeropuerto de Schiphol (Amsterdam). Por este motivo, no es fácil identificar ejemplos en el mundo para este tipo de ciudades.

4.3.1.1. Funchal, Madeira, Portugal

Funchal es la capital de la isla de Madeira y tiene alrededor de 100.000 habitantes. En este caso, en el desarrollo de los mapas de ruido debieron enfrentarse algunas dificultades particulares. El municipio cuenta con un centro densamente urbanizado, mientras que la mayor parte del terreno está ocupada por bosques. La orografía es muy irregular, con características de tráfico a menudo fuera de los estándares habituales. Se debieron elaborar una serie de hipótesis durante la construcción del modelo y del cálculo. Se siguió un procedimiento de validación basado en mediciones de ruido [Funchal 2010].

El Ayuntamiento publica los mapas de ruido en línea de forma interactiva, para que el usuario pueda tener información directa sobre los niveles de ruido al buscar una calle en particular [Funchal 2014].

4.3.1.2. Albufeira, Portugal

Albufeira es una ciudad ubicada en la zona turística de Algarve. El ruido proviene fundamentalmente del ruido de tránsito, con una limitada influencia de ferrocarriles y de la industria.

El ambiente de ruido es marcadamente diferente durante las temporadas festivas, en verano, y durante el invierno. También su población se duplica durante el verano. El Consejo Municipal decidió realizar mapas de ruido para estas dos estaciones del año con interesantes resultados. El Municipio utiliza los mapas de ruido con el propósito de planificación urbana [Albufeira 2013].

4.3.1.3. Odivelas, Portugal

Esta es una pequeña ciudad portuguesa fronteriza con Lisboa. La mayoría de los habitantes trabajan en Lisboa, por lo que la movilidad y transporte de la población es el gran culpable de la generación del ruido. El aeropuerto de Lisboa también juega un papel relevante en el ruido ambiental.

En este caso, la recolección de datos fue realmente un reto, ya que el ruido ambiental se relacionaba con el aeropuerto (ubicado fuera de los límites de la ciudad) o bine al tránsito de la carretera principal (que es administrada por la autoridad nacional de carreteras). Esto limitaba severamente el uso de los mapas más allá del ámbito del diagnóstico, ya que las acciones para la gestión del ruido y su control estaban fuera de las facultades del consejo de la ciudad [Odivelas 2009].

4.3.1.4. Faro, Portugal

Faro es una ciudad portuguesa, capital de la región del Algarve, y posee casi 65.000 habitantes. Junto a la ciudad se ubica una laguna que comprende una reserva natural de aves migratorias de 170 km².

El mapa de ruido fue una iniciativa de la Cámara Municipal de Faro para elaborar un Plano de Urbanización del núcleo urbano de la ciudad, acorde a una estrategia nacional de desarrollo sustentable. El mapa fue elaborado bajo las disposiciones del Reglamento General de Ruido. En esta caso, se declaró que la cartografía del ruido ambiente exterior era el instrumento indispensable para la integración de la componente acústica del medio ambiente para el ordenamiento territorial.

El mapa se utiliza para resaltar las áreas del territorio donde se supera un límite de ruido, impidiendo de este modo la autorización de nuevas áreas residenciales, escuelas u hospitales. El mapa de ruido también permite la evaluación preliminar de los impactos acústicos [Faro 2005].

Los datos están disponibles en línea superpuestos en un mapa que incluye otra información urbanística relevante [Faro 2014].

4.3.2. Ciudades de tamaño medio

4.3.2.1 Almada, Portugal

El municipio de Almada, situado a orillas del río Tajo frente a Lisboa, cuenta con más de 160.000 habitantes y una gran superficie, así que su densidad de población es lo suficientemente baja para no calificar en la definición de aglomeración para la aplicación de la Directiva Europea (END, 2002). No obstante, el Ayuntamiento ha promovido desde la década de 2000 un programa integral de gestión del ruido para todo el municipio, con mapas de ruido a gran escala concluidos en 2004-2005 [Almada 2014^a], [Almada 2014b]. Los mapas de ruido se realizaron en dos formatos: estratégicos y detallados [Almada 2004], [Almada, 2007] [Almada 2013].

Los mapas de ruido son accesibles en línea y son interactivos, por lo que los ciudadanos pueden comprobar los niveles de ruido en la fachada de su casa. Desde sus primeras etapas los mapas de ruido se han utilizado para la comunicación con los ciudadanos, en relación con los nuevos proyectos de desarrollo urbano y para responder a las quejas por ruido. El Ayuntamiento utiliza los mapas de ruido para fines de otorgar permisos municipales y para el

desarrollo urbano. En la actualidad se están planificando nuevas zonas de bajo ruido utilizando los mapas de ruido como herramientas de diseño.

El municipio se ve afectado por el ruido de las carreteras principales (autopistas), haciendo la recolección de datos desde la autoridad vial nacional uno de los principales desafíos, al cual también se enfrentan muchas ciudades de mayor tamaño.

4.3.2.2. Bruselas, Bélgica

Los mapas de ruido de Bruselas se completaron por primera vez en 2006 [Brussels 2010]. Aunque la región de Bruselas es bastante grande, los mapas de ruido abarcaron solamente la ciudad de Bruselas (Région de Bruxelles Capitale). La elaboración de los mapas de ruido enfrentó problemas relacionados el ruido del tráfico aéreo desde el aeropuerto, ya que se encuentra fuera de los límites de la ciudad. Además, Bruselas cubre diferentes regiones y, tanto los datos del terreno como las fuentes de ruido, podían ser de orígenes compartidos o pertenecen a regiones diferentes de donde se evalúa el ruido [Bourbon 1998]. Algunos de estos problemas se habían experimentado antes en la elaboración del mapa de ruido de Lisboa y muchas discusiones tuvieron lugar entre los equipos de CAPS-IST (responsables de los mapas de ruido de Lisboa) y el IBGE (responsable de los mapas de ruido de Bruselas).

El intercambio de datos entre las regiones o ciudades vecinas puede ser un problema grave, ya sea dentro de la misma nación, o bien cuando diferentes países están involucrados [Bruselas 2014a], [Bruselas 2014b].

4.3.2.3. Dublín, Irlanda

Los mapas de ruido de Dublín [Dublín 2014a], [Dublín 2014b], fueron elaborados de acuerdo a los requerimientos de la Directiva Europea [END 2002]. La ciudad de Dublín muestra una mezcla balanceada entre densas áreas residenciales y tranquilos parques urbanos.

Los mapas de ruido son validados instantáneamente por una red de monitoreo distribuida en la ciudad, la cual suministra la información en tiempo real [Dublín 2014c]. En este caso, los mapas de ruido han sido usados para la definición de zonas silentes.

4.3.2.4. Vitoria-Gasteiz, España

Vitoria-Gasteiz se encuentra en el País Vasco, al norte de España, y corresponde a una antigua ciudad industrial que está siendo renovada, convirtiéndose cada vez más en una ciudad muy moderna. El Consejo de la ciudad está muy preocupado de la calidad de vida de los ciudadanos y promueve todas las acciones que llevan a reducir las emisiones de ruido. La ciudad fue nominada Ciudad Capital Verde Europea (European Green Capital City), en 2012.

Los mapas de ruido se elaboraron respetando los requerimientos de la Directiva Europea, pero también con el objetivo de ser utilizados como herramientas para el desarrollo urbano, para la comunicación con los ciudadanos, y para el diseño de nuevos planes regulatorios.

Los mapas de ruido están publicados y disponibles en línea para el acceso del público en general [Vitoria-Gasteiz 2014].

4.3.3. Grandes ciudades

4.3.3.1. Berlín, Alemania

La elaboración del mapa de Berlín respondió a una decisión de las autoridades gubernamentales para cumplir con las directrices europeas de acuerdo a un plan preestablecido. El plan apuntaba a crear mapas estratégicos de ruido y entregar las evaluaciones estadísticas relacionadas considerando la exposición de la población, edificios, escuelas y hospitales, para proponer los planes de acción correspondientes.

Dado que Alemania es un país líder tecnológico y del desarrollo de software de modelación, normativas y algoritmos de predicción propios, se consideró interesante analizar el ejercicio de su mapa estratégico de ruido. En particular, la multiculturalidad de Berlín y su gran población que supera los 3 millones de habitantes, la hace una ciudad relevante en este estudio. Los mapas completos de la ciudad de Berlín están disponibles en Internet [Berlín 2015].

4.3.3.2. Madrid, España

Madrid, con sus más de 3 millones de habitantes y una extensión de 650 km², es una de las mayores ciudades de Europa. La administración responsable de la elaboración y revisión de los mapas de ruido es el Ayuntamiento de Madrid.

El proyecto de mapas de ruido de Madrid, elaborado con una técnica híbrida, tiene una característica especial respecto a otros mapas de ruido. El Ayuntamiento de Madrid revisó el Mapa de Ruido elaborado en 2006 y aprobó el nuevo mapa de 2011 [Madrid 2011] en 2013. Este instrumento cartográfico se elaboró a partir del Sistema de Actualización Dinámica del Mapa Acústico de Madrid (SADMAM), que es un diseño cuyo objetivo es cumplir con las exigencias establecidas en la Legislación de la UE y en la Ley del Ruido, en el menor tiempo posible, con una mayor fiabilidad que los procedimientos tradicionales que utilizan exclusivamente modelos informáticos predictivos. Los mapas completos de todos los barrios y Distritos de la ciudad de Madrid se encuentran disponibles en la web [Madrid 2015].

4.3.3.3. Londres, Inglaterra

El proyecto del mapa de ruido de la ciudad de Londres fue en su inicio muy desafiante. La ciudad cubre una extensa área y es en realidad un conjunto de municipios. Así, se previó una serie de problemas relacionados con los órganos responsables para la recolección de datos y el posterior cálculo. Sin embargo, para el conjunto del Reino Unido, los mapas de ruido se llevaron a cabo por el Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales (DEFRA). Resultó ser una tarea gigantesca respecto a la recopilación de datos y su gestión, servicios de informática y software, y la gestión general del proyecto.

Pero por otro lado, los problemas logísticos del intercambio de datos no fue un problema, ya que la misma organización fue responsable de toda la zona así como de las vecinas. El proyecto de gestión del ruido de Londres fue único en Europa ya que la responsabilidad de su elaboración no radicaba en el Consejo de la ciudad, si no en una organización nacional. Esto ciertamente alivió las restricciones financieras y los problemas de comunicación con otros organismos, como aquellos responsables de las ciudades vecinas o de las grandes infraestructuras de transporte [Londres 2014].

4.3.3.4. Fortaleza, Brasil

Fortaleza es una ciudad del noreste de Brasil, con varios problemas relativos a la contaminación acústica. Una iniciativa de la Consejería del Medio Ambiente llevó a la elaboración de los mapas de ruido de la ciudad. Esta fue la primera ciudad brasileña en elaborar un mapa de ruido a gran escala [Chaves Brito et. al 2010].

El proyecto de mapas de ruido se enfrentó a una serie de retos en relación con los datos de los suelos y las emisiones de ruido, los métodos de cálculo y algunos aspectos prácticos. Se adoptó finalmente un procedimiento de optimización de ingeniería para superar los problemas de datos.

Con los resultados se creó un sitio específico para la difusión de los mapas de ruido (aunque al momento de escribir este reporte, el sitio no contenía la información completa).

4.4. Análisis de los ejemplos de mapas de ruido

A continuación se analizan las ciudades seleccionadas en este proyecto como buenos ejemplos de ejercicios de mapas de ruido existentes en el mundo. Algunos de estos ejemplos han sido discutidos en el pasado [Ripoll 2005]. Se incluye, al final de la descripción de todos los casos, una tabla con un resumen de los principales detalles de cada mapa.

4.4.1. Funchal

El Consejo de Funchal ocupa una superficie de 76 km², dividido en 10 barrios (freguesias), y ubicada en la parte central de la isla de Madeira, en Portugal. Una parte importante de la superficie es ocupada por una zona de tipo forestal/rural. La mayor parte de las fuentes de ruido se ubican en la zona sur, de características urbanas y mixtas.

Para las fuentes de tránsito de carretera se consideraron el flujo medio, porcentaje de vehículos pesados, velocidades de circulación, tipo de flujo existente, ancho de las vías, gradiente de las vías, tipo de pavimento, efecto de reflexiones en edificios próximos a las vías y condiciones meteorológicas. No existen fuentes de tipo ferroviario ni aéreo en el municipio. Para las fuentes de actividades industriales se consideró el tipo de fuente y su dimensionalidad, espectro de potencia, tipo de suelo circundante y condiciones meteorológicas. Se consideró solamente dos fuentes industriales (de producción de áridos), que aportaban significativamente al ruido ambiental del municipio y que funcionaban continuamente, pero sólo durante la jornada diurna.

Los datos cartográficos de base fueron suministrados digitalmente por la Cámara Municipal de Funchal. No se identificaron barreras acústicas en el municipio y solamente se incluyeron barreras en la modelación de las entradas y salidas de túneles, para representar mejor el efecto de radiación de éstos.

Para los cálculos del ruido de carretera se adoptó el modelo francés NMPB-Routes-96/XPS 31-133, conjuntamente con los datos de emisión de la guía CETUR 1980. Cada segmento de carretera incluyó los datos de perfil transversal de la vía, gradiente, velocidad media, condiciones de aceleración y composición del tráfico. Se utilizó el método de conteo de vehículos en diferentes puntos y a diferentes horas del día para la caracterización del tránsito medio. Para el cómputo del ruido industrial se usó la norma ISO 9613 partes 1 y 2.

Para la elaboración del mapa se utilizó como indicador base el nivel LA_{eq} de larga duración, para la obtención del L_{den} y L_n . Los puntos de cálculo se desarrollaron en una cuadrícula regular de 5 m x 5 m, tridimensional. Los niveles de ruido se calcularon a una altura de 4 m.

Para la modelación se consideraron en total 194 km de carreteras, 125.627 edificios, 106 viaductos y 505 m de barreras, contemplando 1158 segmentos de carreteras, 15 segmentos de vía férrea y 2 fuentes industriales. El software usado para modelar fue CADNA A en la versión 3.72.131, ajustado en algunos aspectos para el caso del Municipio de Funchal.

Para la validación se midió los niveles de ruido en 40 puntos representativos del área mapeada, durante los tres periodos del día.

4.4.2. Albufeira

Un aspecto interesante del área del Consejo de Albufeira es que es predominantemente rural. Las principales fuentes de ruido consideradas en la elaboración de los mapas de ruido fueron las carreteras, redes ferroviarias y el ruido de establecimientos de entretenimiento (principalmente bares).

Para las fuentes de tránsito de carretera se consideraron el flujo medio, porcentaje de vehículos pesados, velocidades de circulación, tipo de flujo existente, ancho de las vías, gradiente de las vías, tipo de pavimento, efecto de reflexiones en edificios próximos a las vías, tipo de suelo circundante y condiciones meteorológicas. En el caso de tránsito ferroviario se consideraron la tipología de construcción de las vías férreas, tipo de carril, tipo de material circundante a las vías, velocidades de circulación, presencia de curvas, presencia de viaductos o puentes, tipo de suelo circundante y condiciones meteorológicas. Para las fuentes de actividades de entretenimiento se consideró el tipo de fuente y su espectro de potencia, el efecto de reflexiones, tipo de suelo circundante y condiciones meteorológicas.

La información cartográfica de base fue suministrada digitalmente por la Cámara Municipal, incluyendo datos altimétricos. Los datos del número medio de pisos por edificio se estimaron de los datos censales de 2001 del Instituto Nacional de Estadísticas de Portugal. Las barreras acústicas fueron identificadas e integradas al modelo acústico. La digitalización de las vías férreas fue efectuada sobre el trazado planimétrico de las vías.

Para los cálculos del ruido de carretera se adoptó el modelo francés NMPB-Routes-96. Los valores de velocidades medias de circulación, condiciones de aceleración y tipos de pavimento fueron observados in situ. Se contabilizó el tráfico vehicular en 60 puntos, para invierno y verano.

Para la modelación de ruido ferroviario se identificaron cinco tipos de trenes y sus velocidades de circulación fueron obtenidas de las tablas oficiales de velocidades máximas y verificadas in situ. Para el cálculo se usó el modelo alemán Schall 03 y el modelo portugués FERR3 desarrollado en el Instituto Superior Técnico de Lisboa. Los resultados del modelo combinado son equivalentes al de la norma holandesa [RMR96/SRMII 1996].

Las fuentes de ruido de entretenimiento fueron definidas a partir de una campaña de mediciones y se determinaron los horarios de funcionamiento. Para el cómputo de las éstas fuentes se usó la norma ISO 9613. Para el cómputo de los factores relacionados con la propagación sonora se utilizó la metodología establecida en la norma ISO 1996 e ISO 9613-2.

Para la elaboración del mapa se utilizó como indicador base el nivel LA_{eq} , para la obtención del L_{den} y L_n . Dada las condiciones turísticas de la ciudad que producen acentuadas diferencias de ocupación humana de la ciudad, se consideraron dos periodos anuales: verano e invierno.

Los puntos de cálculo se desarrollaron en una cuadrícula regular de 10 m x 10 m, y en un espacio tridimensional. Se realizaron pruebas con retículas de 15 m x 15 m y 20 m x 20 m, para disminuir el tiempo de cómputo. Los niveles se calcularon a una altura de 4 m.

Para la modelación se consideraron en total 186 km de carreteras, 17 km de vías férreas, 38 fuentes de entretenimiento, 50.863 edificios, 27 puentes y 3,7 km de barreras acústicas. El software usado para modelar fue CADNA A en la versión 4.3.143, ajustado en algunos aspectos para el caso de Albufeira.

Para la validación se midió los niveles de ruido en 21 puntos para el tráfico ferroviario y 28 puntos para fuentes de entretenimiento. En el año 2012 se realizó una rectificación a la base de datos del tráfico ferroviario.

4.4.3. Odivelas

En el caso del área del Consejo de Odivelas, esta ciudad presenta una tipología mixta, rural, urbana y suburbana, aunque por muchos años se consideró una ciudad dormitorio. Las principales fuentes de ruido consideradas en la elaboración de los mapas de ruido fueron las carreteras, redes ferroviarias, el tráfico aéreo del aeropuerto de Portela de Lisboa.

Para las fuentes de tránsito de carretera se consideraron el flujo medio, porcentaje de vehículos pesados, velocidades de circulación, tipo de flujo existente, ancho de las vías, gradiente de las vías, tipo de pavimento, efecto de reflexiones en edificios próximos a las vías, tipo de suelo circundante y condiciones meteorológicas. En el caso de tráfico ferroviario se consideraron la tipología de construcción de las vías férreas, tipo de carril, tipo de material circundante a las vías, velocidades de circulación, presencia de curvas, presencia de viaductos o puentes, tipo de suelo circundante y condiciones meteorológicas. Para la caracterización del ruido producido por el tráfico aéreo se consideraron la localización y geometría de las rutas de vuelo, tipo de operación, tipo de aeronave, número de aeronaves por ruta y por operación y el régimen de vientos dominante.

Los datos cartográficos de base fueron suministrados digitalmente por la Cámara Municipal de Odivelas, incluyendo información altimétrica. Los datos de altura de edificios también fueron aportados por el municipio. Las barreras acústicas fueron identificadas e integradas al modelo acústico. La digitalización de las vías férreas fue efectuada sobre el trazado planimétrico de las vías.

Para los cálculos del ruido de carretera se adoptó el modelo francés NMPB-Routes-96/XPS 31-133. Los valores de velocidades medias de circulación, condiciones de aceleración y tipos de pavimento fueron observados in situ. Se contabilizó el tráfico en 80 puntos, y se obtuvieron datos adicionales del sistema telemático de carreteras. En total se consideraron 394 segmentos de vías.

En el caso de tráfico ferroviario se identificó solo un tipo de tren que corresponde a los que circulan por una línea del metro de Lisboa, con un largo de 48,5 m y una velocidad máxima de 72 km/h. Su velocidad de circulación fue medida in situ. Para el cálculo se usó el modelo de la norma holandesa [RMR96/SRMII 1996].

Para el ruido de tráfico aéreo se identificaron pequeñas contribuciones en las operaciones de despegue y aterrizaje en el único aeropuerto cercano. Para el cálculo se usó el método internacional descrito en el documento ECAC.CEAC Doc. 29 (1997).

Para la elaboración del mapa se utilizó como indicador base el nivel LA_{eq} , para la obtención del L_{den} y L_n . Los puntos de cálculo se desarrollaron en una retícula regular de 5 m x 5 m, y en un espacio tridimensional. Los niveles se calcularon a una altura de 4 m.

Para la modelación se consideraron en total 140 km de carreteras, 1,7 km de vía férrea, 30 rutas aéreas, 31.187 edificios, 40 puentes/viaductos y 1,7 km de barreras acústicas. El software usado para modelar fue CADNA A en la versión 3.72.131, ajustado en algunos aspectos para el caso del municipio de Odivelas. Los mapas fueron elaborados para ruido global y ruido de carreteras, con L_{den} y L_e como indicadores en ambos casos.

Para la validación se midió los niveles de ruido en 13 puntos para el tráfico de carretera en tres periodos del día (diurno, atardecer y noche).

4.4.4. Faro

La ciudad de Faro, en Portugal, es la capital de la región del Algarve y posee una superficie de 201 km². Para la presentación del mapa estratégico de ruido de Faro, se dividieron los resultados en un mapa a escala municipal y otro a escala urbana. Las principales fuentes de ruido consideradas en la elaboración de los mapas de ruido fueron las carreteras, redes ferroviarias, ruido industrial y el ruido de aviones. Sin embargo, todos los datos de emisión del aeropuerto de Faro fueron suministrados por las propias autoridades aeroportuarias.

Para el mapa a escala municipal, las fuentes de tránsito de carretera consideradas fueron una autopista, carreteras nacionales y municipales, arterias urbanas con tráfico diurno superior a 500 vehículos por hora y las zonas de semáforos en las vías modeladas. En el caso de tráfico ferroviario se consideraron dos líneas férreas. Además, se incluyó el efecto del aeropuerto internacional de Faro. En el caso del mapa a escala urbana, se incluyeron todas las fuentes del mapa a escala municipal, además de todas las calles del consejo (excepto las vías no asfaltadas), nueve parques de estacionamiento, y dos industrias relevantes (de balones de gas y un aserradero).

Los datos cartográficos de base fueron suministrados digitalmente por la Cámara Municipal, incluyendo datos altimétricos.

Para los cálculos del ruido de carretera se utilizaron el modelo francés NMPB-Routes-96 y el modelo alemán RLS-90. Para la adquisición de datos se utilizó un conteo en un total de 596 puntos. En el caso de tráfico ferroviario se identificaron dos tipos de trenes y sus velocidades de circulación fueron obtenidas de las tablas oficiales de velocidades máximas y verificadas in situ. Para el cálculo se usó el modelo alemán Schall 03. Para el ruido de aviones no se contabilizó la emisión sonora del aeropuerto, pero sí las isofónicas asociadas, las que fueron suministradas directamente por el aeropuerto en periodo diurno y nocturno. Las dos fuentes de ruido industrial fueron incorporadas sólo en el mapa a escala urbana y para el cómputo se usó la norma ISO 9613-2. Los datos de potencia sonora fueron medidos in situ y el espectro de ruido solamente fue modelado en la banda de 500 Hz. Para la empresa de balones de gas se consideró una fuente lineal a 1,5 m de altura, mientras el aserradero fue modelado como una fuente puntual a 6 m de altura.

Para la elaboración del mapa se utilizó como indicador base el nivel LA_{eq} , para la obtención del L_{den} y L_n . Los puntos de cálculo se desarrollaron en una cuadrícula regular de 25 m x 25 m, y los niveles se calcularon a una altura de 4 m, para el caso del mapa a escala municipal. En el caso de escala urbana, se usó una retícula de 12 m x 12 m y los niveles se calcularon a una altura de 1,5 m.

Para la altura media de los edificios, estos se clasificaron en tres tipos: de 6 m, 15 m y 24 m, correspondientes a edificios de hasta 3, 6 y más de 7 pisos, respectivamente. El software usado para modelar fue CADNA A (no se indica versión).

Para la validación se midió los niveles de ruido en 15 puntos representativos de la ciudad en horario diurno y nocturno. En el año 2008 se realizó una adaptación del mapa al nuevo reglamento general de ruido [Rosao et al. 2008].

4.4.5. Almada

El municipio de Almada, en Portugal, posee una superficie vasta de aproximadamente 70 km². El área mapeada exhibe características diferenciadas desde el punto de vista de la tipología de usos y ocupaciones del suelo. En su zona norte el terreno posee morfología accidentada con un borde de río. La zona centro es marcadamente urbana y la zona sur tiene una densidad poblacional más alta. El resto de las zonas posee características mixtas.

Para las fuentes de tránsito de carretera se consideraron el flujo medio, porcentaje de vehículos pesados, velocidades de circulación, tipo de flujo existente, ancho de las vías, gradiente de las vías, tipo de pavimento y el efecto de reflexiones en edificios próximos a las vías. En el caso de tránsito ferroviario se consideraron la tipología de construcción de las vías férreas, la composición circulante en un trozo de línea férrea, velocidades de circulación y presencia de viaductos o puentes. Para las fuentes de actividades industriales se consideró el tipo de fuente y su dimensionalidad, espectro de potencia y el tipo de suelo circundante. Se consideró solamente dos industrias que aportaban significativamente al ruido ambiental, incluyendo la salida de vehículos pesados desde ellas, lo cual también se caracterizó para la elaboración del mapa. Se consideró que el tráfico aéreo no era relevante comparado a las otras contribuciones.

Los datos cartográficos de base fueron suministrados digitalmente por la Cámara Municipal, con fecha de 2001 y que incluían cotas de edificios. Estos datos fueron actualizados para la elaboración del mapa. Las barreras acústicas presentes en una autopista y línea férrea fueron identificadas e integradas al modelo acústico. La digitalización de las vías férreas fue efectuada sobre el trazado planimétrico de las vías.

Para los cálculos del ruido de carretera se adoptó el modelo alemán RLS-90. En el caso de tráfico ferroviario se identificaron dos tipos de trenes y sus velocidades de circulación fueron obtenidas de las tablas oficiales de velocidades máximas y verificadas in situ. Este tráfico está compuesto de solo una línea doble que atraviesa una parte de la zona noreste de la ciudad. Para el cálculo se usó el modelo alemán Schall 03 y el modelo portugués FERR3 desarrollado en el Instituto Superior Técnico de Lisboa. Para cómputo del ruido industrial se usó la norma ISO 9613-2.

Para la elaboración del mapa se utilizó como indicador base el nivel LA_{eq} de larga duración, para la obtención del L_{den} y L_n . Para obtener la representación anual de estos valores, se incluyeron en el modelo de propagación las condiciones meteorológicas a lo largo del año, que son influenciadas por el régimen de vientos principalmente. Los puntos de cálculo se desarrollaron en una cuadrícula regular de 15 m x 15 m, tridimensional. Los niveles se calcularon a una altura de 1,5 m.

Para la modelación se consideraron en total 1158 segmentos de carreteras, 15 segmentos de vía férrea y 2 fuentes industriales. El software usado para modelar fue CADNA A en la versión 3.3, ajustado en algunos aspectos para el caso del Consejo de Almada.

Para la validación se midió los niveles de ruido en 52 puntos representativos del área mapeada. Este mapa ha sido actualizado en 2007 y 2013.

4.4.6. Bruselas

Los mapas estratégicos de ruido de Bruselas-Capital fueron elaborados con el objetivo de predecir el ambiente acústico al año 2015. Se elaboró un mapa que cubrió 160 km² y 950.000 habitantes distribuidos en 19 comunas.

El método de cálculo usado para modelar el ruido de transporte terrestre fue el modelo francés NMPB-Routes-1996. Para el ruido de tranvías, metros y trenes se utilizó el modelo holandés SRMII-96 y el ruido de aviones con el ECAC, CEAC, doc. 29, 1997.

Se utilizó la base de datos georeferenciada oficial de la región de Bruselas- Capital vía el sistema denominado URBIS. Se consideró un total de 1870 km de carreteras en la región mapeada. Las vías se clasificaron en 5 categorías de acuerdo a su pavimentación.

A falta de información precisa, en el caso de transporte terrestre, los buses fueron considerados equivalente a dos automóviles y las velocidades fueron consideradas las teóricamente legales en cada vía clasificada.

La cartografía del ruido de tráfico aéreo se realizó en base a las características de ese tráfico (flujos, tipos de aeronave, etc.). Para estas características se emplearon los datos suministrados por BELGOCONTROL encargada del aeropuerto de Bruselas. Las rutas aéreas se describieron a partir de la base de datos de la autoridad aeroportuaria local y en el modelo se incorporó el 99% de las rutas. Como receptores sensibles se consideraron 509 establecimientos escolares y 36 hospitales.

La región de Bruselas incluye 220.000 edificios para los que se tenía, a través de la base de datos URBIS, la información sobre la geometría de la planta y su altura relativa. Para la elaboración del mapa, esta base de datos se simplificó a 70.000 elementos. Se aseguró una descripción precisa del tipo de terreno, la altura real de los edificios, la representación de los diversos obstáculos para la propagación y se incluyó el efecto de áreas verdes y bosques.

El software usado para modelar fue CadnaA (versión 3.7) para el ruido de transporte terrestre, y el IMMI (versión 6.2), para el tráfico aéreo, usando como interfase el SIG Arcview (versión 9.2). La cartografía del ruido se efectuó en una cuadrícula de 10 m x 10 m para transporte terrestre y de 100 m x 100 m para los aviones. Los valores se calcularon a una altura de 4 m y a una distancia de 2 m de las fachadas.

Los mapas estratégicos se presentaron con los descriptores L_{den} , L_d y L_n para ruido de carreteras, tranvías y metro, trenes, aviones y globales (incluyendo todas las fuentes). En el caso de aviones se obtuvieron mapas separados para días de semana y fines de semana. Además, la información fue presentada también en la forma de mapas de conflicto, comparando los niveles con los valores límites correspondientes a cada zona. El resultado se expresa en tres colores, indicando zonas silenciosas, calmadas y ruidosas.

Para la validación se midió los niveles de ruido en 6 estaciones de monitoreo distribuidas en la ciudad, donde la más antigua fue instalada en 1995. El primer mapa se produjo en 2001 y el final en 2006.

4.4.7. Dublin

Para los propósitos de realizar el mapa, se ha supuesto que el ruido de tráfico rodado es la fuente de ruido dominante. Por lo tanto, las fuentes originadas en trenes, aviones y ruido de industrias no se incluyeron en la evaluación.

La mayor parte de los datos de tráfico de carretera fueron suministrados por las autoridades locales. Se hicieron varios supuestos en relación con los datos, como por ejemplo: para el porcentaje de vehículos pesados (PVP), se asume que la composición es la misma durante todo el día y la noche, que la superficie de las carreteras tenían la misma composición a lo largo de todo Dublín, que la velocidad de los vehículos en la zona urbana estaba restringida a un límite de 30 mph, y que para aquellas vías que no tenían datos de flujo de tráfico se asumiría un valor de 50 vehículos/hora. Además, todos los caminos principales dentro de los límites del Municipio se introdujeron en el modelo de predicción, lo que dio lugar a 1.305 fuentes de carretera.

Para los datos del flujo de tránsito se consideraron los aforos manuales tomados entre las 8:00 y las 18:30, los recuentos automáticos de tráfico obtenidos del sistema SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System), del Ayuntamiento de Dublín y los datos derivados basados en conteos manuales de una hora y extrapolables utilizando una carta de flujo de tránsito diurno propia de Dublín. Para el ancho de la calzada se utilizó el punto medio, ya que no hay base de datos disponible sobre el ancho de las carreteras en la ciudad.

El método utilizado para calcular los niveles de ruido fue el CoRTN del Departamento de Transporte Galés en su versión 1988. Para la propagación se partió del supuesto de que la ciudad de Dublín es plana y por lo tanto no se necesita un mapa de alturas. Ya que el modelo CoRTN no requiere datos meteorológicos, éstos no se utilizaron.

Las alturas de los edificios fueron obtenidas a partir de una base de datos comprada a una empresa privada. Estas alturas se obtuvieron multiplicando el número de pisos en un edificio, considerando una altura típica para un piso de 8 pies, agregando 7 pies de espacio de ático. Todos los edificios se introducen individualmente en el software de predicción.

La distribución de la población se obtuvo del censo nacional. Las alturas de los receptores se ubicaron a cuatro metros, lo cual evitaba introducir en el modelo jardines, mobiliario urbano, etc.

Los mapas estratégicos de ruido se calcularon utilizando el modelo Predictor, con puntos receptores ubicados cada 10 metros. El área total cubierta por el proyecto de mapeo fue 146 km².

Un sistema GIS (MapInfo), integró los resultados de los modelos de ruido, las densidades de población, los datos de uso del suelo y los flujos de tráfico en una base de datos. Todos los cálculos y análisis estadísticos se realizaron con el software GIS.

Para los indicadores, el Transport Research Laboratory (TRL) en Gran Bretaña ha desarrollado factores de conversión para el indicador L_{10} de 18 horas, para poder expresarlo como L_{den} o L_n [Abbott y Nelson 2002]. A pesar de los supuestos considerados, se menciona que el resultado entregó valores fiables, ratificados por el procedimiento de validación.

4.4.8. Vitoria-Gasteiz

Las fuentes de ruido consideradas en Vitoria-Gasteiz fueron: calles, carreteras, ferrocarriles e industria. La evaluación del ruido del aeropuerto estaba en proceso de actualización, y ya que el aeropuerto está ubicado en las afueras de la ciudad, se consideró más apropiado que tuviera su propia evaluación.

Los datos de tráfico se obtuvieron de la Unidad de Movilidad y Transporte del Departamento de Urbanismo, la cual tenía los datos de tráfico diario disponibles para la mayor parte de la zona urbana. Según lo propuesto por los técnicos de tráfico, la intensidad de tráfico media diaria fue estimada como un promedio de los valores de una semana de mayo y de una semana de julio, considerándose representativos de los patrones de movilidad en dos temporadas diferentes del año.

Otros atributos específicos para cada uno de los tramos que se consideraron fueron: porcentaje de vehículos pesados, velocidad, el tipo de superficie de la carretera y el régimen de tráfico, entre otros. Para estimar el porcentaje de vehículos pesados se efectuaron estimaciones, en función de las características de las calles y de los recorridos de las líneas de autobuses. Para estimar la velocidad se ha asumido siempre un valor de 50 km/h.

La capa SIG de tráfico rodado se elaboró a partir de la información obtenida del Departamento de Obras Públicas y Transportes de la Diputación del Consejo de Álava.

Una capa GIS similar se produjo para el tráfico ferroviario con la información obtenida de RENFE (Red Nacional de Ferrocarriles Españoles). Sin embargo, RENFE ya no está proporcionando esta información pues tiene planificado producir mapas de ruido propios.

Como se mencionó anteriormente, los datos de las aeronaves se calcularon por separado ya que el aeropuerto se encuentra en las afueras de la ciudad. Se planificó incorporar los datos del ejercicio de mapeo de ruido del aeropuerto en una etapa posterior. La organización contactada para obtener la información es AENA (Aeropuertos Españoles y Aeronavegación), incluyendo la geometría estándar de aterrizaje, el tipo de aeronave y la frecuencia de los vuelos.

La cartografía básica utilizada para el mapeo de ruido se obtuvo de la Unidad de Cartografía del Departamento de Urbanismo del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz. Los datos de población se obtuvieron a partir del registro y la información catastral en el SIG municipal. No existían datos sobre el número de habitantes por edificio y sobre el número de pisos de los edificios.

Los modelos utilizados para el cálculo de la emisión de ruido para cada fuente por separado fueron el modelo Francés NMPB-Routes-96 para ruido de tráfico de carretera, para el ruido de ferrocarriles se usó el Método de Ferrocarriles Nacionales de los Países Bajos [RMR96/SRMII 1996], para el ruido industrial se empleó la ISO-9613-2 y para el ruido de aeropuertos el modelo ECAC.CEAC Doc.29.

El software de modelación acústica utilizado fue SoundPLAN. Dos mapas de ruido se produjeron para la información del público en general: un mapa con valores de L_{den} a cuatro metros sobre el suelo y el mismo mapa para valores de L_n . Los mapas con valores de inmisión de ruido aplicables a cada una de las fuentes de ruido (calles, carreteras, ferrocarriles e industria), están también disponibles para el público en general.

Se obtuvieron dos tipos de indicadores a partir del ejercicio. El primer indicador, B8, incluye los siguientes sub-indicadores:

- a. Población que vive en calles expuestas durante las 24 horas del día a un ruido superior a lo deseado como objetivo de calidad.
- b. Población que vive en calles expuestas durante el período de la noche con un nivel de ruido mayor que lo deseado como objetivo de calidad.

Estos sub-indicadores son parte del conjunto de indicadores comunes europeos, que permitirá la comparación con otros municipios de la UE.

El propósito del segundo indicador, llamado el Indicador Local de Gestión de Ruido (ILGR) es servir para la evaluación del ruido y el proceso de gestión en el municipio. Se trata de un indicador propio para Vitoria-Gasteiz que relaciona los niveles de ruido calculados a las distintas alturas de los edificios con las personas que los habitan, aplicando los criterios de calidad acústica que se han establecido como referencia para este estudio.

4.4.9. Berlín

El mapa de Berlín, capital de Alemania, fue ordenado e implementado por el Senado para salud pública, servicios sociales y protección al consumidor. El plan apuntaba a crear mapas estratégicos de ruido y las evaluaciones estadísticas relacionadas considerando la exposición de la población, edificios, escuelas y hospitales.

El área de mapeo total fue de 892 km² y se consideró, para efectos de la evaluación, que el potencial número de habitantes expuestos al ruido superó los 3,3 millones de habitantes.

Como fuentes principales de ruido se consideraron el ruido de tránsito por carreteras de automóviles y buses (autopistas y carreteras federales y carreteras municipales), con un total de 1.361,3 km, tranvías y tráfico de metro sobre superficie, con un total de 214,7 km, tráfico ferroviario (trenes de larga distancia, de carga y suburbanos), con un total de 1.066 km, ruido de aviones (aeropuerto Tegel y excluyendo el aeropuerto Schönefeld) y fuentes industriales relevantes (1 planta industrial y 18 plantas de energía).

Los datos fueron suministrados de acuerdo a las bases de datos de 2006 y los obtenidos en la elaboración de un mapa de ruido de carreteras de 2004. Los datos de tráfico ferroviario fueron preparados por el Bahn-Umwelt-Zentrum del Deutsche Bahn AG. Para el mapa se usó el modelo de terreno digital georeferenciado disponible para la ciudad (DGM25 Berlín y Brandenburg, y DGM5 Berlín). La presencia de barreras e instalaciones de aislamiento de ruido fueron determinadas de una evaluación tridimensional de fotos aéreas. Para la modelación se consideró la presencia de túneles, puentes y viaductos. Se clasificó los edificios y su uso de acuerdo a residenciales (276.511), escuelas (2.483), hospitales (762) y misceláneos (270.588), totalizando 550.344 edificios. Ya que las alturas no estaban disponibles, se empleó una función empírica ($\text{altura} = 3,2 \text{ m} + \text{número de plantas} \times 2,8 \text{ m}$) para su consideración en los modelos.

El modelo VBUS (2006) fue empleado para modelar el ruido de carreteras. Los tranvías y tráfico de metro de superficie, así como el ruido de trenes, fueron modelados usando el modelo VBUSch [VBUSch 2006], las fuentes industriales con el modelo VBUI [VBUI 2006], y el ruido de tráfico aéreo con el modelo VBUF-DES [VBUF-DES 2006].

Para la elaboración del mapa se utilizó como indicadores los niveles L_{den} y L_n . Los puntos de cálculo se desarrollaron en una cuadrícula regular de 10 m x 10 m y los niveles de ruido se calcularon a una altura de 4 m. El software usado para modelar correspondió al IMMI 6.1, tridimensional. El mapa de Berlín fue actualizado en 2012.

4.4.10. Madrid

Madrid, con sus más de 3 millones de habitantes y una extensión de 650 km², es la ciudad más grande de España y una de las mayores de Europa. Se encuentra situada en la zona central de la Península Ibérica, a una altitud de 667 m sobre el nivel del mar, en el tramo medio de la cuenca del río Tajo, uno de cuyos afluentes, el Manzanares, marca el paisaje noroeste de la ciudad. En el caso del municipio de Madrid, dividido en 21 Distritos y 128 barrios, la administración responsable de la elaboración y revisión de los mapas de ruido es el Ayuntamiento de Madrid.

Para elaborar el mapa estratégico de ruido, como fuentes relevantes se consideraron la incidencia producida por 1) el tráfico rodado que circula por la red viaria urbana (calles, avenidas y autovías de la ciudad) y por los grandes ejes viarios, de competencia municipal, de entrada y salida a la ciudad, y 2) los niveles de ruido producidos por las infraestructuras ferroviarias que registran un tráfico inferior a 30.000 trenes al año.

Otras fuentes como el aeropuerto Madrid-Barajas, las infraestructuras ferroviarias de tráfico mayor a los 30.000 trenes al año, o los tramos de las radiales que no son de competencia municipal, no se consideraron pues no es competencia municipal.

Los datos para la elaboración del modelo digital se obtuvieron de la Gerencia Municipal de Urbanismo, actualizando la información existente del Mapa Estratégico de Ruido de 2006, y los datos de las infraestructuras ferroviarias se obtuvieron de ADIF. La información de edificios y elementos relevantes para la propagación del ruido se obtuvieron de la combinación de los datos proporcionados por la Gerencia Municipal de Urbanismo y las revisiones en campo, realizadas por el Departamento de Control Acústico. Finalmente, los datos demográficos, así como la información relativa al uso de las edificaciones, los proporcionó la Dirección General Estadística.

Para las fuentes de tránsito rodado se consideraron el uso del vial, ancho de la vía, número de carriles, y la intensidad media y velocidades de circulación. Se usaron ocho tipificaciones de viales en total.

En el caso de tráfico ferroviario se consideraron la tipología de construcción de las vías férreas, la composición circulante en un trozo de línea férrea, velocidades de circulación y presencia de viaductos o puentes.

El modelo de predicción empleado para calcular las curvas de propagación por tráfico rodado es el modelo francés XPS 31-133. Para evaluar el ruido producido por el tráfico ferroviario se utilizó el método de cálculo holandés SMR/II/END, el cual fue adaptado a los tipos de trenes que circulan por Madrid. Los edificios y suelo se consideraron perfectamente reflectantes en toda la elaboración del mapa.

Para las medidas del mapa estratégico de ruido se emplearon terminales de monitoreo de ruido y un analizador portátil de ruido. Además, se empleó los datos proporcionados por el Sistema de Actualización Dinámica del Mapa Acústico de Madrid (SADMAM). Este sistema contaba con cinco vehículos instrumentados que medían la evolución de los niveles de ruido en los viales a lo largo de las 24 horas del día. Estos datos eran transmitidos a diario, vía un sistema de telefonía móvil GSM, a una central de proceso y análisis.

Para la realización de los cálculos se empleó el software de predicción LimA 7812C (versión 8.11). Se empleó una cuadrícula de 10 m x 10m para todos los distritos, con excepción del Distrito Centro donde se usó una retícula de 5 m x 5 m. Los niveles se calcularon a una altura de 4 m. Para cada barrio de los 21 Distritos se elaboró un mapa de ruido con los niveles de los indicadores L_d , L_e , L_n y L_{den} , para ruido de tránsito de carreteras y trenes.

El primer mapa estratégico de ruido aprobado por el Ayuntamiento y que cuantificó la exposición de los ciudadanos, se elaboró en 2006. El mapa oficial que se discute en esta sección fue presentado en 2011 y fue oficialmente aprobado en 2013.

4.4.11. Londres

Para este ejercicio de mapeo no se incluyó el tránsito de las vías de acceso local, ni ninguna otra fuente de ruido, tales como trenes, aviones o industriales. Para las fuentes, el Inventario de Emisiones Atmosféricas de Londres (LAEI), dio una primera aproximación de las vías a incluir, la localización de los caminos y los detalles de los flujos de tráfico. Esta información fue procesada para dar la precisión geográfica requerida. El proyecto consideró más de 5.200 km de carreteras extraídas de la base de datos LAEI, los cuales fueron representados por 120.578 segmentos de carretera con más de 21.100 diferentes flujos de tráfico. Para el cómputo de velocidad media se utilizó un rango de 20 a 106 km/hora.

En el proceso se consideraron 2.300 pantallas acústicas (incluyendo paredes lo suficientemente grandes como para funcionar como barreras), que cubrían una longitud total de unos 120 km. A toda vía con velocidad inferior a 20 km/hora se le asignó este valor. Las vías fueron clasificadas en seis categorías de acuerdo a su promedio de tráfico anual.

Como dato de superficie de carretera, se incluyeron ocho tipos de pavimentos, los cuales fueron clasificados a partir de la información que fue solicitada a los condados de Londres. Luego, un factor de corrección de ruido fue asignado a cada tipo de superficie para su uso en el modelo.

En cuanto a las condiciones meteorológicas, se supuso que los caminos están siempre secos, pero que el viento soplaba desde la carretera a la posición del receptor.

Los datos de altura se obtuvieron de la base de datos del "Ordinance Survey", para crear la representación 3D en el software NoiseMap. Para un nivel adicional de detalle, los datos de carreteras y de alturas de terraplenes se obtuvieron a partir de fotografías aéreas.

También se acordó que los terraplenes de ferrocarril actuaban como barreras acústicas importantes en muchos lugares, así que se decidió oportuno crear una representación 3D de la red ferroviaria de Londres. Se decidió que los cálculos del ruido se harían en la presunción de que la cubierta vegetal es "suave" (es decir, absorbe el sonido), a menos que se defina lo contrario.

Para el caso de apantallamiento por edificios se asumió una altura de 8 m sobre el suelo para todos ellos, dejando la posibilidad de que las alturas reales de las construcciones se pudieran añadir más tarde. Esta decisión se basó en la experiencia anterior del mapa de ruido de la ciudad de Birmingham, cuyos resultados sugieren que para los mapas estratégicos de este tipo, este supuesto proporcionaría una precisión aceptable.

Como tipología de construcción se definieron tres clases: viviendas, escuelas y hospitales. La información de la población se elaboró a partir del Censo de 2001.

El software que se utilizó para este proyecto es el NoiseMap2000 SE de WS Atkins. Una de sus fortalezas es su capacidad para trabajar con datos de SIG. La información puede ser alimentada directamente en NoiseMap2000, donde se convierte automáticamente en los objetos utilizados por la metodología CoRTN.

Los cálculos se realizaron de conformidad con la metodología descrita en el modelo CoRTN, que calcula los niveles de ruido ya sea en términos del índice LA_{10} en 18 horas o el LA_{10} en 1 hora. Para este proyecto, estos resultados fueron modificados de conformidad con un procedimiento ideado por el Transportation Research Laboratory (TRL), para derivar los índices de ruido L_d , L_e , L_n y L_{den} , como se definen por la Directiva sobre el ruido ambiental [Abbott et al 2002]. Los cálculos se hicieron sobre una cuadrícula cuadrada que cubrió la totalidad del área de cálculo, a intervalos de 10 metros y a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo.

4.4.12. Fortaleza

De los ejercicios de mapas estratégicos de ruido analizados, el de la ciudad de Fortaleza es el único que se encontraba en desarrollo al momento de definir las ciudades a estudiar. En un principio se consideró que, de acuerdo a los plazos del proyecto, el mapa estaría concluido. Por diversas razones, que se explicarán más adelante, el proyecto del mapa de ruido no alcanzó a terminar. Sin embargo, dada la relevancia del proyecto, de todas formas se ha incorporado la discusión de este proyecto en este informe.

La cartografía acústica de la ciudad de Fortaleza, ubicada en el noreste de Brasil, comenzó a desarrollarse como un proyecto único en el país, siguiendo los modelos de tipo europeo en su realización y encargada por el Municipio de Fortaleza, a través del Departamento Municipal Medioambiental. En el informe de presentación del proyecto [Fortaleza 2013], se establece que el mapa “pretende ser un instrumento para la reducción de la polución sonora y para mejorar la calidad del ambiente sonoro del municipio como herramienta de desarrollo sustentable y, como tal, de mejoría de la calidad de vida de los ciudadanos.”

Como fuentes relevantes del área del Municipio de Fortaleza, se consideraron el ruido del tránsito vial, ferroviario, aéreo, industrial, de locales de entretención y otros. Un detalle importante es que el aeropuerto internacional Pinto Martins está ubicado dentro de la ciudad. Una de las fuentes más importantes de ruido en la ciudad se ha definido como los de locales de entretención (que corresponden a casi el 40% de las denuncias por ruidos molestos) y los permanentes conciertos musicales en la ciudad. En la elaboración del mapa, se cuenta con la asesoría de un experto del IST de Lisboa, Portugal. El mapa cubre una superficie de 322 km², que corresponde a la totalidad de la ciudad de Fortaleza (315 km²), además de unas pequeñas áreas residenciales ubicadas en la periferia.

La cartografía digital de la ciudad, que tenía datos de 1996, fue obtenida de las autoridades locales y actualizada. El modelo usado para el ruido de carretera es el RLS90. Para el ruido ferroviario se usa el modelo Schall 03, mientras que para modelar el ruido de aviones se usa el modelo ECAC.CEAC Doc.29. Para las fuentes industriales y de locales de entretención se emplea la ISO 9613-2. Los indicadores usados serán L_d y L_n . Para la realización del mapa se ha utilizado CadnaA (versión 3.7). Los puntos de cálculo se desarrollan en una cuadrícula regular de 5 m x 5 m y los niveles de ruido se calcularon a una altura de 1,5 m. Actualmente, se están desarrollando cálculos a una altura de 4 m.

El resultado se validará sobre la base del programa de mediciones acústicas que se realizará en dos periodos (día y noche), en varios lugares de la ciudad previamente seleccionados. La selección de donde se toman las mediciones acústicas se llevará a cabo, en principio, al azar, aunque otros lugares serán determinados para representar adecuadamente lugares críticos o cuando los problemas de ruido son más sensibles.

Algunos mapas preliminares han sido elaborados [Chaves Brito et al 2010], en particular para las fuentes de locales de entretención (el festival de música de Ceará), el efecto del tren suburbano en un hospital (estación Couto Fernandes), el aeropuerto y residencias cercanas.

En un principio se estableció disponer los mapas preliminares en el sitio web de la ciudad de Fortaleza, los cuales estuvieron disponibles para la información de los ciudadanos. Sin embargo, al momento de escribir este reporte, los sitios no estaban funcionando. Un nuevo sitio web ha comenzado a implementarse con los resultados del proyecto [Fortaleza 2015].

Una de las razones por la cuales el resultado final ha demorado fueron las elecciones en el Municipio, cambios políticos que hicieron el trabajo más lento. Por muchos meses, el Departamento Municipal Medioambiental pareció perder todo interés en la realización del mapa, aunque ahora parece retomar fuerza el proyecto.

Tabla 3: Resumen de los principales aspectos de los mapas de ruido analizados.

| Ciudad | País | Habitantes | Superficie mapeada | Descriptorios usados | Modelo usado | Software usado | Año de elaboración | Tamaño de cada grilla | Altura sobre el suelo |
|-----------|----------|------------|---------------------|---|--|--------------------|--------------------|---|---|
| Funchal | Portugal | 111.000 | 74 km ² | Lden, Ln | NMPB-Routes-96/XPS 31-133 ISO9613 (para industrias) | CADNA A (3.72.131) | 2010 | 5 m x 5 m | 4 m |
| Albufeira | Portugal | 39.000 | 142 km ² | Lden, Ln (ambos para invierno y verano) | NMPB-Routes-96 Schall 03 y FERR3 ISO9613 (para locales de entretenimiento) | CADNA A (4.3.143) | 2013 | 10 m x 10 m | 4 m |
| Odivelas | Portugal | 133.000 | 27 km ² | Lden, Ln | NMPB-Routes-96/XPS 31-133 RMR96/SRMII ECAC.CEAC Doc. 29, 1997 | CADNA A (3.72.131) | 2009 | 5 m x 5 m | 4 m |
| Faro | Portugal | 80.000 | 201 km ² | Lden, Ln | NMPB-Routes-96 y RLS 90 Schall 03 ISO9613-2 (para industrias) | CADNA A | 2005 | 25 m x 25 m (escala municipal) 12 m x 12 m (escala urbana) | 4 m (escala municipal) 1,5 m (escala urbana) |

| Ciudad | País | Habitantes | Superficie mapeada | Descriptores usados | Modelo usado | Software usado | Año de elaboración | Tamaño de cada grilla | Altura sobre el suelo |
|-----------------|----------|------------|---------------------|---------------------|---|---------------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| Almada | Portugal | 160.826 | 71 km ² | Ld, Ln | RLS 90 Schall 03 y FERR3 ISO9613-2 (para industrias) | CADNA A (3.3) | 2004 | 15 m x 15 m | 1,5 m |
| Bruselas | Bélgica | 950.000 | 160 km ² | Lden, Ln | NMPB-Routes-96 SRMII, 96 ECAC.CEAC Doc. 29, 1997 | CADNA A (3.7) IMMI (6.2) | 2006 | 10 m x 10 m | 4 m |
| Dublín | Irlanda | 528.000 | 146 km ² | LA10, 18h, Lden, Ln | CoRTN (versión 1988) | Predictor | 2012 | 10 m x 10 m | 4 m |
| Vitoria-Gasteiz | España | 242.000 | 278 km ² | Lden, Ln | NMPB-Routes-96 RMR96/SRMII ISO9613-2 ECAC.CEAC Doc. 29, 1997 | SoundPLAN | 2003 | 10 m x 10 m | 4 m |
| Berlín | Alemania | 3.350.000 | 892 km ² | Lden, Ln | VBUS VBush VBUl | IMMI 6.1 | 2007 | 10 m x 10 m | 4 m |

| Ciudad | País | Habitantes | Superficie mapeada | Descriptores usados | Modelo usado | Software usado | Año de elaboración | Tamaño de cada grilla | Altura sobre el suelo |
|-----------|------------|------------|----------------------|-------------------------------------|--|----------------------|--------------------|---|-----------------------|
| | | | | | VBUF-DES VBUF-AzB | | | | |
| Madrid | España | 3.100.000 | 650 km ² | Ld, Le, Ln, Lden | XPS 31-133 SMRII/END | LIMA 7812C (8.11) | 2011 | 10 m x 10 m 5 m x 5 m (zona centro) | 4 m |
| Londres | Inglaterra | 8.300.000 | 1600 km ² | LA10, 18h, LA10, 1h, Lden, Ln | CoRTN | NoiseMap 2000 | 2004 | 10m x 10m | 4 m |
| Fortaleza | Brasil | 3.600.000 | 322 km ² | Ld, Ln | RLS90 ISO9613-2 ECAC.CEAC Doc. 29, 1997 | CADNA A (3.7) | En elaboración | 5 m x 5 m | 1,5 m |

Capítulo 5. MAPAS DE RUIDO DE TRES CONUBACIONES



5. MAPAS DE RUIDO DE TRES CONURBACIONES

5.1. Descripción General

En esta actividad se elaboraron los mapas de ruido solicitados mediante modelación utilizando el software Cadna/A Noise Mapping que posee el Ministerio del Medio Ambiente. El trabajo se desarrolló en oficinas de la institución, en los tiempos de ejecución planteados y los formatos establecidos por las Bases Administrativas. El Ministerio del Medio Ambiente ofreció las facilidades para que el profesional del equipo consultor tuviera a su disposición un computador, los medios y los software necesarios para desarrollar esta importante parte del estudio.

El Instituto de Acústica dispone y utiliza el software de modelación Cadna/A Noise Mapping con licencia para uso académico. Para el desarrollo de este proyecto, el trabajo de modelación se llevó a cabo en dependencias del Ministerio del Medio Ambiente por el Ing. Civil Acústico Juan Pablo Álvarez, quien cuenta con más de 5 años de experiencia en el uso de este software, y ha participado de estudios similares [Álvarez et al. 2008], [CONAMA 2010], [MMA 2010], [MMA 2011]. Así, el trabajo de modelación se desarrollará utilizando los recursos computacionales y la licencia de Cadna/A que el Ministerio del Medio Ambiente cuenta para el desarrollo de este estudio.

Para la modelación de ruido de tráfico solicitada se utilizará el modelo que mejor se ha ajustado a las investigaciones y trabajos previos realizados por profesionales del equipo [ABSENTIA 2009], [Álvarez et al. 2008], [CONAMA 2010], [MMA 2010], [MMA 2011], que corresponde al modelo alemán RLS-90. Sin perjuicio de lo anterior, en el proyecto se contempló un análisis de datos modelados con el fin de respaldar esta decisión.

Las variables de entrada a la modelación son aquellas que requiere el software para la modelación que contempla, por ejemplo y de manera general, la caracterización de la trama circulatoria (tipo de carpeta, pendiente, número de pistas, número de vehículos, etc.), flujo vehicular, edificación en altura, manzanas, predios, variables meteorológicas, ciclo diario semanal, etc., además de la topografía (curvas de nivel).

El trabajo planificado es coherente con la metodología utilizada en los estudios realizados anteriormente por el Instituto de Acústica de la Universidad Austral de Chile: Elaboración de Mapas de Ruido Mediante Software de Modelación, para caso piloto (Comunas de Antofagasta y Providencia) [CONAMA 2010], Elaboración de Mapa de Ruido Comuna de Santiago Mediante Software de Modelación [MMA 2010] y Elaboración de Mapa de Ruido del Gran Santiago Mediante Software de Modelación [MMA 2011].

Para la realización de los mapas de ruido se llevan a cabo mediciones de verificación en puntos de flujo vehicular constante, permitiendo analizar el comportamiento de la modelación para el caso de la etapa de emisión. Para la propagación se utilizará una metodología similar a estudios previos. Una vez en terreno es donde se determina la factibilidad de medición de cada punto con tal de evitar la influencia de fuentes sonoras adicionales, ajustando las posiciones de medición, en el caso que se requiera, para cuantificar la inmisión de ruido producto exclusivamente del tráfico vehicular [ABSENTIA 2009].

La propuesta técnica comprometió realizar al menos 100 mediciones acústicas de 15 minutos, y también 100 mediciones de flujo diurno y 100 mediciones de flujo nocturno por cada ciudad. En la ciudad de Valdivia, donde se

ajustó y mejoró la metodología de trabajo, esta cantidad de mediciones fue mayor. De esta manera, la metodología probada y mejorada en la ciudad de Valdivia, fue aplicada en Temuco – Padre Las Casas y La Serena - Coquimbo.

Tanto el diseño final de las campañas de mediciones acústicas, como aquellas de flujo vehicular, son objeto de un análisis que consideró las siguientes variables:

1. Como base, se sigue la metodología de distribución de puntos de medición del estudio del Gran Santiago.
2. Se incorporan mediciones semanales continuas en puntos estratégicos que permitan caracterizar el perfil de ruido de tránsito durante los ciclos diurnos y nocturnos, y semanales.
3. Las mediciones acústicas se contrastan con aquellas obtenidas en los puntos fijos, de manera de validar y optimizar la cantidad y distribución de las mediciones acústicas y de flujo, necesarias para una apropiada caracterización de las vías.

Se realizan análisis estadísticos que permiten respaldar las decisiones asociadas a la determinación de puntos de medición necesarios para el ajuste del modelo acústico, así como para definir los puntos de medición de flujo vehicular.

Los mapas de ruido se entregan como nuevas coberturas shapefile, de acuerdo a las Especificaciones Técnicas para los productos cartográficos del Ministerio del Medio Ambiente, las que en cualquier caso incluirán la respectiva Metadata. Se elaboraron los mapas de ruido para periodos diurno y nocturno de cada conurbación. Finalmente se incluye un capítulo referido al protocolo de modelación de ruido que detalle el proceso de elaboración de los mapas de ruido (anexo).

Las fuentes de ruido a modelar corresponden al tránsito vehicular y al tránsito ferroviario (cuando corresponda).

Con respecto al instrumental para realizar las mediciones necesarias para el estudio, el Instituto de Acústica dispone de tres sonómetros marca RION tipo 2 (modelos NL20 y NL22), dos sonómetros marca CESVA tipo 2 (modelo SC160) y uno tipo 1 (modelo SC310), todos equipos que cumplen con la normativa IEC 61672. Además se cuenta con un sistema de monitoreo continuo correspondiente a un equipo CESVA SC310 con un sistema TK1000 Kit exterior, con trípode, deshumecedor, protector contra lluvia, viento y aves. Para el presente estudio se adquirieron tres estaciones semipermanentes CIRRUS (CK:1710 - Kit sonómetro integrador Clase 1 + MK:170 - Unidad de micrófono de intemperie) y tres sonómetros Brüel & Kjær (2250-L-D10 - Sonómetro tipo 1). Tales equipos son los que fueron utilizados para las mediciones en cada ciudad.

El orden de la realización de los mapas fue Valdivia, Temuco y luego Gran Coquimbo.

5.2. Mapa de Ruido de Valdivia

5.2.1. Análisis de la información disponible para modelar al inicio del Proyecto

Considerando los antecedentes necesarios para esta parte del estudio, según informes anteriores [CONAMA 2008] [MMA 2010], se revisó la información puesta a disposición por el Ministerio del Medio Ambiente. Respecto de la información disponible, se incluyen los principales comentarios en la siguiente tabla.

Tabla 4. Análisis de la Información Disponible para Modelar en Valdivia al inicio del proyecto.

| | Variable | Condición | Origen | Condición Actual |
|-------------------------|---|----------------|--------------------------|------------------|
| Modelo De Terreno | Curvas de nivel | DISPONIBLE | SECTRA/ Equipo Consultor | ✓ |
| | Eje vial | DISPONIBLE | SECTRA/Equipo Consultor | ✓ |
| | Eje ferroviario | DISPONIBLE | SECTRA | ✓ |
| | Manzanas | NO DISPONIBLE | Equipo Consultor | ✓ |
| | Edificaciones (incluir alturas) | NO DISPONIBLE | Equipo Consultor | ✓ |
| | Drenaje (río) | DISPONIBLE | SECTRA/ Equipo Consultor | ✓ |
| Modelo De Carretera | Ancho | NO DISPONIBLE | Equipo Consultor | ✓ |
| | Clasificación REDEVU | NO DISPONIBLE | Municipalidad | ✓ |
| | Tipo de carpeta rodado | NO DISPONIBLE | Equipo Consultor | ✓ |
| | Flujos x categoría (día) | NO ACTUALIZADO | Equipo Consultor | ✓ |
| | Flujos x categoría (tarde) | NO ACTUALIZADO | Equipo Consultor | ✓ |
| | Flujos x categoría (noche) | NO DISPONIBLE | Equipo Consultor | ✓ |
| | Recorridos de locomoción colectiva mayor | DISPONIBLE | SECTRA | ✓ |
| | Velocidad de circulación x categoría | NO DISPONIBLE | Estudio SECTRA | ✓ |
| Modelo De Ferrocarriles | Eje ferroviario | NO DISPONIBLE | No Aplica | - |
| | Composición del flujo (día, tarde, noche) | NO DISPONIBLE | No Aplica | - |
| | Características de la configuración de trenes | NO DISPONIBLE | No Aplica | - |
| | Velocidad de circulación | NO DISPONIBLE | No Aplica | - |
| | Características de la vía | NO DISPONIBLE | No Aplica | - |
| | Tipo de traviesas y balasto | NO DISPONIBLE | No Aplica | - |
| | Discontinuidades y estructuras | NO DISPONIBLE | No Aplica | - |

Para el estudio de la ciudad de Valdivia se utilizó cartografía actualizada que se ofreció para efectos exclusivos de la modelación acústica de este estudio. Esta cartografía de gran calidad es producto del proyecto FONDECYT #11110183 "Decreasing Urban Green Space Availability Under Increasing Urbanization Patterns: What'S Happening To Ecosystem Services Provision And Urban Biodiversity?". La Dra. Olga Barbosa, responsable del proyecto, sólo

ha establecido la condición que esta información sea utilizada para los fines del presente estudio, y no sea distribuida o utilizada fuera del mismo. Tal condición ha sido aceptada por la Contraparte Técnica. En la siguiente figura se muestra la calidad de la información cartográfica a utilizar.



Fig. 2. Edificaciones a considerar para Modelación en Valdivia.

Respecto a modelar trenes en Valdivia, el flujo no es suficiente para realizar una modelación significativa en el entorno habitual de la ciudad. La estación de trenes se encuentra sin uso hace tiempo, y actualmente está totalmente aislada de la línea del tren por la extensión de la calle Costanera. No existe flujo de trenes desde y hacia Valdivia. La excepción es el tren turístico “El Valdiviano”, con una frecuencia esporádica, y que no amerita ser modelado acústicamente.

5.2.2. Definición del área a modelar

Para el caso de Valdivia, se acordó la siguiente zona de estudio para ser modelada (ver figuras correspondientes).

Esta área incluye la ciudad de Valdivia, además de algunos sectores adicionales al límite urbano.

En reuniones iniciales la Contraparte Técnica planteó la posibilidad que incluya el sector de Niebla en el área de estudio. Al respecto, se acordó que actualmente no se conforma una conurbación con Valdivia y Niebla, y por lo tanto no es pertinente incluirla. Si bien es cierto el Plan Regulador vigente y su modificación definen el sector como zona de extensión urbana desde hace varios años, pero ésta zona no se ha consolidado como tal. Aún quedan amplias zonas sin ser pobladas, aproximadamente 8 km entre el sector de Toro Bayo y Agua del Obispo en las cercanías de Niebla. En la zona definida a modelar, no obstante, se amplió hasta el sector de Toro Bayo que es donde se ha visto en el último tiempo una dinámica urbana que permite señalar que en los próximos años se consolidará urbanísticamente. Hoy se describe a Niebla más bien como un sector dormitorio para quienes viajan diariamente a Valdivia, por razones laborales, estudio o para satisfacer servicios que sólo están en Valdivia.



Fig. 3. Zona para Modelación en Valdivia.

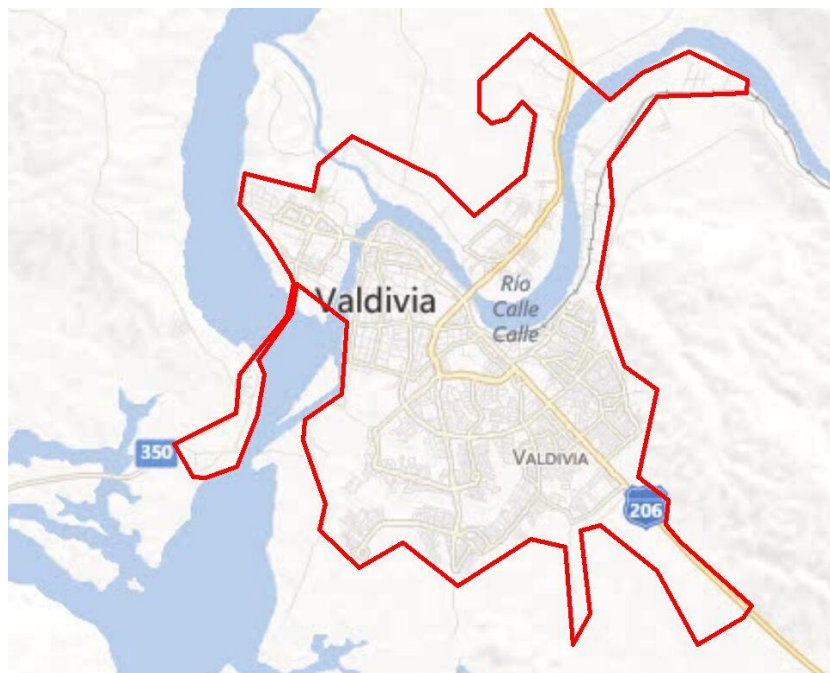


Fig. 4. Zona para Modelación en Valdivia (red vial principal).




5.2.3. Mediciones

a) Equipamiento

El Instituto de Acústica cuenta con equipamiento de alta calidad para la realización de las mediciones que son necesarias para llevar a cabo el estudio. Ese equipamiento ha sido parte de la Propuesta para este proyecto. Sin embargo, para un mejor desarrollo de este trabajo, el Instituto de Acústica apoyado por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y la Universidad Austral adquirió nuevo equipamiento.

La adquisición corresponde a:

Tabla 5. Equipamiento adicional adquirido para el proyecto.

| Cantidad | Descripción | Marca | Fotografía |
|----------|---|---------------|---|
| 03 | CK:1710 - Kit sonómetro integrador Clase 1, con datalogger, grabación de audio y accesorios. Incluye calibrador acústico clase 1 CR:515 | CIRRUS |  |
| 03 | CK:602 - Maleta de protección para Sonómetro CR:1710 + Batería con autonomía de hasta 7 días | CIRRUS |  |
| 03 | MK:170 - Unidad de micrófono de intemperie para sonómetro CR:1710 | CIRRUS | |
| 03 | 2250-L-D10 - Sonómetro tipo 1 | Bruel & Kjaer |  |
| 01 | 4231 - Calibrador portátil | Bruel & Kjaer | |
| 03 | UA-1703 - Kit Básico Para 2250 Light | Bruel & Kjaer | |

b) Diseño Campaña de Mediciones

Como concepto general, todos los criterios asociados a las campañas de mediciones acústicas y de flujo se han trabajado de manera de probarlas de mejor forma en la ciudad de Valdivia, y luego ser aplicadas exitosamente en las otras dos ciudades. Esta aclaración es necesaria visto que la experiencia previa del equipo investigador [Bastián 2013] indica que la metodología que fue empleada exitosamente en el estudio del Gran Santiago [MMA 2011] podría ser ajustada para ciudades más pequeñas, como las incluidas en el presente proyecto.

Para Valdivia, la ordenanza respectiva clasifica todas las vías como colectoras o de servicio (y vías locales, por descarte). No se incluyen vías expresas o troncales. Por este motivo se han realizado estudios previos para utilizar una clasificación propia [Bastián 2013], pero para fines de este proyecto, es interés que esta metodología sea replicable en otras ciudades, y no dependa tan fuertemente del criterio experto.

La premisa de la metodología es que debe ser reproducible en otras zonas de estudio, por lo tanto, al igual que el estudio del Gran Santiago, se basa en la clasificación REDEVU. Se realiza un análisis adicional para hacer una subdivisión de las categorías, y mejorar el mapa de ruido.

Se deben considerar criterios asociados al flujo vehicular, la presencia de locomoción colectiva, vehículos pesados, u otro parámetro. Esta estrategia permite obtener mejores datos, y un mejor mapa de ruido.

Como este análisis sólo se puede llevar a cabo una vez levantada la información de terreno, se decidió proceder de la siguiente manera:

1. Analizar los datos de flujos vehiculares aportados por SECTRA.
2. Analizar mediciones históricas de la ciudad, y conformar una primera base de datos.
3. Realizar una campaña de mediciones acústicas y de flujo para enriquecer la base de datos anterior.
4. Analizar esta base de datos para conocer su comportamiento y la posible subclasificación de las vías.
5. Trabajar con estos resultados y elaborar un primer mapa de ruido con estos datos.
6. Rediseñar una nueva campaña de mediciones en base a la experiencia anterior.
7. Realizar una segunda campaña de mediciones y utilizar estos datos para realizar en mapa de ruido final.

Así, y visto los desafíos que presenta este nuevo proyecto en cuanto a la clasificación vial, se estimó necesario realizar una segunda campaña de mediciones acústicas (2014), adicional a la comprometida en la Propuesta Técnica.

c) Consideraciones previas dentro de la planificación de la etapa de terreno.

De acuerdo a la clasificación REDEVU, clasificación a utilizar en esa fase del estudio, se advierten ciertas consideraciones, con el propósito de mejorar la calidad de la base de datos. Dicha clasificación se divide en 5 categorías, de acuerdo a ciertas características de diseño, no necesariamente propias o ligadas al concepto acústico. Es por esto que se concluyó necesario realizar una subdivisión de algunas categorías para la obtención de una base de datos apropiada, y así lograr asignar datos reales a las vías de la ciudad. El objetivo es conseguir una diferencia menor entre el dato medido y el modelado. De acuerdo a las conclusiones de estudios previos realizados por este equipo consultor [MMA 2011], las categorías Colectora y Servicios son posibles de agrupar para su análisis con buenos resultados. Sin embargo, este criterio que es apropiado para grandes ciudades, no se ajusta apropiadamente para ciudades más pequeñas como Valdivia [Bastián 2013]. Lo anterior ocurre principalmente porque la variabilidad de flujos vehiculares en vías de poco tránsito, y la circulación de locomoción colectiva y camiones por varios tipos de calles. Se hizo necesario considerar estas características e incorporar otros criterios en este trabajo.

d) Distribución de Puntos de Medición

Para la distribución de las 100 mediciones acústicas se ha desarrollado un sistema de distribución sencillo, y que se puede repetir en otras ciudades. Este es un criterio experto, que pondera dos características relevantes en la medición del ruido de tránsito: la cantidad de kilómetros de calles de las distintas clases en el área de estudio, y la mayor rapidez de estabilización de la lectura acústica del nivel de presión sonora continuo equivalente en calles de alto flujo vehicular (a mayor flujo vehicular, más rápidamente se estabiliza la lectura del Leq).

Para expresar gráficamente este último concepto, es decir, la estabilización de la lectura del nivel de presión sonora continuo equivalente (Leq) durante los 15 minutos de medición, se presentan tres gráficos de mediciones realizadas durante noviembre de 2013 por estudiantes de la carrera de Ing. Civil Acústica, como una actividad práctica de medición de tránsito vehicular. Las vías medidas tenían entre 600 a 1000 vehículos por hora en cada medición. Este ejercicio permite mostrar el comportamiento del descriptor Nivel de Presión Sonoro Continuo Equivalente (Leq) en mediciones típicas de ruido de tránsito vehicular. Se aprecia que luego de los primeros minutos, la tendencia es que

la medición tiende a estabilizarse en torno a un valor. En cada gráfico se presentan tres mediciones de quince minutos, en tres horarios distintos del día (líneas de distinto color).

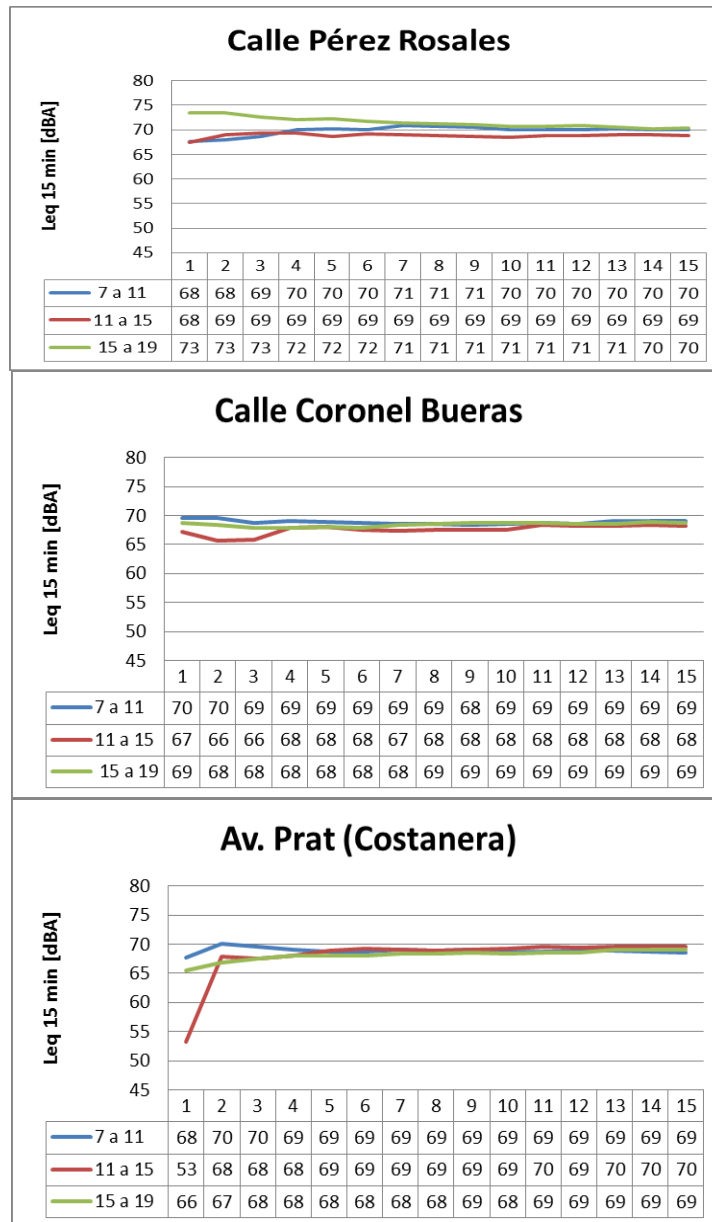


Fig. 5. Ejemplo de estabilización de la lectura al medir ruido de tránsito con alto flujo vehicular en la misma calle, durante quince minutos de medición, en tres horarios distintos del día.

Convergencia de los niveles diurnos.

Se ha estimado que los niveles de presión sonora continuos equivalentes convergen suficientemente rápido como para realizar mediciones acústicas en un tiempo de integración de 15 minutos. Considerando los registros de niveles de estaciones diurnas en diferentes tipos de vía, también se ha podido comprobar que los niveles efectivamente convergen suficientemente rápido, independientes del tipo de vía y del horario de medición.

En el análisis, la mayoría de los datos registrados presentan diferencias entre nivel equivalente acumulado y nivel equivalente de 15 minutos inferiores a 1 dB a partir de 5 minutos (en algunos casos más) antes de cumplir los 15 minutos de integración. Como es de esperar, la convergencia es mucho más rápida para las vías con mayor flujo vehicular.

En la siguiente figura se muestran los resultados para el registro diurno de una vía de cada tipo de la ciudad de Valdivia, en base a las mediciones realizadas para este trabajo. Se grafican las diferencias entre “Nivel Equivalente Acumulado” minuto a minuto (señalado como “Leq, ac”), y nivel equivalente de 15 minutos (señalado como “Leq, 15 min”) para todos los períodos de 15 minutos que se han incluidos en el horario diurno. Corresponden a 58 intervalos considerados para cada tipo de vía. Se puede apreciar claramente el perfil de convergencia para los tres tipos de vías, confirmándose una convergencia más rápida para las vías de mayor flujo.

Es relevante destacar que en la gráfica se han incluido valores de todos los horarios del día, por lo cual se comprueba que no se presentan problemas de convergencia en ningún horario en particular.

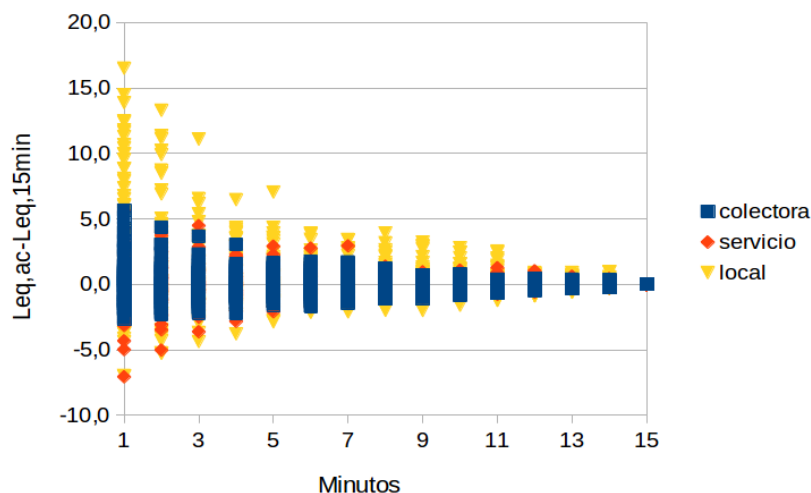


Fig. 6. Diferencia entre nivel equivalente acumulado (Leq,ac) y nivel equivalente de 15 minutos (Leq,15min) representativos para las vías locales, de servicio, y colectoras en la ciudad de Valdivia. Se indican en el eje horizontal los minutos de integración.

De este análisis se observa que el proceso de estabilización de la lectura del Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente no depende del horario del día. Se aprecia que la estabilización ocurre cerca de los 12 minutos en todos los casos (se analizaron más de 800 datos obtenidos de las estaciones fijas).

Distribución de puntos de medición

Para la distribución de los puntos de medición, se ha propuesto una siguiente metodología que incorpora dos criterios de expertos. Primero, considera la longitud total del tipo de calle (en km) presente en el área de estudio. El segundo aspecto, es el hecho que aquellas vías con un menor flujo vehicular requieren un mayor número de mediciones para converger a un valor que pueda ser representativo del Leq asociado a ese tipo de vía.

Se considera m_i categorías de vías de igual longitud (con $i=1,2,\dots,n$), tal que la intensidad del flujo vehicular disminuye proporcionalmente con i . Se supone que la vía m_1 tiene una intensidad tal, que con una única medición acústica es posible caracterizarla, y que la vía m_i requiere de i mediciones acústicas para el mismo objetivo. En este caso serán necesarias P mediciones para caracterizar el total de las vías, es decir;

$$P = \frac{m(m+1)}{2} \quad \text{Ec. 1}$$

De esta forma, para distribuir n puntos de medición, en m categorías de vías se tiene que;

$$P_i = \frac{2n}{m(m+1)} m_i \quad \text{Ec. 2}$$

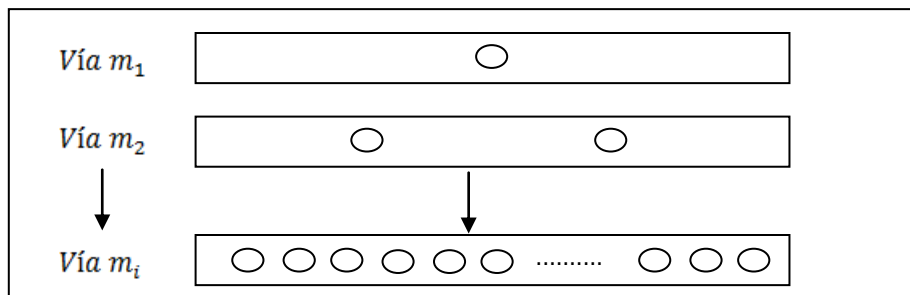


Fig 7. Representación gráfica del problema. Los rectángulos representan las categorías de vías de igual longitud, y los círculos en el interior representan las mediciones necesarias para caracterizarlas.

Es posible ahora incorporar el hecho que la longitud l_i de las vías m_i , es distinta para cada i y por lo tanto es posible corregir ponderando por algún factor la ecuación anterior (Ec. 2). De esta forma, se ha optado por establecer esta ponderación como la diferencia porcentual entre la longitud real de las vías tipo m_i y la misma vía para el caso inicial en que todas tienen igual longitud. Es decir;

$$\text{Corrección} = \left(\frac{l_i}{L_T} - \frac{1}{m} \right) \left(\frac{2n}{m(m+1)} m_i \right) \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

L_T : Longitud total de todas las vías

l_i : Longitud total de la vía tipo i

Finalmente sumando la Ec. 2 y la Ec. 3 tenemos una expresión que permite aproximar la distribución de puntos de medición según categorías de vías consideradas:

$$P_i = \frac{2n}{m(m+1)} m_i \left[\left(\frac{l_i}{L_T} - \frac{1}{m} \right) + 1 \right] \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

P_i : Número de puntos a medir para la vía i

n : Número total de puntos a medir considerando todas las vías

m_i : Valor asignado a cada tipo de vía y proporcional al número de mediciones necesarias

m : Número de tipos de vías

l_i : Longitud total de la vía tipo i

L_T : Longitud total de todas las vías

Vistos estos criterios, para las 100 mediciones acústicas comprometidas en este estudio para una conurbación, ellas se han distribuido según la ecuación (4).

En el caso de las vías de la ciudad de Valdivia, existen vías Colectoras (70 Km), vías de Servicios (33 Km) y vías Locales (101 km), siendo la longitud total de las vías de aproximadamente 204 Km.

Consecuentemente con lo anterior $m = 3$ y $\alpha_v = 1,2,3$, así por ejemplo para determinar la cantidad de puntos a medir en las vías locales ($\alpha = 3$), la ecuación 1 queda determinada por;

$$P_{locales} = \frac{200}{12} (3) \left[\left(\frac{101}{204} - \frac{1}{3} \right) + 1 \right] \cong 58$$

Y del mismo modo:

$$P_{servicios} \cong 27$$

$$P_{colectoras} \cong 16$$

Finalmente, se distribuyen las mediciones contemplando 16 mediciones para vías colectoras, 27 para servicios, y 58 para vías locales. Este criterio se utilizó para definir las estaciones de la campaña de mediciones realizada en 2013.

Para la campaña 2014 hay 17 puntos que son de reemplazo respecto a los primeros cien escogidos, ya que se utilizó una subclasificación de cada categoría (en vías con y sin locomoción colectiva), como se explica más adelante.

e) Influencia del horario de medición: Hora Punta y Hora Valle

Antes de distribuir las mediciones en horarios Valle o Punta, se debe analizar si vale la pena hacer este esfuerzo de considerar ambos horarios, en virtud de la mejora en los datos acústicos que se pudieran lograr para el mapa de ruido.

No es tan obvio que se pueda dejar de considerar las horas puntas, pues todo depende de la diferencia de niveles entre hora punta y hora valle. Para acercarse a esta estimación, se ha calculado la diferencia en el nivel de presión sonora equivalente total $L_{eq,T}$ (que podría ser el L_d) al considerar o no considerar aquellos valores de hora punta. Se asumen diferentes valores de % de tiempo punta y diferencia de niveles entre punta y valle.

En general el nivel de presión sonora continuo equivalente total es:

$$L_{eq,T} = 10 \log \left(\frac{t_{valle} 10^{L_{eq, valle}/10} + t_{punta} 10^{L_{eq, punta}/10}}{t_{valle} + t_{punta}} \right) \quad \text{Ecuación 5}$$

Considerando que $t_{punta} = \alpha \cdot T$, donde $T = t_{valle} + t_{punta}$ (es decir α representa la fracción del tiempo total correspondiente a horas punta) y que Δ es la diferencia entre el nivel punta y nivel valle $\Delta = L_{eq, punta} - L_{eq, valle}$, se obtiene para la diferencia de nivel total $L_{eq,T}$ (o nivel día L_d) con y sin considerar las horas punta

$$L_{eq,T} - L_{eq, valle} = 10 \log \left(1 + \alpha \cdot \left(10^{\Delta/10} - 1 \right) \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

Si se grafican como ejemplo, los resultados para $0 \leq \Delta \leq 10$ (diferencias entre nivel punta y nivel valle de 0 a 10 dBA) y $0 \leq \alpha \leq 0.5$ (porcentaje de tiempo punta entre 0 y 50%) se obtiene la Figura 8.

A partir del gráfico se incluyen las curvas de referencia para ciertas diferencias (o un error al considerar solo horas valle) de 1, 2 y 3 dBA. Se puede ver por ejemplo que si el porcentaje de tiempo de hora punta es de aproximadamente el 20% del total del período del día, en la diferencia de nivel entre el nivel de ruido punta y valle debería ser inferior a 3,5 dBA (aproximado) para no superar un error de 1 dBA en el cálculo del nivel de ruido total (o nivel día L_d).

Se ha estimado que para Valdivia se tienen tres períodos de Hora Punta: 07:30 – 09:00 hrs, 12:30 – 14:00 hrs, y de 18:00 – 19:30 hrs. Vale decir, en el periodo diurno de 16:00 horas (07:00 a 23:00 hrs), hay 4:30 hrs de horas punta. Esto corresponde a un 28,1 % del total del día (en el Gran Santiago eran 04:00 horas punta).

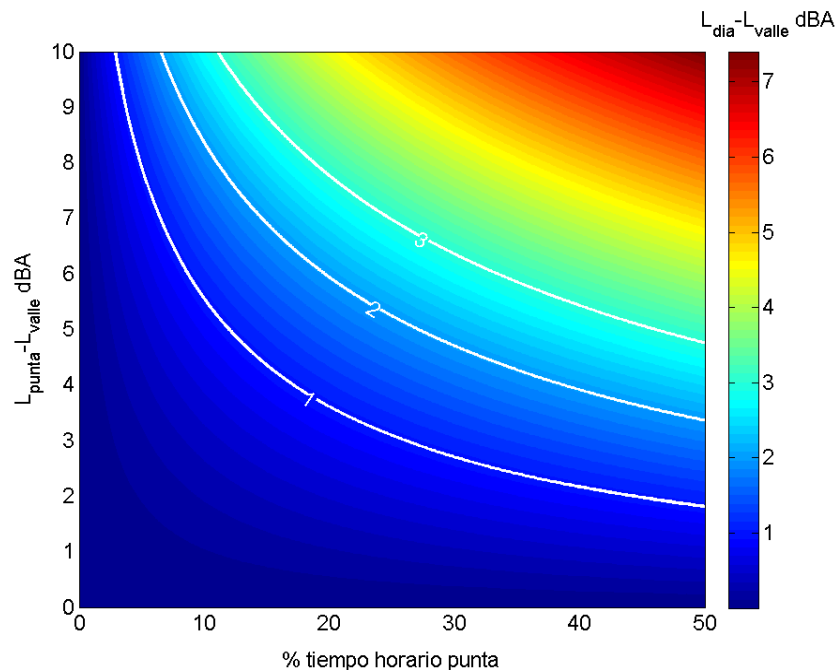


Fig. 8 Relación entre porcentaje de tiempo de horas punta y la diferencia en niveles de ruido con horas valle en un día

Como es posible apreciar en las estaciones fijas, las variaciones de niveles de ruido durante el periodo del día que se puede atribuir a las horas punta, son menores a 2 dBA. Si esto se lleva al gráfico anterior, no considerar las horas punta en las mediciones, sólo podría generar una desviación menor a 1 dBA. Por este motivo, las campañas de mediciones se orientarán a realizarse en horas valle.

Es conveniente señalar que aquellas estaciones fijas que se ubicaron en calles con flujo relevante de vehículos, se cumple la condición anterior. En vías con flujo bajo de vehículos (como en muchas calles locales), la validez de las mediciones acústicas es cuestionable, ya el ruido principal no corresponde a la fuente que se quiere modelar (el tránsito).

e) Estaciones Fijas de Medición

En el presente proyecto se utilizarán estaciones fijas de monitoreo con el fin de registrar datos de varios días en un lugar. El objetivo es conocer el comportamiento temporal de un tipo de vía, con el fin de validar las mediciones o estimaciones que se realizarán para elaborar el mapa de ruido de cada ciudad. Esta experiencia debe aportar nuevos datos que podrían, eventualmente, ofrecer mejores ajustes a los métodos ya utilizados en proyectos anteriores.

Hay dos tipos de criterios para escoger estaciones de medición continua: el primero está asociado a conocer la dinámica acústica del lugar (importa el perfil acústico y no el valor de los niveles de ruido). El segundo es para estaciones permanentes, donde las magnitudes (valores) de ruido ambiental si son relevantes. Las estaciones que

se están utilizando son del primer tipo, es decir, se utilizarán para estudiar el comportamiento acústico, pero no es necesario utilizar sus datos como valores en el mapa de ruido.

Criterios para emplazar las estaciones de monitoreo de tránsito vehicular

Considerando la naturaleza y fines de la medición, los principales criterios (no son obligatorios, sino deseables) considerados para emplazar las estaciones de monitoreo fijas son los siguientes:

1. Vía con gradiente menor a 2%.
2. Vía con carpeta de hormigón por ser ésta la de mayor presencia en la ciudad.
3. Vía con carpeta sin alteraciones importantes (hoyos, tapas sueltas, reductores de velocidad, otros).
4. Vías alejadas de sectores de actividades de esparcimiento y comercio .
5. Vías con tránsito vehicular fluido, sin puntos de detención en el tramo de interés, tales como; disco pare, semáforos, paraderos, etc.
6. Punto seleccionado, sin apantallamiento acústico.
7. Punto seleccionado, alejado de fuentes de ruido ajenas al tránsito vehicular.
8. Punto seleccionado, con fácil acceso para verificaciones y ajustes del equipamiento.
9. Punto seleccionado con adecuadas condiciones de seguridad para el equipamiento.

Mediante trabajo de terreno, se identificaron las vías y algunos lugares que pudieran cumplir con cada uno de los criterios indicados. Hay que mencionar que los criterios 8 y 9 son definitivamente los más difíciles de cumplir y aquellos por los cuales se descartaron numerosos puntos de medición. La siguiente tabla resume el procedimiento llevado a cabo para definir los lugares de emplazamiento de las estaciones de monitoreo de ruido.

Tabla 6. Verificación del cumplimiento de los criterios considerados.

| Criterio | Punto para estación fija | | | | |
|----------|--------------------------|--|---------------------|---|----------------------------------|
| | Anwandter | Yungay | Francia | Caremapu | Los Boldos |
| 1 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple parcialmente | Cumple |
| 2 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |
| 3 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |
| 4 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple parcialmente |
| 5 | Cumple | Cumple parcialmente | Cumple | Cumple parcialmente | Cumple |
| 6 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |
| 7 | Cumple | Cumple | Cumple parcialmente | Cumple parcialmente | Cumple |
| 8 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |
| 9 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple | Colegio cercano Paradero a 50 m. |
| Obs | Colegio cercano | Paso peatonal cercano. Algunos bares en los alrededores. | Estación policial | Leve pendiente. Frecuentes ruidos de perros y aves. Escaso flujo vehicular. | Estación policial |

Ubicación estaciones de monitoreo

1. Estación Calle Yungay #646, Vía Servicio c/Loc. Colectiva

2. Estación Calle Andwanter #466, Vía Colectora c/Loc. Colectiva.
3. Estación Calle Francia #2950, Vía Colectora c/Loc. Colectiva
4. Estación Calle Carelmapu #2027, Vía Local s/Loc. Colectiva.
5. Estación Calle Los Boldos #415. Vía Local c/Loc. Colectiva

f) Clasificación Vial

La clasificación vial considerada para el proyecto corresponde a la establecida en el Plan Regulador vigente para la ciudad de Valdivia. Cabe señalar que en esta ordenanza sólo clasifica las vías en Colectoras y Servicio para toda la ciudad. Aquellas no clasificadas se consideran calles Locales. La clasificación vial se encuentra en un anexo, donde además se calculó la cantidad de kilómetros de cada tipo de vía en la ciudad. En la siguiente figura se pueden identificar la clasificación vial utilizada.

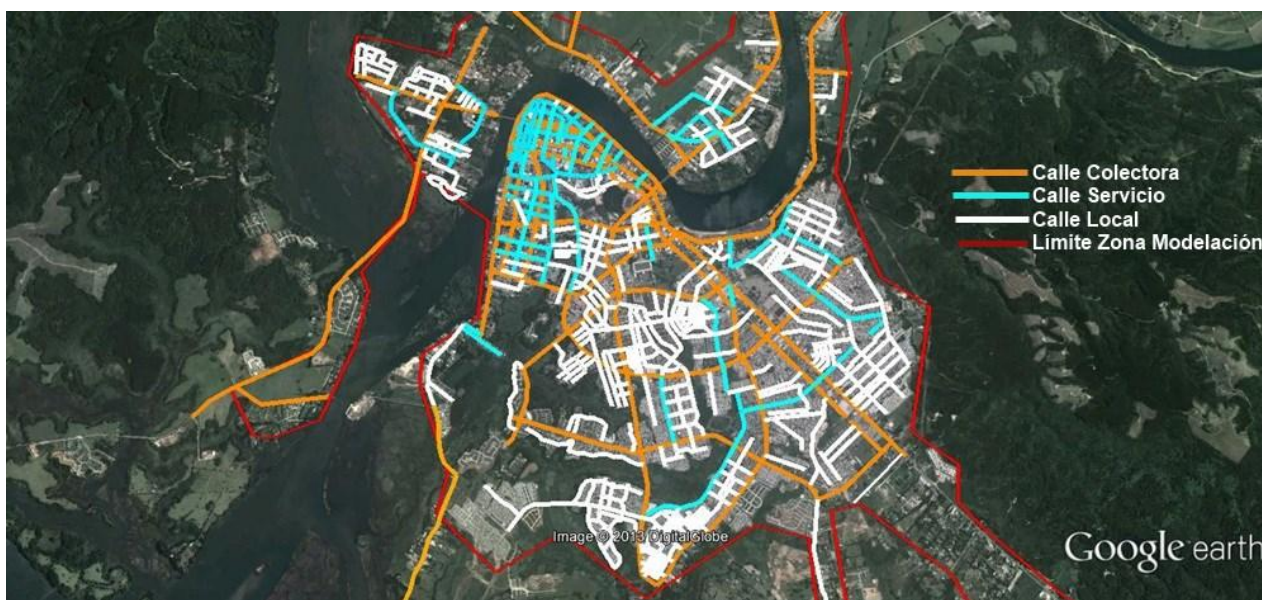


Fig. 9 Clasificación vial para la ciudad de Valdivia (según REDEVU)

Con esta clasificación vial se trabajó en elaborar un mapa preliminar de Valdivia, y se procedió a realizar varios análisis de los resultados obtenidos. A partir de lo que se presenta a continuación, se decidió elaborar el mapa definitivo con una subclasificación por categoría.

La clasificación a utilizar para la elaboración del mapa de ruido es:

1. Vías Colectoras con Locomoción Colectiva
2. Vías Colectoras sin Locomoción Colectiva
3. Vías de Servicio con Locomoción Colectiva
4. Vías de Servicio sin Locomoción Colectiva
5. Vías Locales con Locomoción Colectiva
6. Vías Locales sin Locomoción Colectiva

Subclasificación de vías en base a la clasificación del MINVU

La propuesta presentada por la Universidad Austral para la realización de mapas de ruido de las conurbaciones de Valdivia, Temuco - Padre Las Casas y La Serena – Coquimbo, definió la utilización de la clasificación vial del MINVU (REDEVU) como base para agrupar las vías por su similitud en diseño y comportamiento acústico. Esta metodología fue probada exitosamente en el proyecto anterior, donde se realizó el Mapa de Ruido del Gran Santiago.

Vistos los nuevos análisis logados en este proyecto, el equipo de trabajo analizó la posibilidad de mejorar esta metodología. Hay algunos elementos, como el paso de la locomoción colectiva por vías de poco tránsito, que influyen en los datos de modelación, y que pueden significar una mejora si se incorporan de alguna forma en la clasificación vial. En este sentido, se ha buscado robustecer la metodología en atención a un comportamiento vial-acústico ligeramente distinto al estudiado en el Gran Santiago.

En consideración a la información disponible para estimar flujos medios, y porcentaje de vehículos pesados promedio (ambos datos relevantes en la modelación acústica), se define subdividir cada tipo de vía (local, servicio, colectoras) en vías con y sin locomoción colectiva. De esta manera, se disminuyen los errores asociados a la asignación promedio de cada categoría para efectos de modelación. Esta subclasificación permitirá mejores mapas de ruido (ver tablas asociadas a las desviaciones del mapa de ruido de Valdivia, en apartados siguientes).

A continuación se presentan un análisis que permite justificar esta metodología. Los gráficos muestran los valores para Valdivia de flujos promedios y porcentajes de vehículos pesados (son éstos los datos que se ingresan al modelo informático para el mapa de ruido). Se considera la clasificación con y sin subclasificación por tipo de vía (campaña de mediciones acústica 2013).

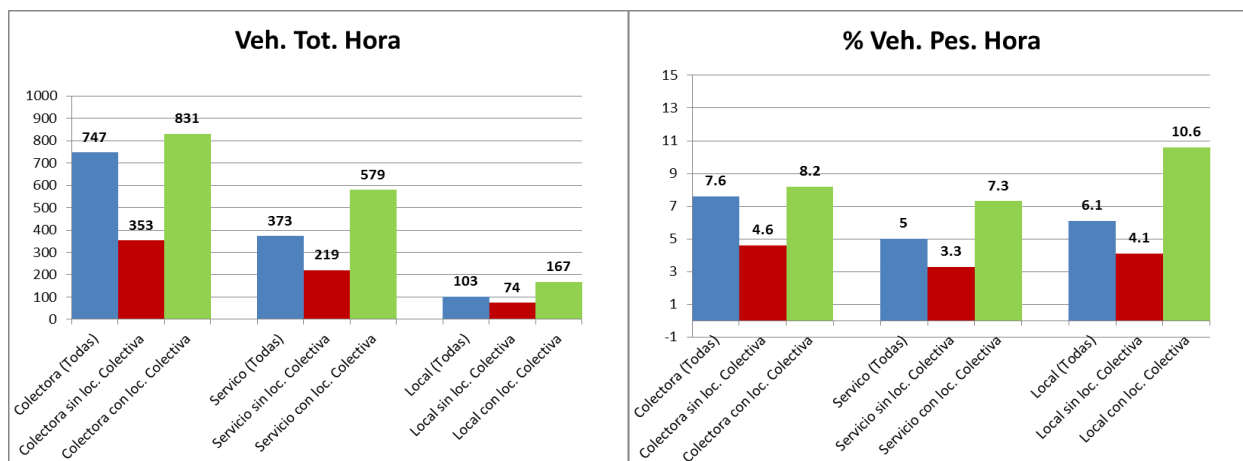


Fig. 10 Diferencia de las medidas por categoría en vías Colectoras, Servicio y Local (campaña de mediciones 2013)

Análisis de flujo vehicular e influencia de presencia de vehículos pesados (Locomoción Colectiva)

Con el fin de comparar el comportamiento de grupos de datos tomados en distintos momentos, se analizaron dos campañas de mediciones acústicas y de flujo vehicular. La primera corresponde a la realizada en 2013 en Valdivia considerando sólo tres categorías de vías. La segunda campaña se realizó en 2014, esta vez considerando seis categorías de vías. Al subclasificar las vías según la presencia de locomoción colectiva, se obtienen promedios que se diferencian, y que son independientes de cuando se realice la campaña de mediciones.

Se analizan los promedios de la primera campaña, donde se diseñó en base a una clasificación vial de tres categorías, y la segunda campaña donde se ha utilizado seis categorías (las anteriores tres categorías, pero ahora con y sin locomoción colectiva). Los resultados indican significa que se pueden obtener mejores mapas de ruido al utilizar una subclasificación por tipo de vía (con y sin locomoción colectiva).

Para estos análisis se utilizarán los siguientes grupos de datos:

1. Primera Campaña de Mediciones 2013, vías con y sin Locomoción Colectiva juntas, todas (T)
2. Segunda Campaña 2014, sin Locomoción Colectiva (s/L)
3. Segunda Campaña 2014, con Locomoción Colectiva (c/L)

a) Análisis para Vía Colectora:

Tabla 7. Resumen Estadístico para vehículos total hora para Vía Colectora

| | <i>Recuento</i> | <i>Promedio</i> | <i>Desviación Estándar</i> | <i>Mínimo</i> | <i>Máximo</i> | <i>Rango</i> |
|---------|-----------------|-----------------|----------------------------|---------------|---------------|--------------|
| 1 (T) | 7 | 945,143 | 231,248 | 624,0 | 1268,0 | 644,0 |
| 2 (s/L) | 10 | 475,2 | 210,8 | 208,0 | 780,0 | 572,0 |
| 3 (c/L) | 14 | 770,857 | 402,37 | 244,0 | 1520,0 | 1276,0 |
| Total | 31 | 714,839 | 356,604 | 208,0 | 1520,0 | 1312,0 |

A través de un análisis de varianza, es posible observar que los promedios según campaña son significativamente diferentes p -valor = 0,0149, mediante test a posteriori de tukey observamos que son estadísticamente diferentes aquellas sin locomoción colectiva de las otras dos campañas. Ver gráfico.

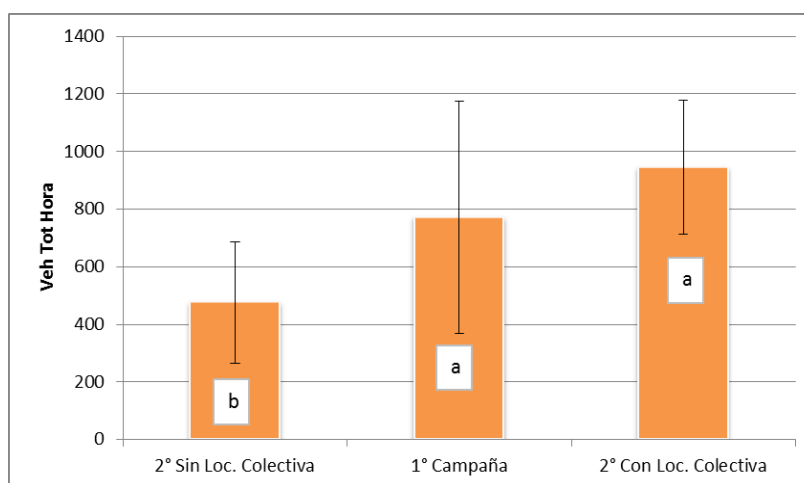


Fig 11. Distribución vehículos total hora media según campaña y desviación estándar para vías colectoras. Letras distintas indican diferencias significativas.

Tabla 8. Resumen Estadístico para % Loc. Colectiva (Vehic. Pesados) Vía Colectora

| | Recuento | Promedio | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo | Rango |
|---------|----------|----------|---------------------|----------|---------|---------|
| 1 (T) | 7 | 9,44725 | 2,97671 | 5,28169 | 13,4545 | 8,17286 |
| 2 (s/L) | 10 | 4,17138 | 3,31342 | 0,0 | 11,5385 | 11,5385 |
| 3 (c/L) | 14 | 9,05727 | 5,89909 | 0,819672 | 20,8955 | 20,0759 |
| Total | 31 | 7,56924 | 5,08431 | 0,0 | 20,8955 | 20,8955 |

A través de un análisis de varianza se puede observar que los promedios según campaña son significativamente diferentes p -valor =0,0305. Mediante test a posteriori de tukey se observa que son estadísticamente diferentes la según campaña sin locomoción colectiva de las otras dos campañas. Ver gráfico.

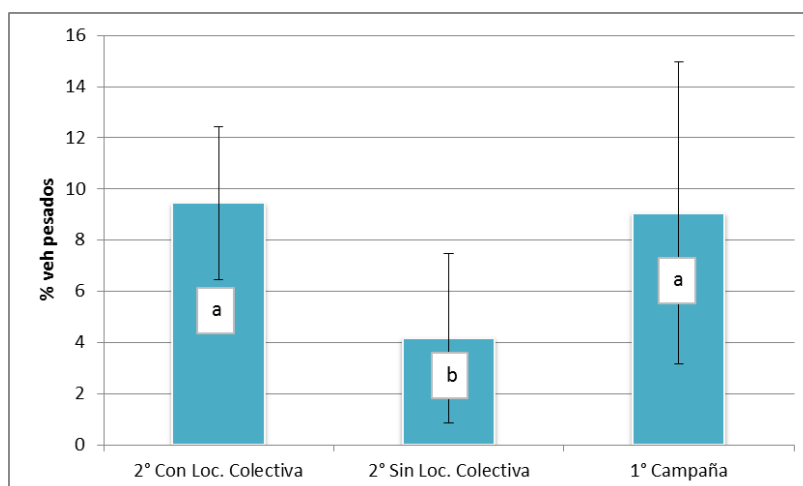


Fig. 12. Distribución % vehículos pesados (loc. colectiva) medio según campaña y desviación estándar para vías colectoras. Letras distintas indican diferencias significativas.

b) Análisis para Vías Servicio

Tabla 9. Resumen Estadístico para vehículos total hora para Vía Servicio.

| | Recuento | Promedio | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo | Rango |
|---------|----------|----------|---------------------|--------|--------|--------|
| 1 (T) | 11 | 694,182 | 346,947 | 228,0 | 1496,0 | 1268,0 |
| 2 (s/L) | 17 | 159,059 | 104,063 | 64,0 | 420,0 | 356,0 |
| 3 (c/L) | 25 | 376,16 | 363,0 | 44,0 | 1536,0 | 1492,0 |
| Total | 53 | 372,528 | 352,26 | 44,0 | 1536,0 | 1492,0 |

A través de un análisis de varianza se puede observar que los promedios según campaña son significativamente diferentes p -valor =0,0002. Mediante test a posteriori de tukey se observa que son estadísticamente diferentes la según campaña sin locomoción colectiva de las otras dos campañas. Ver gráfico.

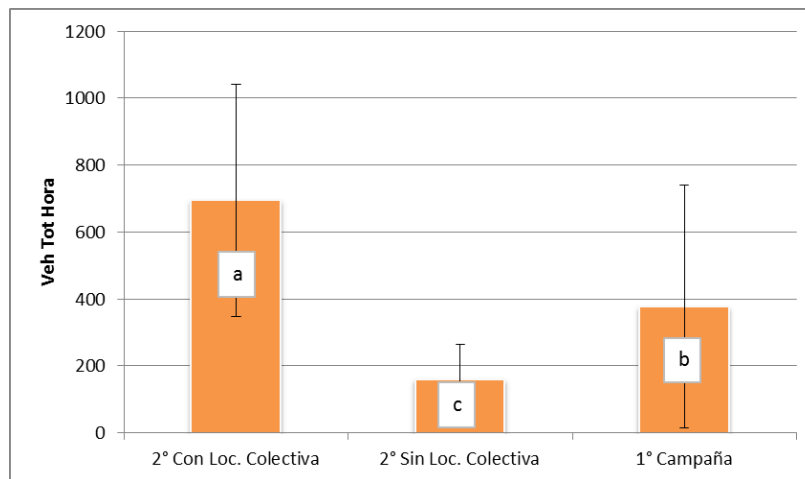


Fig. 13. Distribución vehículos total hora media según campaña y desviación estándar para vías servicios. Letras distintas indican diferencias significativas.

Tabla 10. Resumen Estadístico para % Loc. Colectiva (Vehic. Pesados) Vía Servicio.

| | Recuento | Promedio | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo | Rango |
|---------|----------|----------|---------------------|---------|---------|---------|
| 1 (T) | 11 | 10,1025 | 7,78692 | 1,60428 | 26,3158 | 24,7115 |
| 2 (s/L) | 17 | 3,49046 | 3,85768 | 0,0 | 10,5263 | 10,5263 |
| 3 (c/L) | 25 | 5,25871 | 4,85525 | 0,0 | 15,873 | 15,873 |
| Total | 53 | 5,69684 | 5,73668 | 0,0 | 26,3158 | 26,3158 |

A través de un análisis de varianza se puede observar que los promedios según campaña son significativamente diferentes p -valor = 0,0079. Mediante test a posteriori de tukey se observa que son estadísticamente diferentes en sin locomoción colectiva. Ver gráfico.

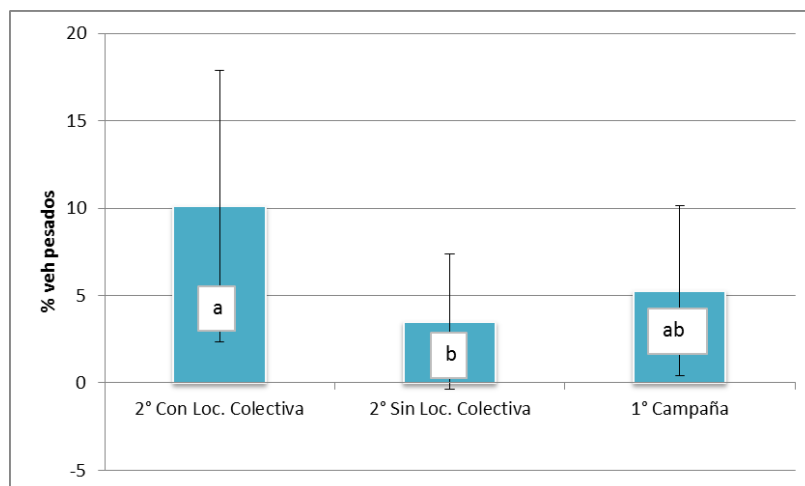


Fig. 14. Distribución % vehículos pesados (Loc. Colectiva) medio según campaña y desviación estándar para vías servicios. Letras distintas indican diferencias significativas.

c) Análisis para Vías Locales

Tabla 11. Resumen Estadístico para Vehículos Totales Hora Vías Locales

| | <i>Recuento</i> | <i>Promedio</i> | <i>Desviación Estándar</i> | <i>Mínimo</i> | <i>Máximo</i> | <i>Rango</i> |
|---------|-----------------|-----------------|----------------------------|---------------|---------------|--------------|
| 1 (T) | 24 | 184,0 | 115,432 | 36,0 | 460,0 | 424,0 |
| 2 (s/L) | 31 | 64,0 | 53,1764 | 8,0 | 248,0 | 240,0 |
| 3 (c/L) | 48 | 95,5 | 80,8618 | 12,0 | 376,0 | 364,0 |
| Total | 103 | 106,641 | 94,1714 | 8,0 | 460,0 | 452,0 |

A través de un análisis de varianza se puede observar que los promedios según campaña son significativamente diferentes p -valor =0,0002. Mediante test a posteriori de tukey se observa que son estadísticamente diferentes en sin locomoción colectiva. Ver gráfico.

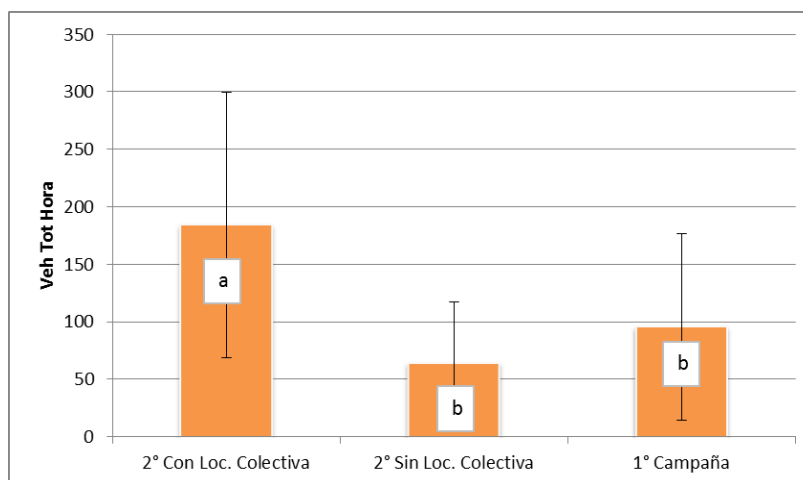


Fig. 15. Distribución vehículos total hora media según campaña y desviación estándar para vías locales. Letras distintas indican diferencias significativas.

Tabla 12. Resumen Estadístico para % Loc. Colectiva (Vehic. Pesados). Vía Local

| | <i>Recuento</i> | <i>Promedio</i> | <i>Desviación Estándar</i> | <i>Mínimo</i> | <i>Máximo</i> | <i>Rango</i> |
|-------|-----------------|-----------------|----------------------------|---------------|---------------|--------------|
| 1 | 24 | 27,0588 | 18,1834 | 1,5873 | 77,7778 | 76,1905 |
| 2 | 31 | 1,93508 | 3,97487 | 0,0 | 16,6667 | 16,6667 |
| 3 | 48 | 7,09335 | 10,5559 | 0,0 | 36,3636 | 36,3636 |
| Total | 103 | 10,193 | 14,9239 | 0,0 | 77,7778 | 77,7778 |

A través de un análisis de varianza podemos se puede observar que los promedios según campaña son significativamente diferentes p -valor =0,0000. Mediante test a posteriori de tukey se observa que son estadísticamente diferentes sin locomoción colectiva. Ver gráfico.

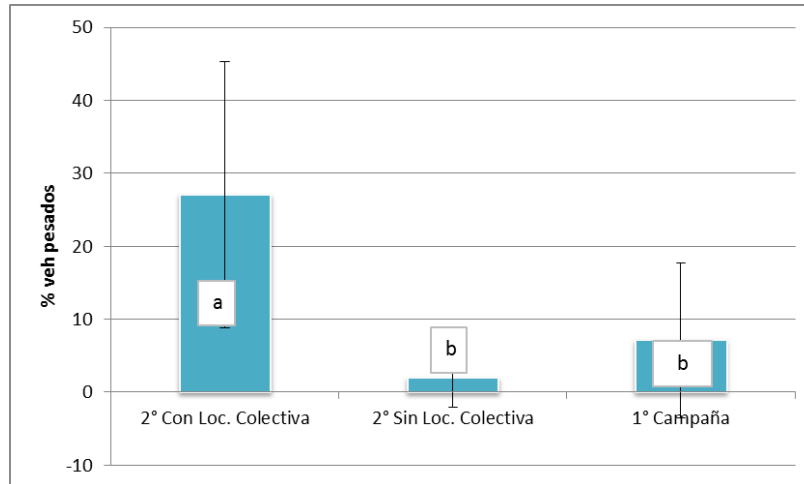


Fig. 16. Distribución % vehículos pesados (loc. colectiva) medio según campaña y desviación estándar para vías locales. Letras distintas indican diferencias significativas.

Los puntos “nuevos” que fueron asignados en la campaña de mediciones 2014 para cumplir con la distribución de puntos según la Ecuación 4, se presentan en las siguientes figuras. Es importante comentar que, a pesar que la información oficial de los recorridos de la locomoción colectiva permitió agrupar apropiadamente las vías en las seis subcategorías (o nuevas categorías), en terreno se encontraron vías que contaban con locomoción colectiva a pesar de estar clasificadas inicialmente sin presencia de locomoción colectiva. Estos casos, que fueron pocos (pero existen), se analizaron como vías con locomoción colectiva.

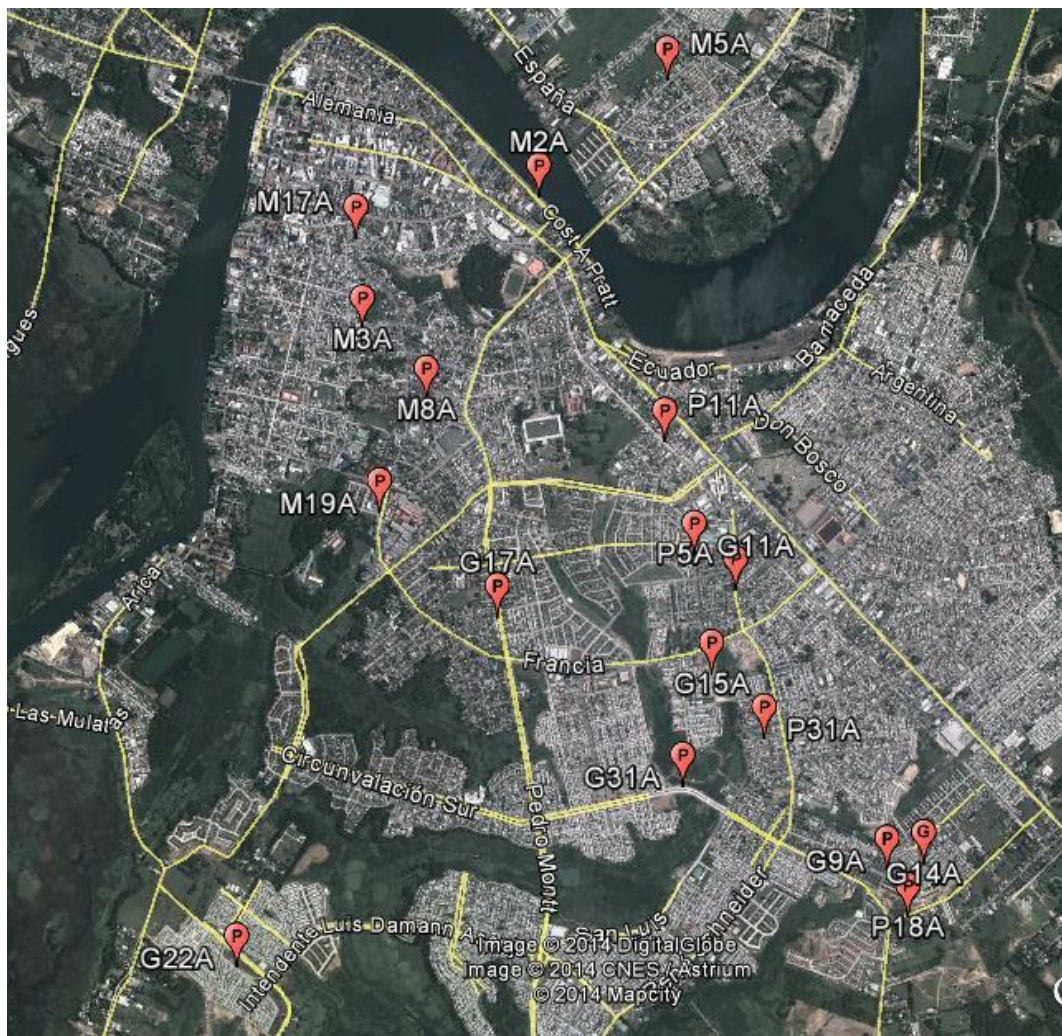


Fig. 17. Puntos nuevos en la campaña de medición acústica de 2014, considerando la subclasificación vial.

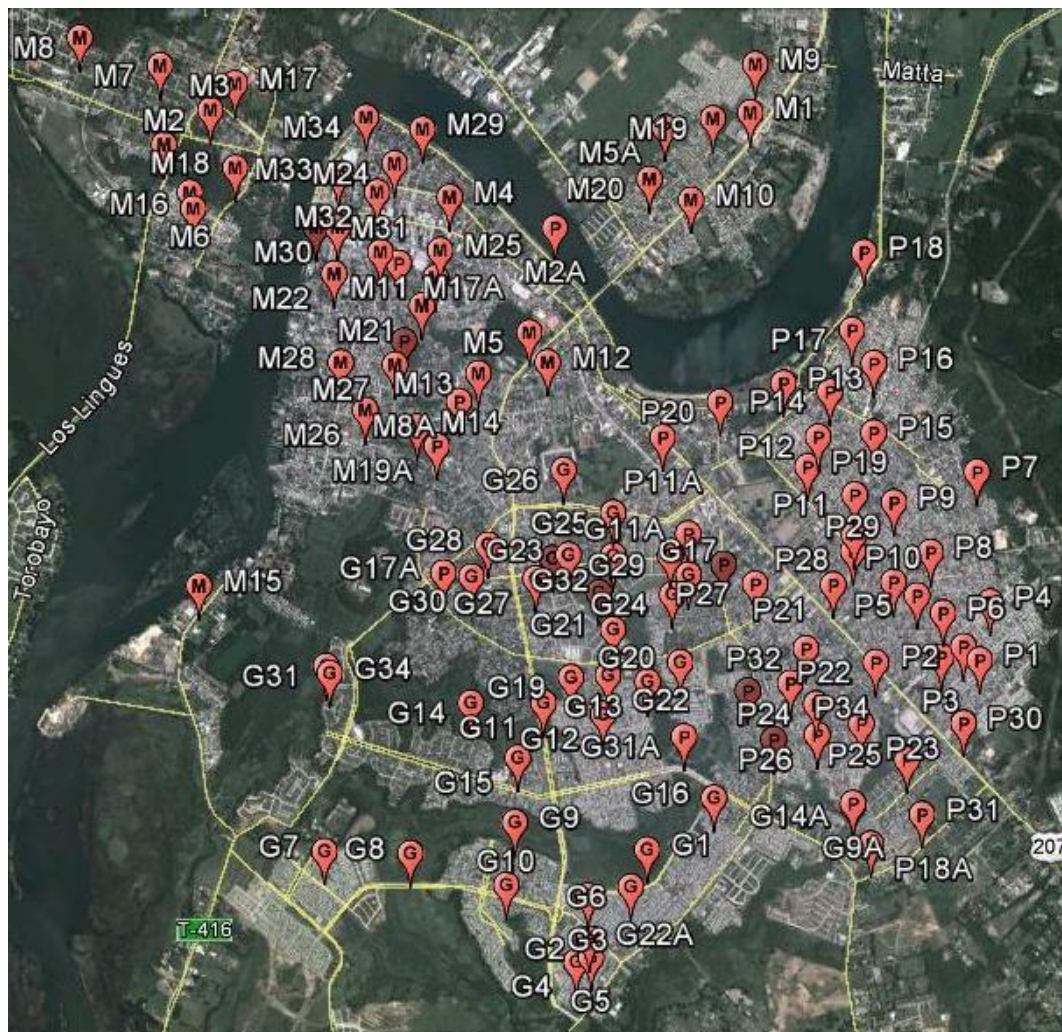


Fig. 18. Puntos de la Campaña de Medición acústica de 2014, considerando la subclasificación vial.

g) Mediciones Históricas

Para efectos de análisis del comportamiento acústico de las vías de Valdivia se generó y analizó una base de datos de muchas mediciones. Esta base de datos incluye sólo mediciones de 15 minutos, entre los años 2010 y 2013, que cuentan con flujo vehicular. Estos datos corresponden a trabajos académicos del Instituto de Acústica, realizados por estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil Acústica, estudiantes de posgrado y académicos. En la siguiente figura se muestra una distribución especial de los puntos de medición incluidos en esta base de datos.

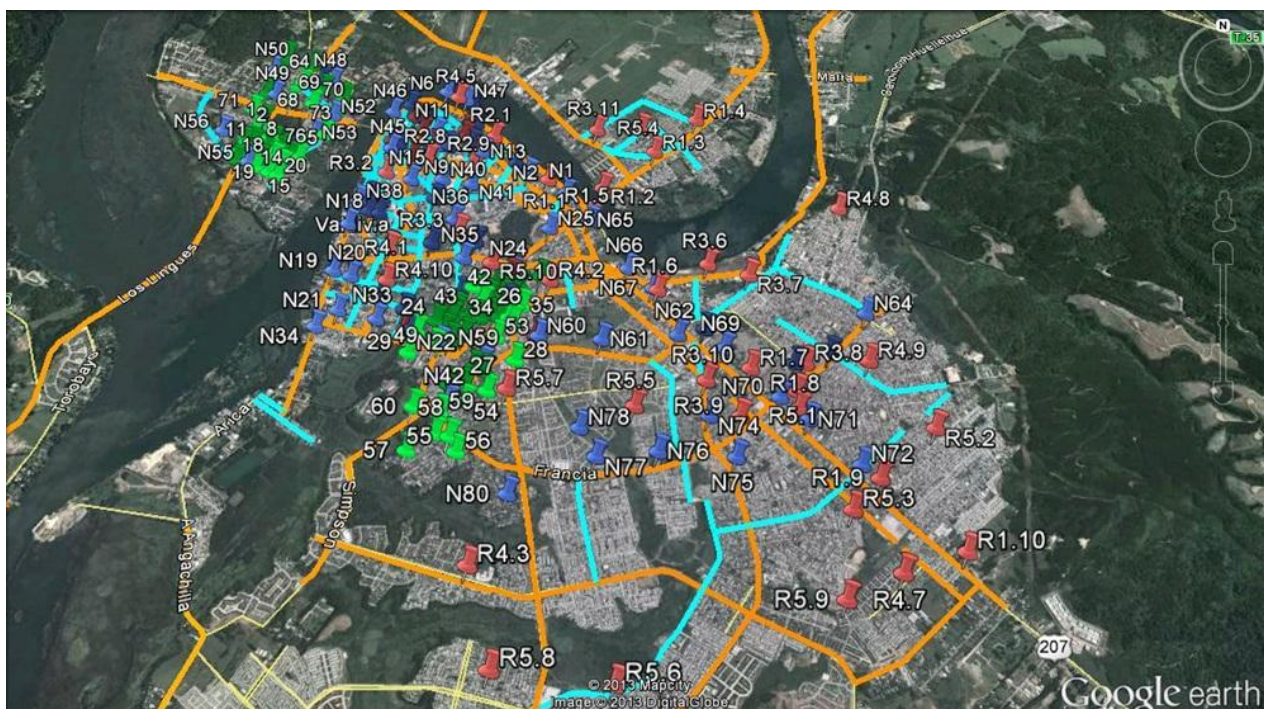


Fig. 19 Mediciones históricas de Valdivia

h) Mediciones Campaña 2013-2014

Tal como se comentó, se realizó una campaña de 100 mediciones acústica durante noviembre de 2013 y otras 100 mediciones acústicas en marzo de 2014. El detalle de los datos se encuentra en un anexo. A continuación se muestra un mapa con la distribución de estas mediciones de 15 minutos, con registro de datos acústicos y de flujo vehicular.

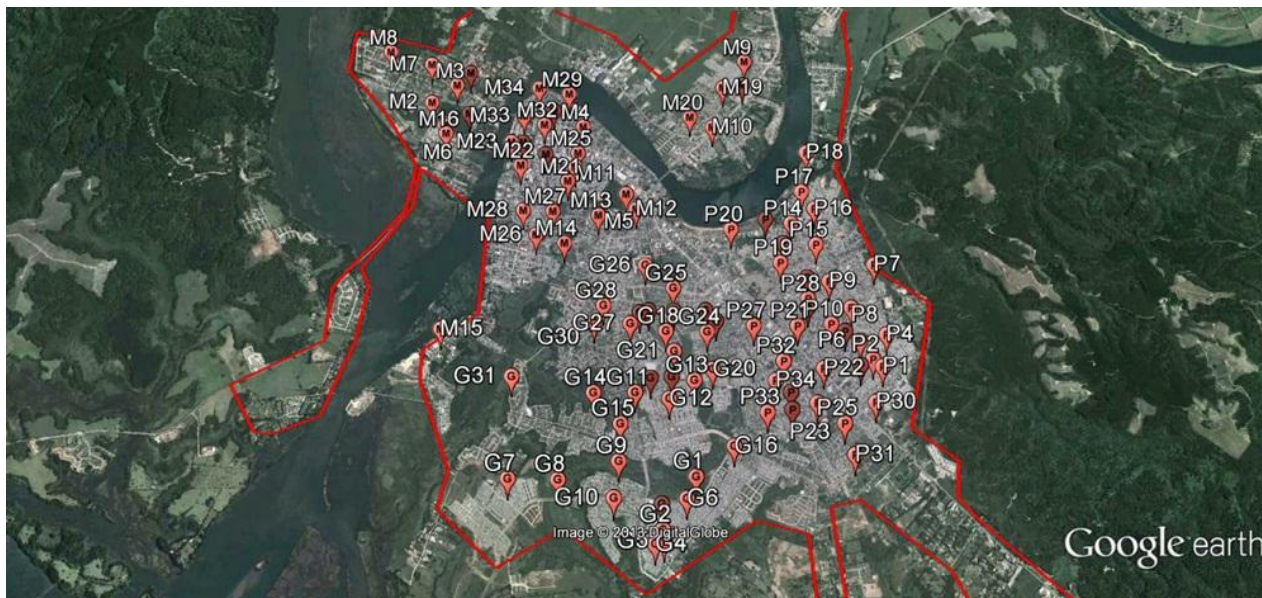


Fig. 20 Mediciones Campaña 2013 en Valdivia

Esta campaña se llevó a cabo la semana del 18 al 22 de noviembre de 2013 y del 25 al 28 de marzo de 2014, por los Ing. Civil Acústico Sr. Pablo Zurita, Martín Reyes, Andrés Varas (egresado), Yenny Hernández (Ing. Acústico) y el Prof. Jorge Cárdenas.

De acuerdo al plan de trabajo se realizaron mediciones en terreno utilizando un tiempo de medición de 15 minutos, considerando los siguientes descriptores: Leq dB(A) (nivel de presión sonora continuo equivalente), Lmax y Lmin (nivel máximo y nivel mínimo), y niveles percentiles L10, L50 y L90. Además, durante cada medición se realizó un conteo diferenciado de vehículos, con el objetivo de considerar el efecto de la variable flujo vehicular sobre la relación entre valor de Leq medido y modelado. En anexo se presentan los valores obtenidos para el flujo vehicular y el nivel equivalente en las diferentes categorías de vías.

i) Mediciones Estaciones Fijas

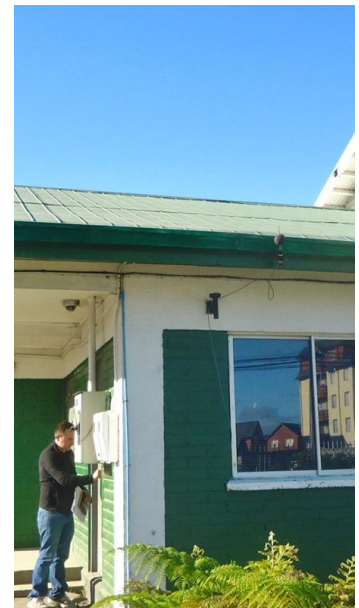
Las estaciones fijas de esta campaña se instalaron en cinco distintos puntos, y generaron registros continuos de más 6 días. Las fichas de caracterización de los puntos fijos se encuentran en anexo. Los puntos de medición fueron:



Estación Calle Yungay #698 (aprox.)
(Vía Servicio c/Loc. Colectiva)



Estación Calle Andwanter #834
(Vía Colectora c/Loc. Colectiva)



Estación Calle Francia #2950
(Vía Colectora c/Loc. Colectiva)



Estación Calle Carelmapu #2027
(Vía Local s/Loc. Colectiva)



Estación Calle Los Boldos #415
(Vía Local c/Loc. Colectiva)

Fig. 21. Localización de Estaciones Fijas Campaña 2013-2014 en Valdivia

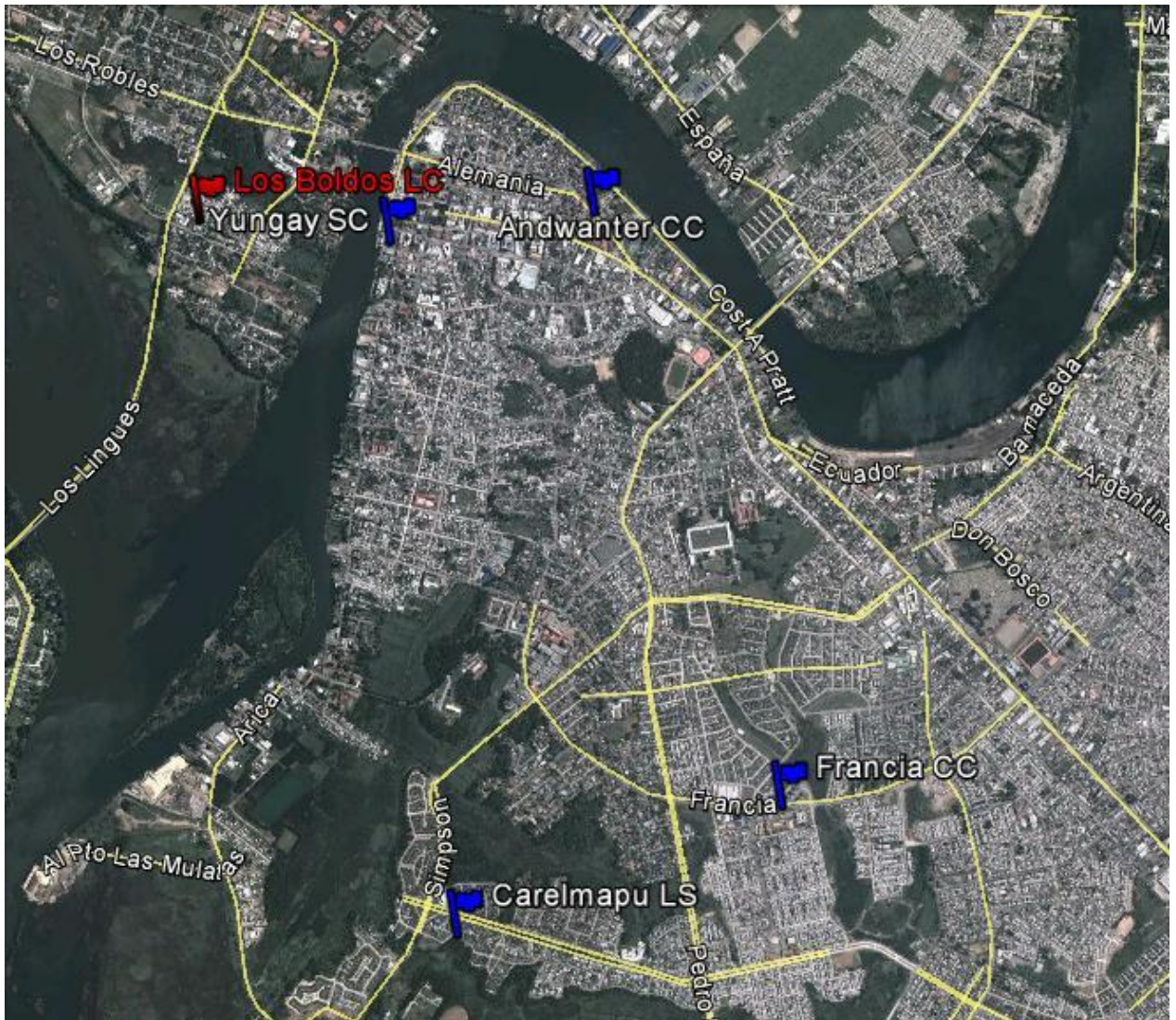
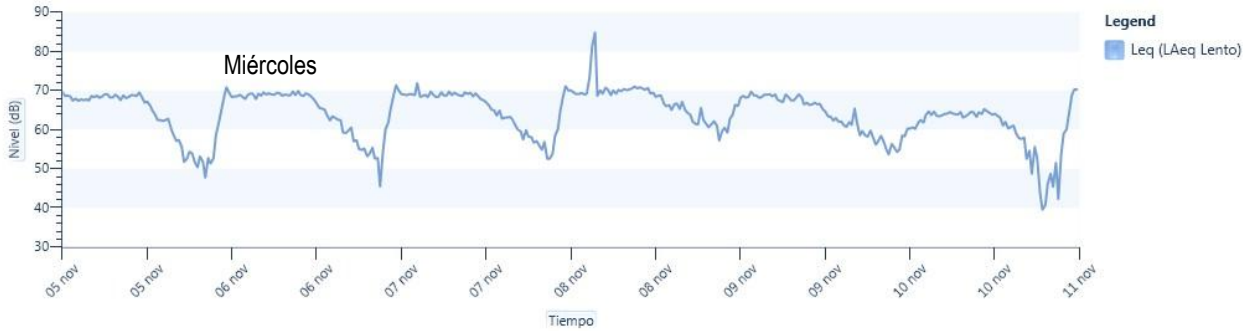


Fig. 22 Localización de Estaciones Fijas Campaña 2013-2014 en el mapa de Valdivia

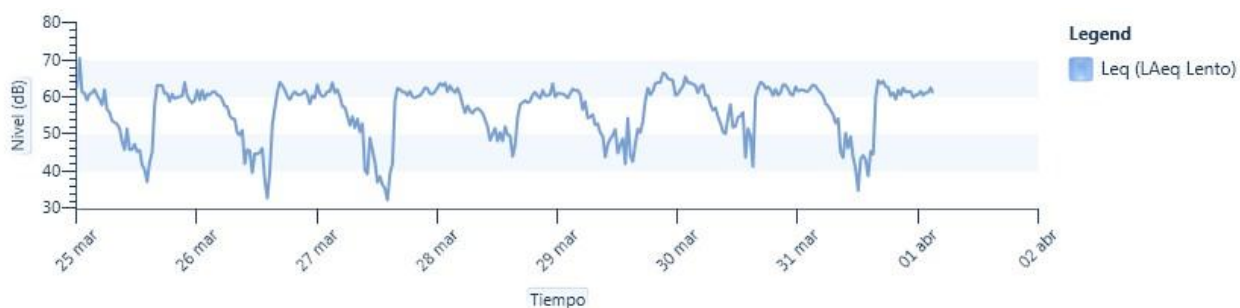


Fig. 23 Localización de Estaciones Fijas Campaña 2013-2014 en el mapa de Valdivia (detalle)

Datos medidos en las estaciones fijas.



Niveles Equivalentes de 15 minutos - Estación Calle Carelmapu (Vía Local)



Niveles Equivalentes de 15 minutos - Estación Calle Los Boldos (Vía Local)

Fig. 24 Registros de Nivel Continuo Equivalente Leq 15 min. Estaciones Fijas Campaña 2013-2014 en Valdivia

En las gráficas anteriores se puede observar que:

- Para vías Colectoras y Servicio medidas, los días de semana no se diferencian en cuanto a su comportamiento acústico.
- Existe una notable estabilización de los niveles de ruido durante el período del día en las calles Colectoras y de Servicio.
- La vía Local Carelmapu presenta grandes fluctuaciones de niveles de ruido medido, acusando eventos acústicos ajenos al tránsito vehicular (por ejemplo, ladrido de perros). La vía Local Los Boldos presenta otro perfil más estable, y caracteriza una vía Local con Locomoción Colectiva.

Coherencia entre los datos medidos en las estaciones y los valores de puntos de medición

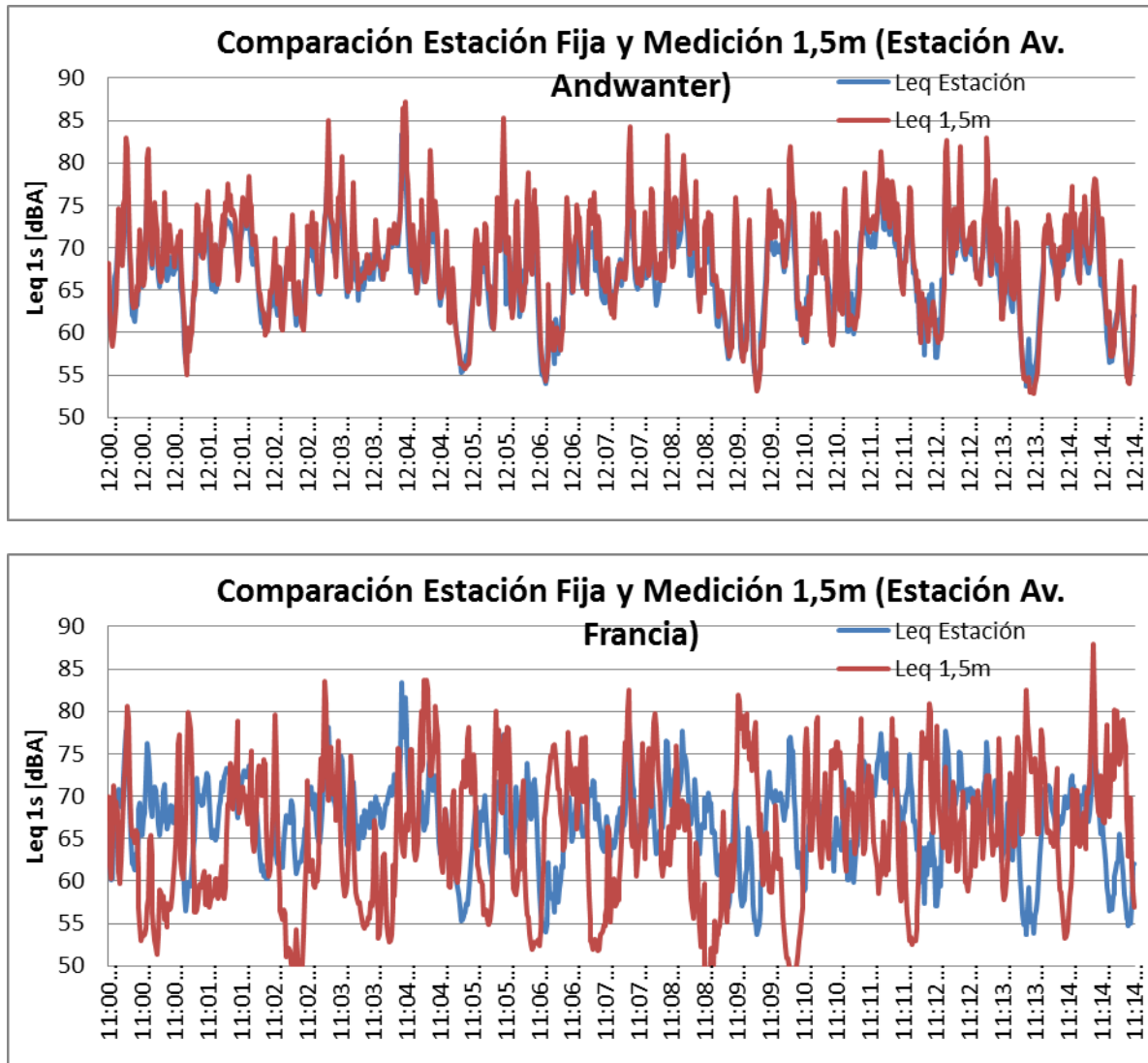


Fig. 25 Comparación Registros de Nivel Continuo Equivalente Leq 1s en. Estaciones Fijas Campaña 2013 en Valdivia y Puntos a Orilla de calle.



Fig. 26 Montaje para comparación Registros de Nivel Continuo Equivalente Leq 1s en Estaciones Fijas Campaña 2013 en Valdivia y Puntos a Orilla de calle. Estación Anwanter

En las gráficas anteriores se representan los niveles segundo a segundo registrados durante 15 minutos en una estación fija y un punto ubicado a 1,5 m en la vereda, perpendicular a la calle y en línea con la estación fija. Se puede apreciar una excelente coherencia entre estas mediciones en la estación fija de Av. Anwandter. Es decir, la estación refleja perfectamente el comportamiento del flujo vehicular. En la segunda gráfica se muestran diferencias entre las mediciones realizadas por los dos equipos en forma simultánea. Esto se debe a la mayor distancia a la fuente a medir (tránsito vehicular), y la influencia de otras fuentes de ruido. Este es el principal problema de establecer un punto de medición fijo.

Visto lo anterior, se está en desarrollo un sistema de montaje autónomo para las estaciones fijas, consistente en una caja metálica que es montada en la vía pública un poste de energía eléctrica. Este sistema fue el utilizado en la estación Calle Los Boldos.

Comportamiento de los niveles de ruido nocturnos.

La instalación de estaciones de monitoreos fijas permite establecer el perfil de variación de nivel de ruido durante la noche (horario nocturno 23:00 a 7:00). Se ha obtenido el perfil representativo para cada uno de los tipos de vías analizadas, considerando mediciones continuas de los niveles nocturnos para varias noches. Se analizan las noches entre días martes y jueves, 7 noches para vías locales, 3 noches para vías de servicio, 8 noches para vías colectoras.

En la siguiente figura se muestra el perfil obtenido al considerar niveles de presión sonora continuo equivalentes de 15 minutos. Como se puede apreciar, la tendencia del perfil nocturno es muy similar para los tres tipos de vías. Como es de esperar, el perfil con variaciones más marcadas y niveles más bajos es el correspondiente a vías locales. En el gráfico se representan en el eje x, los minutos a partir de las 23:00 hrs., de manera que los 60 minutos corresponden a las 00:00 hrs., y los 465 minutos a las 06:45 hrs.

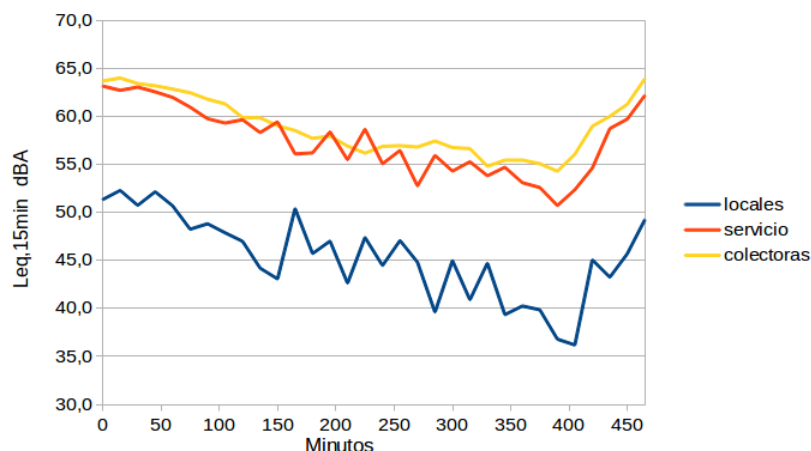


Fig. 27. Perfiles de nivel nocturno (nivel de presión sonora continuo equivalente de 15 minutos) representativos para las vías locales, de servicio, y colectoras en la ciudad de Valdivia. Se indican en el eje horizontal los minutos (las 23:00 hrs. corresponden al minuto 0 y los 465 minutos a las 06:45 hrs).

El comportamiento del nivel de presión sonora continuo equivalente acumulado durante la noche se aprecia en la siguiente figura, y entrega una idea en cuanto tiempo que es necesario para considerar que se estabiliza la lectura del nivel equivalente Leq. Lo anterior es muy relevante a la hora de decidir si realizar conteos de flujo y mediciones durante toda la noche, o considerar períodos más breves. A continuación se muestra en una figura con la evolución nocturna del nivel de presión sonora continuo equivalente acumulado para los tres tipos de vía. También es posible apreciar un comportamiento muy similar para los tres tipos de vía, manteniendo la misma tendencia de curva, pero con valores diferentes.

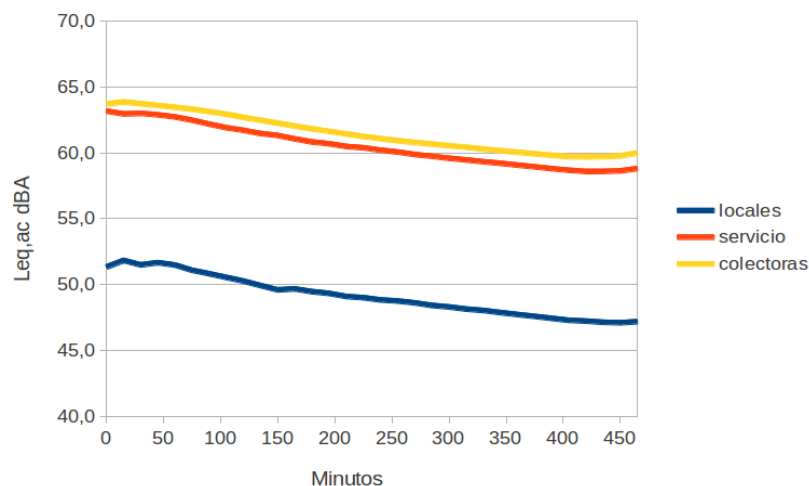


Fig. 28. Perfiles de nivel nocturno (nivel de presión sonora continua equivalente de 15 minutos) representativos para las vías locales, de servicio, y colectoras en la ciudad de Valdivia. Se indican en el eje horizontal los minutos (las 23:00 hrs. corresponden al minuto 0 y los 465 minutos a las 06:45 hrs).

El comportamiento del perfil característico nocturno podría ofrecer hacer ajustes o correcciones en los casos en que las mediciones y/o conteos de flujo vehicular se han realizado en un horario limitado que no considera toda la noche.

La figura anterior se muestra la evolución de la diferencia entre nivel de presión sonora continuo equivalente acumulado (Leq, ac) y nivel equivalente total (Leq, T) (en este caso corresponde al nivel noche L_d). Se puede apreciar con claridad que las curvas obtenidas para todos los tipos de vías, presentan tendencias y valores similares. A partir de aproximadamente el minuto 300 (aprox las 4:00 de la mañana) todas las curvas muestran una diferencia entre el nivel equivalente total (Leq, T) y el nivel equivalente acumulado (Leq, ac) inferior a 1 dBA. Este análisis indica que si se limita el horario de medición y, por ejemplo, no se mide en las noches después de las 4:00 hrs, el error debido a no medir en este período (04:00 a 07:00 hrs), debería ser inferior a 1dBA.

La caracterización del perfil nocturno de una ciudad y la diferencia entre el nivel acumulado y el nivel total (como el mostrado en la siguiente figura) permitirían concentrar la campaña de mediciones en realizar conteos y/o mediciones en un horario reducido (por ejemplo hasta las 1:00, correspondiente al minuto 120) y posteriormente aplicar una corrección o ajuste adecuado. En este ejemplo, y de acuerdo a la información de la mencionada figura, corresponde aproximadamente a una corrección de 3 dBA.

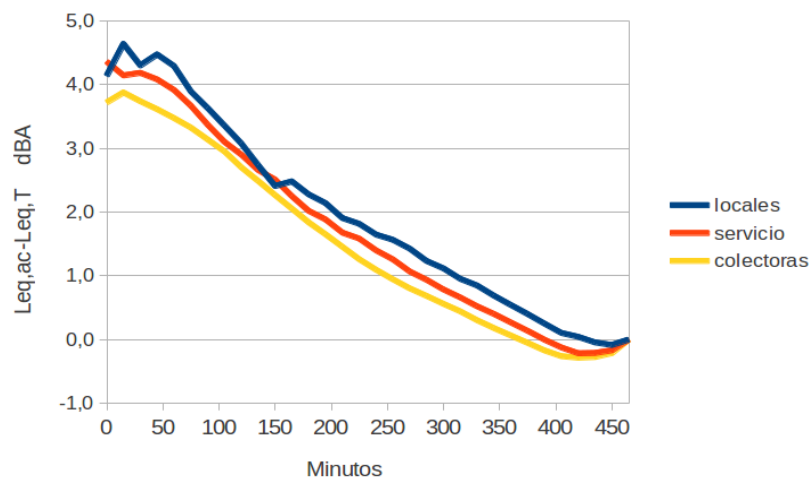


Fig. 29. Perfiles de diferencia entre nivel equivalente acumulado (Leq,ac) y nivel total (Leq,T) representativos para las vías locales, de servicio, y colectoras en la ciudad de Valdivia. Se indican en el eje horizontal los minutos (las 23:00 hrs. corresponden al minuto 0 y los 465 minutos a las 06:45 hrs).

5.2.4. Mapa de ruido modelado

a) Datos de modelación mapa de ruido diurno de Valdivia.

El mapa de ruido se ha generado con el análisis de los datos de la campaña 2013 y 2014, según el tipo de vía y con o sin locomoción colectiva. En anexo se encuentran los datos tabulados.

Respecto al análisis de los datos y los descriptores utilizados, es conveniente indicar algunos aspectos estadísticos relevantes. Estadísticos resistentes son aquellos que no se ven influenciados (o solo ligeramente) por pequeños cambios en los datos. Evidentemente, la media aritmética es un estadístico muy poco resistente a cambios en los datos, dado que se ve afectada por todos y cada uno de ellos. Sobre cuando se presentan “outliers” (valores extremos).

En las situaciones en que se presentan valores extremos y una alta variabilidad, se debe buscar un estadígrafo más resistente que puede ser la mediana o la media recortada. Ambas medidas son resistentes y robustas. La primera no se ve influenciada por valores extremos y la segunda obtiene el promedio quitando un porcentaje de ambos extremos. Por este motivo que se ha recomendado visualizando los parámetros antes descritos usar la mediana en las situaciones en que se presenta mayor variabilidad y la media recortada en que la variabilidad es más baja. La excepción a esta regla se puede producir en situaciones en que la mediana de cero, aquí se decide usar la media recortada. Los datos, tablas y gráficos de tales análisis se encuentran en anexo.

En la mayoría de los casos lo más apropiado es usar media recortada al 5% en lugar del promedio.

Tabla. 13 Resumen de datos utilizados para elaborar el mapa de ruido diurno de Valdivia

| Tipo de Vía | Cantidad de Mediciones Flujo Vehicular | Vehículos Total hora (Mediana Recortada) | Porcentaje de Vehículos Pesados hora (Mediana Recortada) |
|---------------|--|--|--|
| Colectora con | 34 | 810 | 9 |
| Colectora sin | 14 | 441 | 3.6 |
| Servicio con | 38 | 572 | 9.3 |
| Servicio sin | 42 | 139 | 2.1 |
| Local con | 59 | 175 | 22.3 |
| Local sin | 100 | 56 | 1.7 |
| Total | 287 | | |

b) Datos de modelación mapa de ruido nocturno de Valdivia.

Para obtener los datos que son necesarios para la modelación nocturna, se realizaron análisis sobre la representatividad de los flujos medidos para su utilización con estos fines. En el caso del periodo nocturno se tienen tres tipos de vías, ya que no hay locomoción colectiva que genere una subcategoría. Así, se tendrán vías Colectoras, Servicio y Locales.

Para analizar el resultado de calcular un flujo vehicular representativo a partir de los conteos de flujos vehiculares realizados en la ciudad en los tipos de vías, se asumirá que en el momento de realizar el conteo se obtiene el nivel de presión sonora continuo equivalente correspondiente justamente a esos quince minutos. De esta manera, se va a suponer que al tener el dato de flujo, también se obtienen el dato Leq de la categoría para esos mismos quince minutos.

Ahora bien, si los conteos de flujo vehicular se representan con un punto rojo en el eje del tiempo, y se grafica el comportamiento del nivel de presión sonora continuo equivalente de 15 minutos en el mismo gráfico, se obtiene una figura como la siguiente.

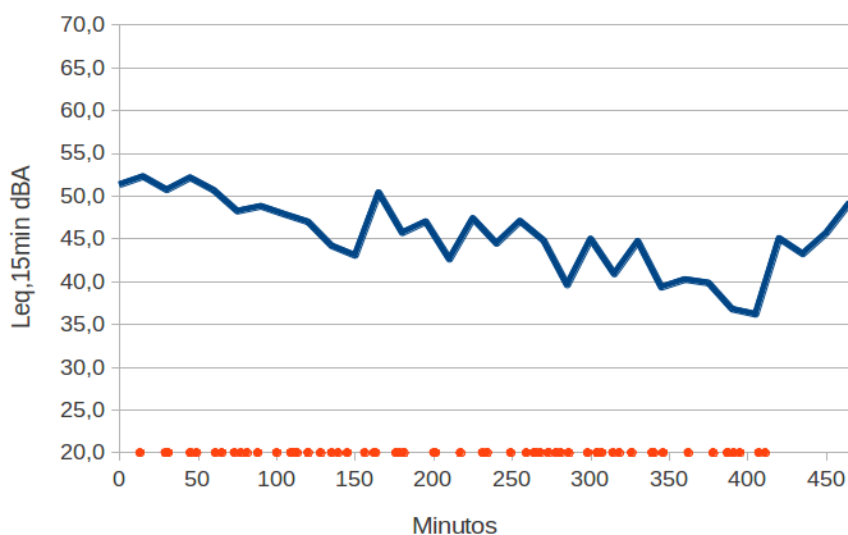


Fig. 30. Nivel de presión sonora equivalente nocturno medido (nivel equivalente de 15 minutos) para vías locales. Los puntos sobre el eje x indican los tiempos de realización de conteos de flujo vehicular nocturno.

Para efectos del análisis, se calcula el nivel de presión sonora continuo equivalente para todo el periodo horario considerado (en este caso es la noche, es decir L_n), y se compara con un nivel de presión sonora continuo equivalente que se obtiene de todas las mediciones asignadas a los flujos vehiculares medidos. Es decir, se compara el Leq de toda la noche con otro calculado a partir sólo de las muestras en los periodos de conteo de flujo vehicular. El mismo análisis es posible realizar para las otras vías: Servicio y Colectoras (figuras siguientes)

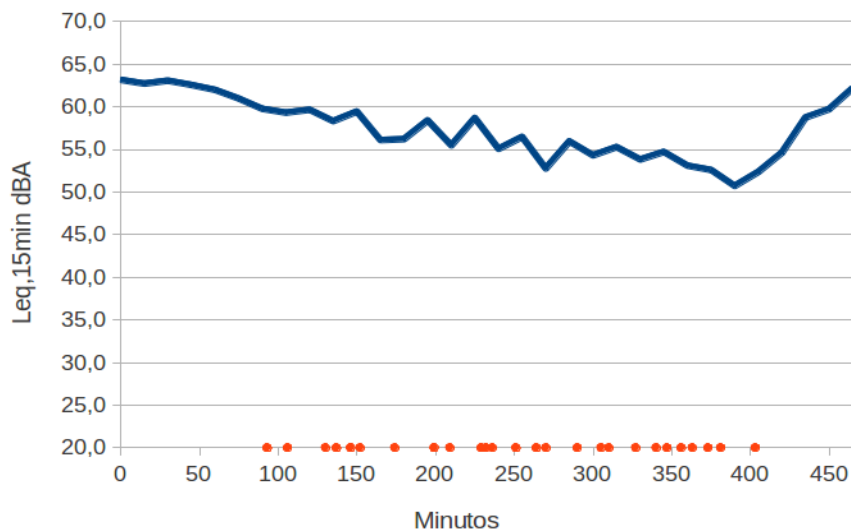


Figura 31. Nivel de presión sonora equivalente nocturno medido (nivel equivalente de 15 minutos) para vías de Servicio. Los puntos sobre el eje x indican los tiempos de realización de conteos de flujo vehicular nocturno.

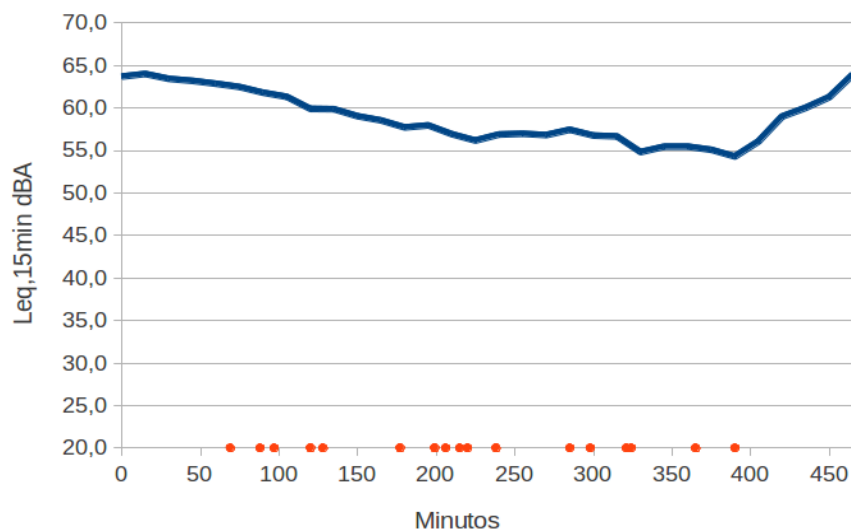


Fig. 32. Nivel de presión sonora equivalente nocturno medido (nivel equivalente de 15 minutos) para vías Colectoras. Los puntos sobre el eje x indican los tiempos de realización de conteos de flujo vehicular nocturno.

En la tabla se muestran los resultados de obtener el nivel de presión sonora continuo equivalente a partir de todas las mediciones de 15 minutos y a partir de aquellas donde se tomaron flujos vehiculares. Se aprecia una diferencia poco significativa, y por lo tanto, es posible obtener un valor de Ln a partir de muestras de flujo vehicular.

Tabla 14. Diferencia entre el Nivel de presión sonora equivalente nocturno medido (nivel equivalente de 15 minutos) y un valor obtenido a partir de los tiempos de realización de conteos de flujo vehicular nocturno.

| | Locales | Servicio | Colectoras |
|--|---------|----------|------------|
| Leq período nocturno (dBA) (Ln) | 47.2 | 58.8 | 60.0 |
| Leq considerando solo horarios de conteos de flujo (dBA) | 47.0 | 56.9 | 58.9 |
| Diferencia | 0.2 | 1.9 | 1.1 |

Para la elaboración del mapa de ruido nocturno de Valdivia se analizaron los datos de flujos nocturnos por categoría, y de ellos se obtuvo el promedio. En este análisis se optó por modelar con la media recortada a un 10%, como un mejor descriptor de la situación nocturna. En este caso se utilizaron sólo tres categorías, ya que en el periodo nocturno no hay locomoción colectiva.

Tabla. 15 Análisis de datos de flujo nocturno para Valdivia

| Tipo de vía | Recuento | Promedio | Mediana | Media Recortada 10% | Desviación Estándar | CV | Mínimo | Máximo | Rango |
|-------------|----------|----------|---------|---------------------|---------------------|----------|--------|--------|-------|
| Colectora | 17 | 86,5882 | 44,0 | 76,8529 | 81,2766 | 93,8656% | 0,0 | 284,0 | 284,0 |
| Servicio | 25 | 21,44 | 16,0 | 19,5 | 15,27 | 71,2221% | 0,0 | 64,0 | 64,0 |
| Local | 53 | 10,8679 | 8,0 | 9,64151 | 9,55558 | 87,9246% | 0,0 | 40,0 | 40,0 |
| Total | 95 | 27,2 | 16,0 | 16,3684 | 45,0724 | 165,707% | 0,0 | 284,0 | 284,0 |

Tabla. 16 Resumen de datos utilizados para elaborar el mapa de ruido nocturno de Valdivia

| Tipo de Vía | Cantidad de Mediciones Flujo Vehicular | Vehículos Total hora (Media Recortada) | Porcentaje de Vehículos Pesados hora (Media Recortada) |
|-------------|--|--|--|
| Colectora | 17 | 77 | 0 |
| Servicio | 25 | 20 | 0 |
| Local | 53 | 10 | 0 |
| Total | 95 | | |

Asignación de velocidades

De acuerdo los flujos de las vías estudiadas, y los resultados obtenidos en la comparación con los diferentes modelos, se consideró apropiado asignar 40 Km/h para las categorías presentes en la ciudad de Valdivia.

c) Mapa de ruido de Valdivia

A continuación se presentan los mapas de ruido diurno y nocturno de la ciudad de Valdivia. En anexo se adjuntan archivos gráficos con mejor resolución.

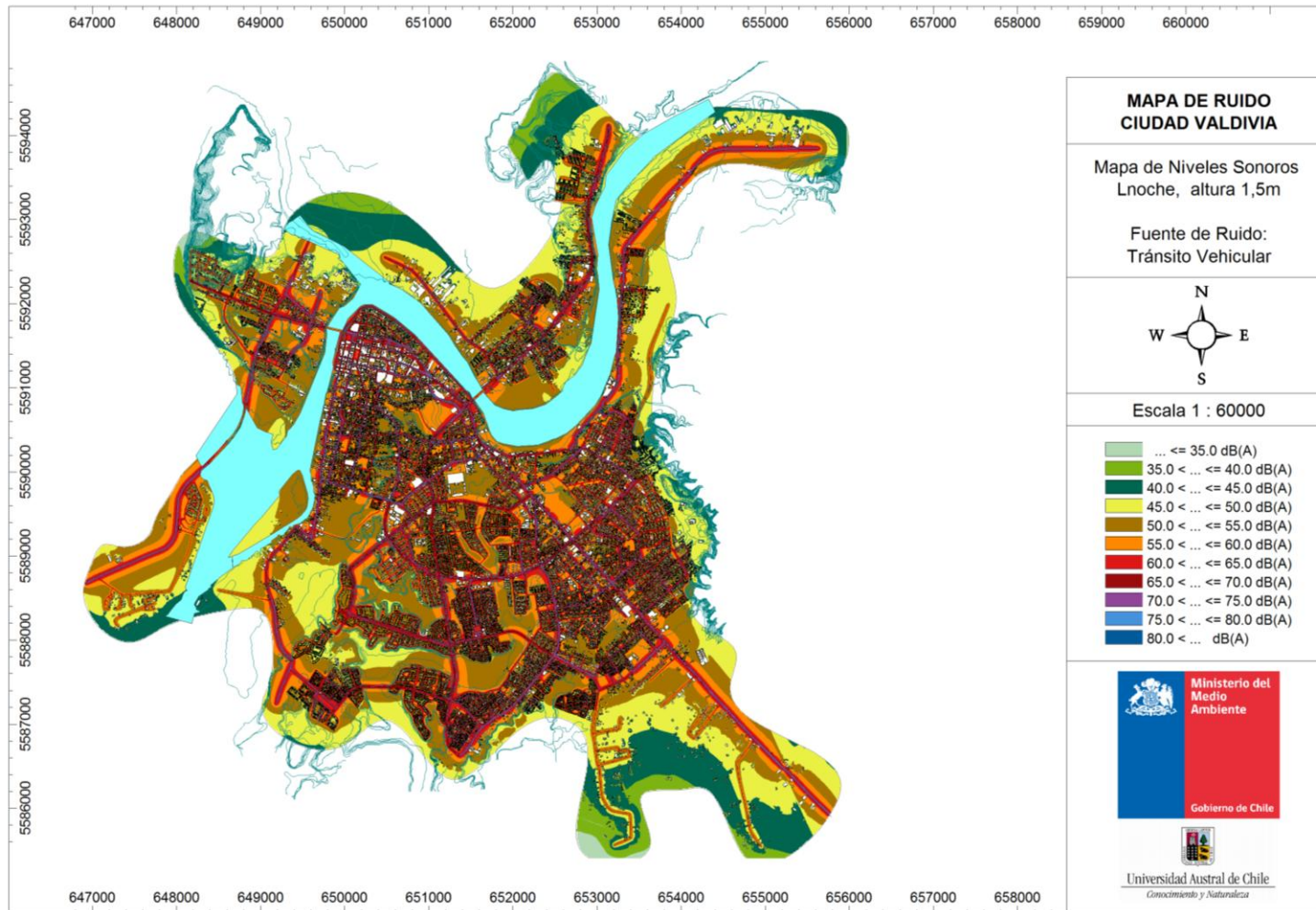


Fig. 33 Mapa de Ruido Ld (Nivel Día) de la Ciudad de Valdivia

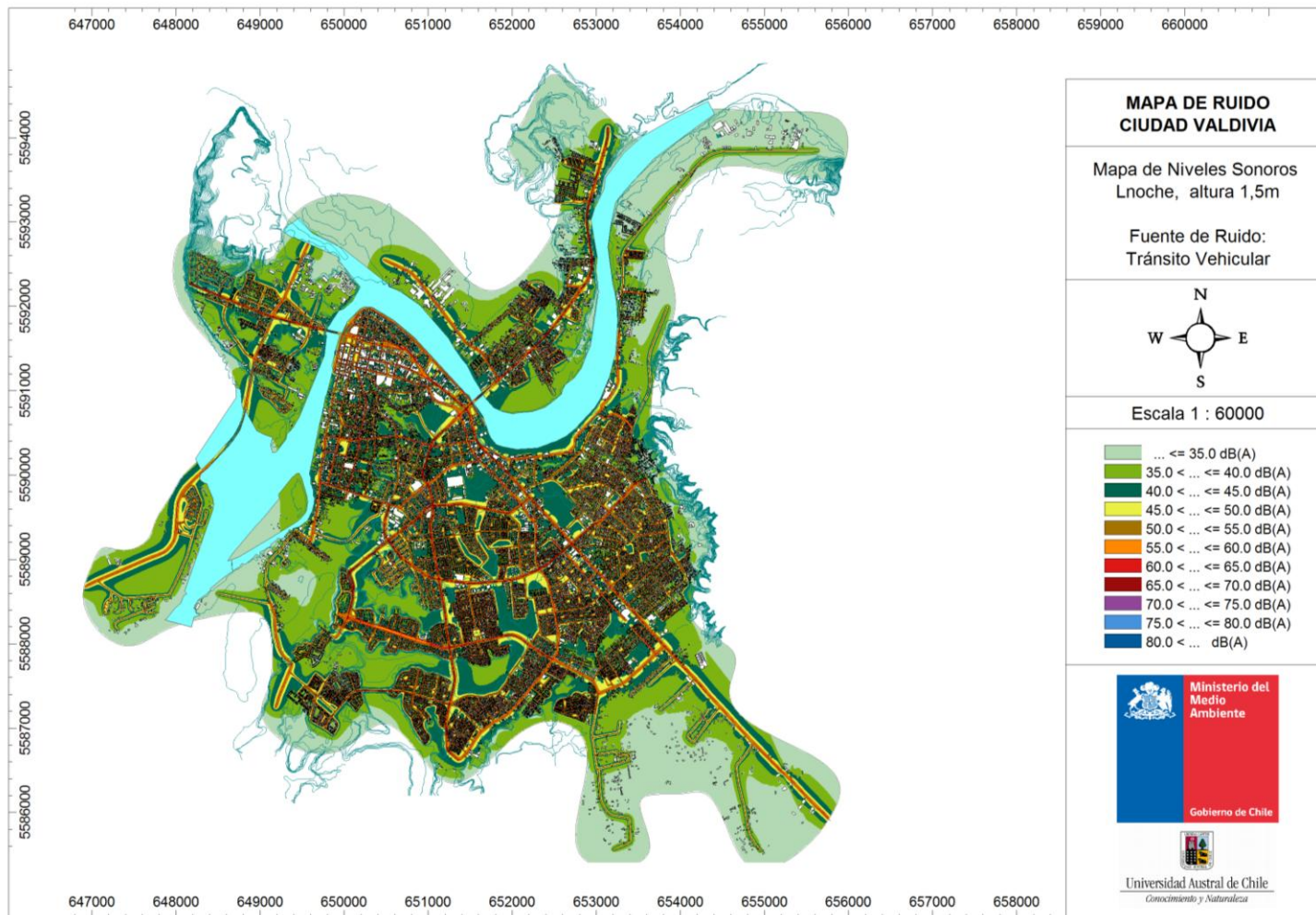


Fig. 34 Mapa de Ruido Ln (Nivel Noche) de la Ciudad de Valdivia

5.2.5. Comparación modelación y mediciones

A continuación se realiza un estudio del comportamiento del modelo de ruido de tránsito considerado según estudios previos, el modelo de predicción alemán RLS90. Para efectos del análisis se han considerado los flujos y mediciones realizadas, el correspondiente tipo de carpeta, hormigón y reflexiones de primer orden. Para todas las vías se ha considerado una velocidad promedio de 40 Km/h.

La comparación se realiza a través de un análisis de diferencias con el objetivo de establecer la diferencia promedio de la muestra, según la siguiente ecuación. Además, se incluye el porcentaje de valores o puntos de medición que superaron una diferencia entre modelo y medición de 1 dBA, 3 dBA y 5dBA.

$$Diferencia = | L_{medido} - L_{simulado} |$$

Donde:

L_{medido} : Nivel de ruido medido (dBA).

$L_{simulado}$: Nivel de ruido modelo predictivo RLS90 (dBA).

Análisis con datos de campaña 2013

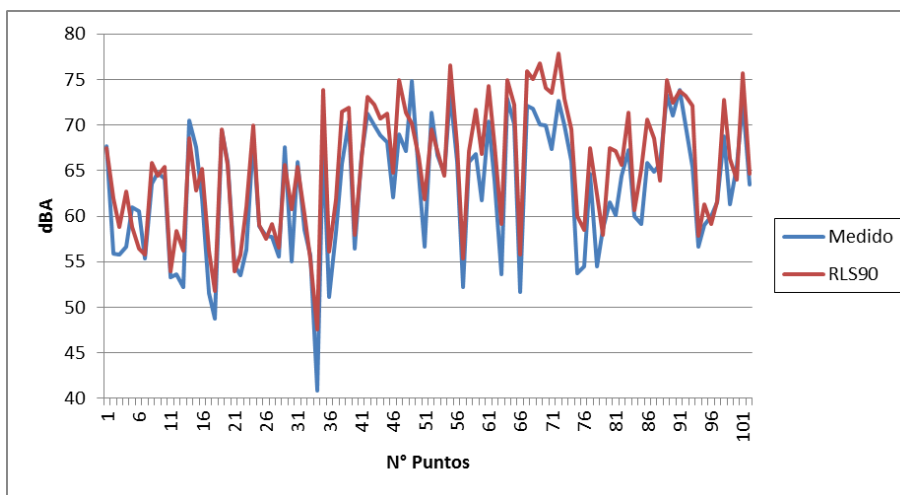


Fig 35. Curvas de nivel de ruido modelo RLS90 versus nivel medido u observado (campaña 2013).

En la Figura 38 se muestran los niveles de presión sonora equivalente en dBA obtenidos mediante la medición en los diferentes puntos de la campaña de medición 2013 y los valores calculados mediante el modelo RLS90. En

forma general, para el modelo de ruido de tránsito rodado utilizado se puede visualizar que el método alemán RLS-90 se obtiene una curva cercana a los valores medidos.

A continuación se muestran las diferencias promedio entre nivel medido y nivel calculado a partir del modelo RLS90.

Tabla 17. Diferencia promedio entre el valor simulado con el modelo RLS90 y el valor medido u observado (campana 2013).

| Modelo | Diferencia Promedio [dBA] |
|--------|---------------------------|
| RLS90 | 3,01 |

Siguiendo con el análisis de diferencias se presenta a continuación un gráfico donde se incluye el porcentaje de valores o puntos de medición que superaron una diferencia entre modelo y medición de 1 dBA, 3 dBA y 5 dBA respectivamente.

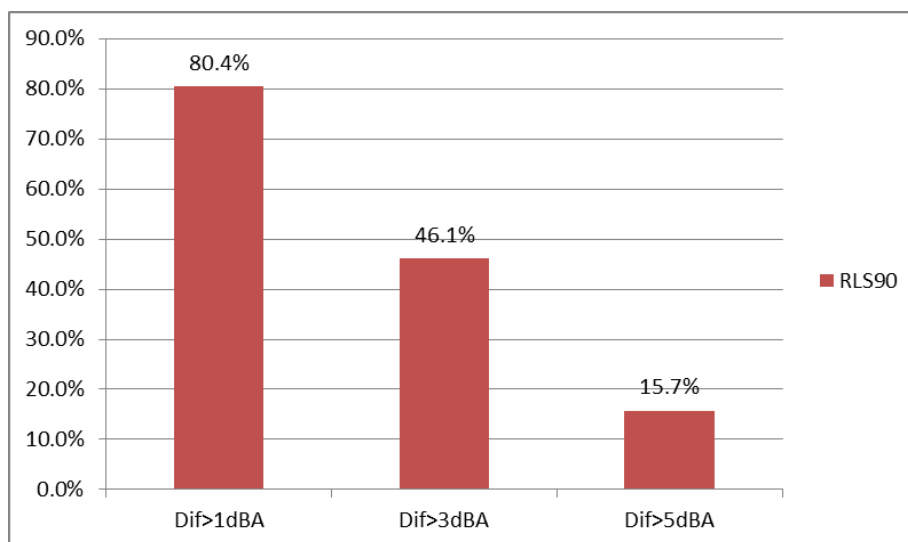


Fig 36. Porcentaje de puntos con diferencia mayor a 1, 3 y 5 dBA, entre valor medido (campana 2013) y el valor de modelación.

De la figura anterior se puede apreciar que para el modelo alemán RLS-90, más del 80% de los puntos presenta una diferencia menor o igual a 5 dBA. Es relevante destacar que el modelo RLS-90 más del 50% de las diferencias entre modelo y medición es inferior a 3 dBA.

El análisis permite indicar que el modelo utilizado para la ciudad de Valdivia, en acuerdo a las características del entorno y de medición entrega diferencias aceptables. Es de interés realizar un análisis más en detalle donde se estudien otros modelos en otras situaciones de tránsito vehicular, que incluyan la realidad de otras zonas urbanas (pendientes, alto flujo de camiones, bajo flujo vehicular, etc). Esto permitirá conocer la validez de los cálculos en “condiciones tipo” de las vías del país. Sólo con un análisis de estas características sería posible concluir cuál es el modelo de predicción que se ajusta mejor a nuestra realidad nacional. Este análisis se realizará a fines del presente proyecto.

Análisis con datos de campaña 2013 y 2014

En las siguientes tablas se hace un resumen del análisis realizado para datos obtenidos en la campaña de mediciones 2013 y 2014 en Valdivia. Cabe señalar que algunos puntos poseen más de una medición de ruido, ya que se han medido en ambas campañas. Por lo mismo, se debió escoger uno de los valores para esta comparativa. Hay puntos nuevos que debieron incorporarse al considerar la subclasificación vial, y esta es la razón de que se consideren más de cien puntos en este análisis.

Tabla 18a. Comparación entre valores medidos y modelados según clasificación vial.

| Categoría | Mediciones | Veh. Tot (hora) | % Pes. (hora) | Leq Prom. dBA (Medido) | RLS90 Prom. dBA (Modelado) | Diferencia RLS90 Prom. dBA |
|---|------------|-----------------|---------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Colectora c/locomoción | 13 | 810 | 9 | 70.7 | 73.1 | 2.48 |
| Colectora s/locomoción | 10 | 441 | 3.6 | 68.5 | 69.2 | 1.38 |
| Servicio c/locomoción | 14 | 572 | 9.3 | 70.5 | 72.9 | 2.77 |
| Servicio s/locomoción | 17 | 139 | 2.1 | 62.5 | 63.9 | 2.91 |
| Local c/locomoción | 24 | 175 | 22.3 | 66.3 | 70.0 | 4.41 |
| Local s/locomoción | 35 | 56 | 1.7 | 57.3 | 60.3 | 4.60 |
| TOTAL | 113 | | | | | |
| Diferencia Promedio General Ponderado Según Clasificación Vial | | | | | | 3.55 |

Tabla 18b. Comparación entre valores medidos y modelados según clasificación vial, sin subclasificación.

| Categoría | Mediciones | Veh. Tot (hora) | % Pes. (hora) | Leq Prom. dBA (Medido) | RLS90 Prom. dBA (Modelado) | Diferencia RLS90 Prom. dBA |
|---|------------|-----------------|---------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Colectora | 17 | 747 | 7,6 | 69.5 | 70.8 | 2.11 |
| Servicio | 27 | 375 | 5,1 | 65.9 | 68.6 | 5.26 |
| Local | 57 | 99 | 6 | 59.6 | 63.0 | 7.12 |
| TOTAL | 101 | | | | | |
| Diferencia Promedio General Ponderado Según Clasificación Vial | | | | | | 5.79 |

De las tablas anteriores se puede concluir que existe una mejora en el comportamiento de la modelación, al comparar la diferencia de 3,55 dBA obtenido con una subclasificación vial, y la diferencia de 5.79 dBA sin subclasificación vial. Es decir, hay una mejora en el mapa de ruido de Valdivia de 2,24 dBA producto de la subclasificación vial realizada. En la tabla siguiente se observa la diferencia promedio general del mapa de Valdivia (3,09 dBA), considerando todos los valores medidos como un solo conjunto de datos.

Tabla 19. Resumen de diferencias entre valores medidos y modelados según clasificación vial.

| Categoría | Veh. Tot (hora) | % Pes. (hora) | Diferencia RLS90 Prom. dBA |
|------------------------------------|-----------------|---------------|----------------------------|
| Colectora c/locomoción | 810 | 9 | 2.48 |
| Colectora s/locomoción | 441 | 3.6 | 1.38 |
| Servicio c/locomoción | 572 | 9.3 | 2.77 |
| Servicio s/locomoción | 139 | 2.1 | 2.91 |
| Local c/locomoción | 175 | 22.3 | 4.41 |
| Local s/locomoción | 56 | 1.7 | 4.60 |
| Diferencia Promedio General | | | 3.09 |

5.3. Mapa de Ruido de Temuco – Padre de Las Casas

5.3.1. Análisis de la información disponible para modelar al inicio del Proyecto

Considerando los antecedentes necesarios para esta parte del estudio, según informes anteriores [CONAMA 2008] [MMA 2010], se revisó la información puesta a disposición por el Ministerio del Medio Ambiente. Respecto de la información disponible, se incluyen los principales comentarios en la tabla siguiente:

Tabla 20. Análisis de la Información Disponible para Modelar en Temuco – Padre Las Casas al inicio del estudio.

| | Variable | Condición | Origen | Condición Actual |
|--------------------------------|---|----------------|--|------------------|
| MODELO DE TERRENO | Curvas de nivel | DISPONIBLE | SECTRA | ✓ |
| | Eje vial | DISPONIBLE | SECTRA | ✓ |
| | Eje ferroviario | DISPONIBLE | SECTRA | ✓ |
| | Manzanas | DISPONIBLE | SECTRA | ✓ |
| | Edificaciones | DISPONIBLE | SECTRA | ✓ |
| | Hidrografía | DISPONIBLE | SECTRA | ✓ |
| MODELO DE CARRETERA | Ancho | NO DISPONIBLE | Equipo Consultor | ✓ |
| | Clasificación REDEVU | NO DISPONIBLE | Municipalidad/PLADECO/Equipo Consultor | ✓ |
| | Tipo de carpeta rodado | NO DISPONIBLE | Equipo Consultor | ✓ |
| | Flujos x categoría (día) | NO ACTUALIZADO | Equipo Consultor | ✓ |
| | Flujos x categoría (tarde) | NO ACTUALIZADO | Equipo Consultor | ✓ |
| | Flujos x categoría (noche) | NO DISPONIBLE | Equipo Consultor | ✓ |
| | Recorridos de locomoción colectiva mayor | DISPONIBLE | SEREMI Medio Ambiente | ✓ |
| | Velocidad de circulación x categoría | NO DISPONIBLE | Estudio SECTRA | ✓ |
| MODELO DE FERROCARRILES | Eje ferroviario | DISPONIBLE | SECTRA | ✓ |
| | Composición del flujo (día, tarde, noche) | NO DISPONIBLE | Seremi Medio Ambiente/Jefe Estación | ✓ |
| | Características de la configuración de trenes | NO DISPONIBLE | Seremi Medio Ambiente/Jefe Estación/Equipo Consultor | ✓ |
| | Velocidad de circulación | NO DISPONIBLE | Jefe Estación Temuco | ✓ |
| | Características de la vía | NO DISPONIBLE | Seremi Medio Ambiente | ✓ |
| | Tipo de traviesas y balasto | NO DISPONIBLE | Seremi Medio Ambiente | ✓ |
| | Discontinuidades y estructuras | NO DISPONIBLE | Seremi Medio Ambiente | ✓ |

5.3.2. Definición del área a modelar

En acuerdo con la Contraparte Técnica se modeló el área que muestra la figura:

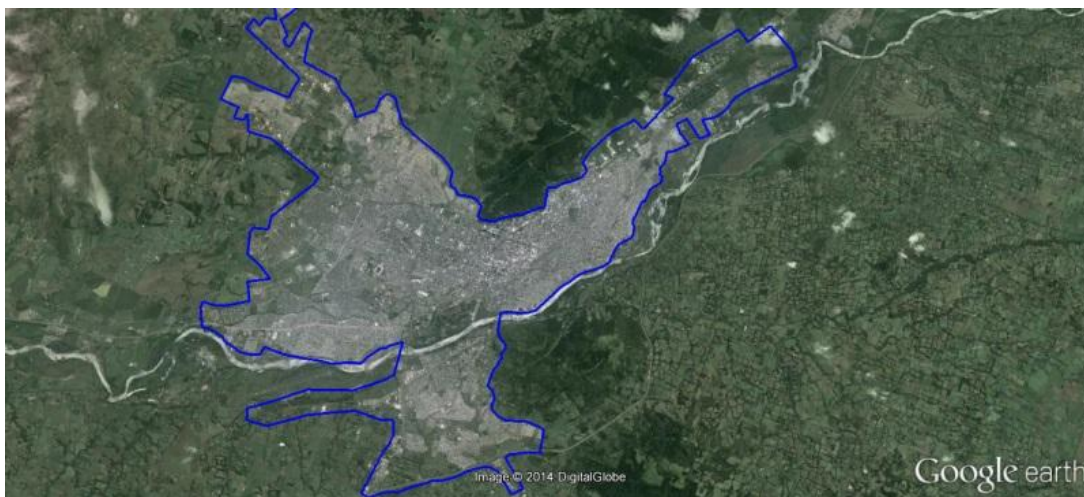


Fig. 37. Área a modelar de ruido en Temuco – Padre Las Casas.

5.3.3. Mediciones

a) Equipamiento

El equipamiento utilizado en las campañas realizadas en Temuco – Padre Las Casas corresponde al ya detallado para el caso de Valdivia.

b) Diseño de Campaña de Mediciones

Como se comentó previamente, para el caso de Temuco – Padre Las Casas se ha utilizado la metodología mejorada desarrollada para la ciudad de Valdivia en el presente proyecto.

c) Consideraciones previas dentro de la planificación de la etapa de terreno.

Siguiendo la premisa de que la metodología debe ser reproducible en otras zonas de estudio, por lo tanto, al igual que el estudio del Gran Santiago, se basa en la clasificación REDEVU, para luego realizar una subdivisión de las categorías (con y sin locomoción colectiva).

d) Distribución de Puntos de Medición

Al igual que en la ciudad de Valdivia, para la distribución de las 100 mediciones acústicas se ha utilizado un sistema de distribución sencillo. Este es un criterio experto, que pondera dos características relevantes en la medición del ruido de tránsito: la cantidad de kilómetros de calles de las distintas clases en el área de estudio, y la rapidez de

estabilización de la lectura acústica del nivel de presión sonora continuo equivalente en calles de mayor flujo vehicular. Para más detalles, ver la explicación de este punto en la ciudad de Valdivia.

Para Temuco – Padre Las Casas se realizaron 104 mediciones acústicas y de flujo vehicular, distribuidas en se distribuyen las mediciones contemplando 8 para vías troncales, 21 mediciones para vías colectoras, 28 para servicios, y 47 para vías locales. En anexo se encuentran los datos de las mediciones en detalle.

Tal como para Valdivia, sólo se realizaron mediciones en hora valle, vista la justificación y análisis de que la influencia de no incluir mediciones en hora punta es poco relevante para los fines del descriptor que incluye todo el día. Se ha estimado conveniente utilizar el mismo criterio que para Valdivia, así los tres periodos de Hora Punta a considerar son 07:30 – 09:00 hrs, 12:30 – 14:00 hrs, y de 18:00 – 19:30 hrs. [Temuco 2004]

e) Estaciones Fijas de Medición

Al igual que en Valdivia, los criterios considerados para emplazar las estaciones de monitoreo fijas en la conurbación Temuco – Padre Las Casas fueron los siguientes:

1. Vía con gradiente menor a 2%.
2. Vía con carpeta de hormigón por ser ésta la de mayor presencia en la ciudad.
3. Vía con carpeta sin alteraciones importantes (hoyos, tapas sueltas, reductores de velocidad, otros).
4. Vías alejadas de sectores de actividades de esparcimiento y comercio .
5. Vías con tránsito vehicular fluido, sin puntos de detención en el tramo de interés, tales como; disco pare, semáforos, paraderos, etc.
6. Punto seleccionado, sin apantallamiento acústico.
7. Punto seleccionado, alejado de fuentes de ruido ajenas al tránsito vehicular.
8. Punto seleccionado, con fácil acceso para verificaciones y ajustes del equipamiento.
9. Punto seleccionado con adecuadas condiciones de seguridad para el equipamiento.

Mediante trabajo de terreno, se identificaron las vías y algunos lugares que pudieran cumplir con cada uno de los criterios indicados, además de criterios seguridad y factibilidad técnica. La siguiente tabla resume el procedimiento llevado a cabo para definir los lugares de emplazamiento de las estaciones de monitoreo de ruido.

Tabla 21. Verificación del cumplimiento de los criterios considerados.

| Criterio | Punto para estación fija | | | |
|----------|--------------------------|-------------|---------------|--------------|
| | Caupolicán | Claro Solar | Manuel Bulnes | Barros Arana |
| 1 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |
| 2 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |
| 3 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |
| 4 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |
| 5 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |
| 6 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |
| 7 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |
| 8 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |
| 9 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |
| Obs | - | - | - | - |

Ubicación estaciones de monitoreo

6. Av. Caupolicán (Servicio con) frente al 489, entre Portales y Rodríguez. Coordenadas UTM 18H 709105, 5709731)
7. Claro Solar (Colectora sin) frente al #437, entre Las Heras y Patricio Lynch. Coordenadas UTM 18H 708993, 5709475)
8. Manuel Bulnes (Servicio Sin) frente al #541, Entre Claro Solar y Manuel Montt. Coordenadas UTM 18H 709537 5709405
9. Barros Arana (Colectora Con), entre Francisco Bilbao y Balmaceda. Coordenadas UTM 18H 710629 5709935

f) Clasificación Vial

La clasificación vial considerada para el proyecto corresponde a la establecida en el Plan Regulador vigente para la ciudad de Temuco. En el caso de Padre de Las Casas se realizó la clasificación vial por el equipo consultor, visto que no se cuenta con un documento oficial para tales efectos. La clasificación vial se encuentra en un anexo, donde además se calculó la cantidad de kilómetros de cada tipo de vía en la ciudad.

Es relevante señalar que en este caso se utilizará la siguiente clasificación vial:

1. Vías Troncales con Locomoción Colectiva
2. Vías Troncales sin Locomoción Colectiva
3. Vías Colectoras con Locomoción Colectiva
4. Vías Colectoras sin Locomoción Colectiva
5. Vías de Servicio con Locomoción Colectiva
6. Vías de Servicio sin Locomoción Colectiva
7. Vías Locales con Locomoción Colectiva
8. Vías Locales sin Locomoción Colectiva

Esta subclasificación permitió mejorar notablemente el mapa de ruido en la ciudad de Valdivia, y por lo tanto, se utilizará también en esta oportunidad.

g) Mediciones Campaña 2014

Tal como está contemplado, se ha realizado una campaña de 104 mediciones. El detalle de los puntos y la clasificación vial utilizada puede verse apropiadamente en el archivo “.kmz” (visibles con Google Earth) correspondiente en el anexo respectivo.

La campaña de medición flujo vehicular se realizó 1-2 y 3 de Abril 2014. La campaña de medición acústica y flujo vehicular se realizó durante los días 8-9-10-16-17-21-23 de Abril 2014.

A continuación se muestra un mapa con la distribución de estas las mediciones, con registro de datos acústicos y de flujo vehicular (archivo incluido en anexo para su consulta en detalle).

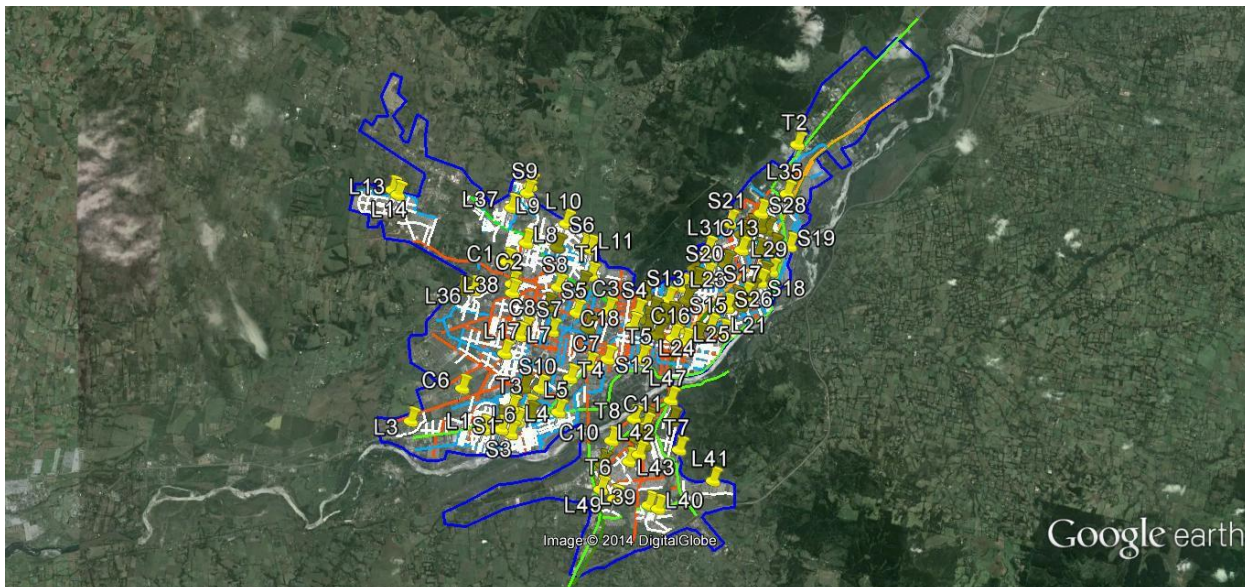


Fig. 38. Distribución de puntos de medición en el área a modelar en Temuco.

De acuerdo al plan de trabajo se realizaron mediciones en terreno utilizando un tiempo de medición de 15 minutos, considerando los siguientes descriptores: Leq dB(A) (nivel de presión sonora continuo equivalente), L_{max} y L_{min} (nivel máximo y nivel mínimo), y niveles percentiles L10, L50 y L90. Además, durante cada medición se realizó un conteo diferenciado de vehículos, con el objetivo de considerar el efecto de la variable flujo vehicular sobre la relación entre valor de Leq medido y modelado. En anexo se presentan los valores obtenidos para el flujo vehicular y el nivel equivalente en las diferentes categorías de vías.

i) Mediciones Estaciones Fijas

Las estaciones fijas de esta campaña se instalaron en cuatro distintos puntos, y generaron registros continuos de más 6 días. Las fichas de caracterización de los puntos fijos se encuentran en anexo. Los puntos fueron:

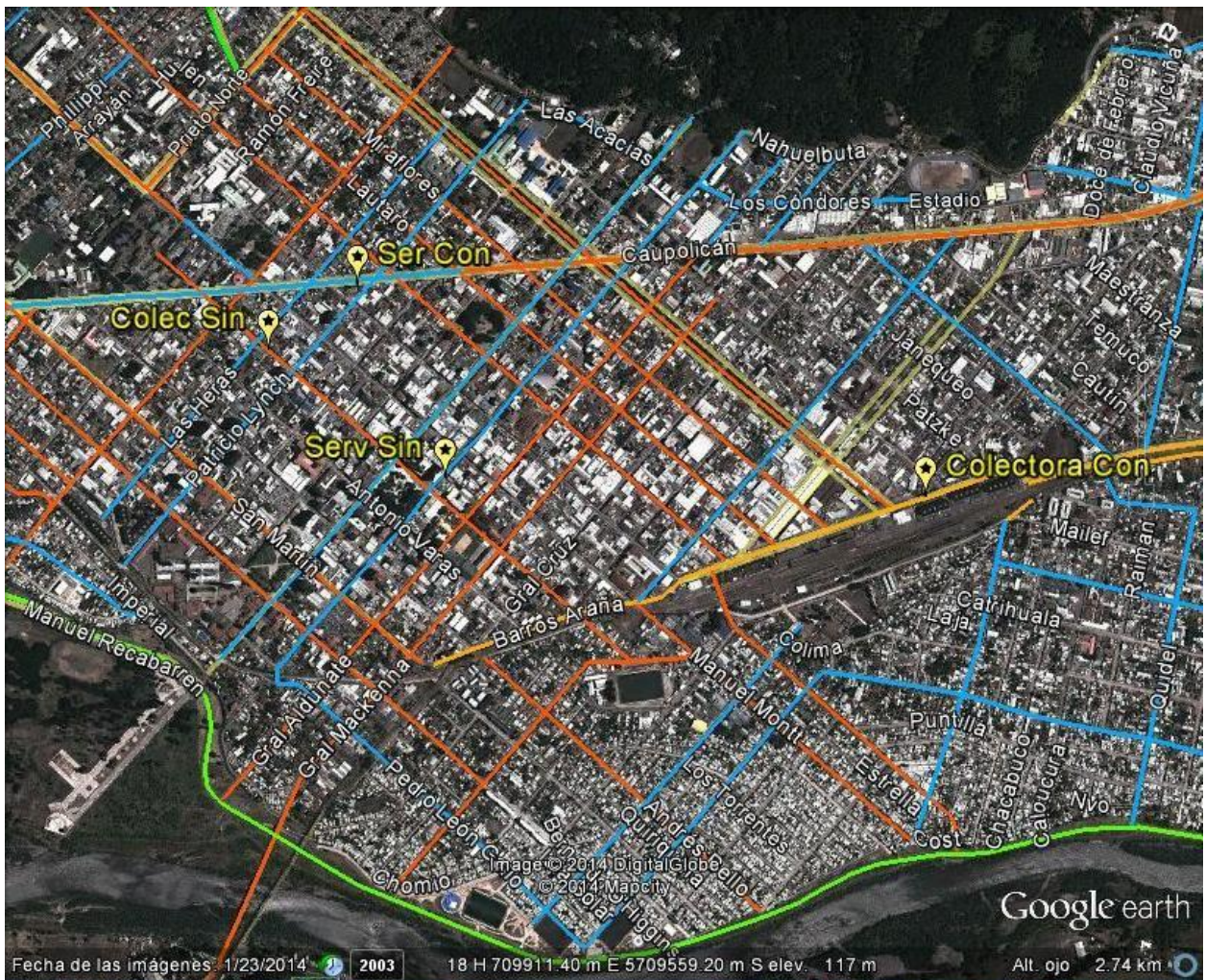


Fig. 39 Localización de Estaciones Fijas Campaña 2014 en el mapa de Temuco – Padre Las Casas



Fig. 40 Localización de Estaciones Fijas Campaña 2014 en mapa de Temuco – Padre Las Casas (detalle)



Estación Barros Arana
entre Francisco Bilbao y Balmaceda
Tipo de Vía Colectora con Loc. Col.



Estación Calle Caupolicán
Av. Caupolicán #489, entre Portales y Rodríguez
Tipo Vía Servicio con Loc. Col.



Estación Calle Claro Solar
Calle Claro Solar #437
Tipo Vía Colectora sin Loc. Col.



Estación Calle Manuel Bulnes
Calle Manuel Bulnes #539
Tipo de Vía Servicio sin Loc. Col.

Fig. 41. Localización de Estaciones Fijas Campaña 2014 en Temuco – Padre Las Casas

Datos medidos en las estaciones fijas.

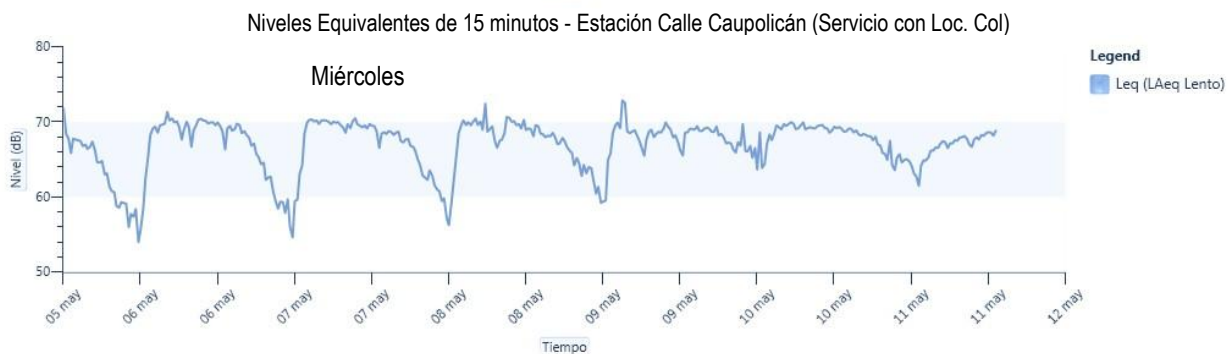
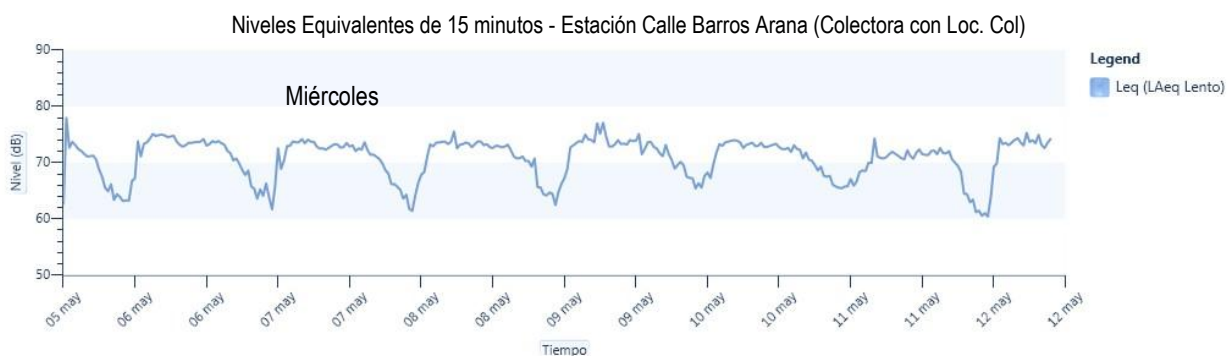


Fig. 42 Registros de Nivel Continuo Equivalente Leq 15 min. Estaciones Fijas Campaña 2014 en Temuco – Padre Las Casas

Comportamiento de los niveles de ruido nocturnos.

Al igual que en el caso de la ciudad de Valdivia, la instalación de estaciones de monitoreos fijas permite establecer el perfil de variación de nivel de ruido durante la noche (horario nocturno 23:00 a 7:00). En el caso de Temuco, se ha obtenido el perfil representativo para los tipos de vías colectoras y servicio, considerando mediciones continuas de los niveles nocturnos para varias noches. Se analizan las noches entre días martes y jueves, 12 noches para vías colectoras, 3 noches para vías de servicio.

En la siguiente figura se muestra el perfil obtenido al considerar niveles de presión sonora continuo equivalentes de 15 minutos. Como se puede apreciar, la tendencia del perfil nocturno es muy similar para los dos tipos de vía considerados. En el gráfico se representan en el eje x, los minutos a partir de las 23:00 hrs., de manera que los 60 minutos corresponden a las 00:00 hrs., y los 465 minutos a las 06:45 hrs.

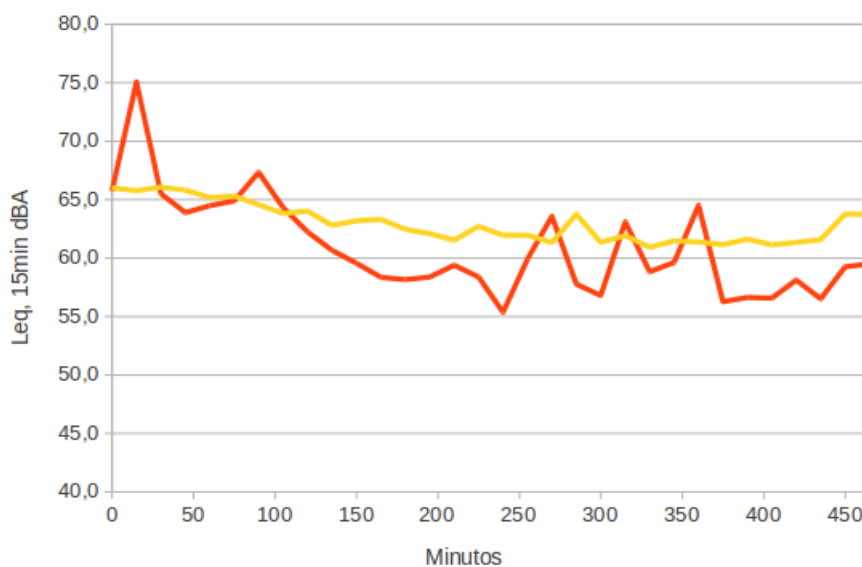


Fig. 43. Perfiles de nivel nocturno (nivel de presión sonora continua equivalente de 15 minutos) representativos para las vías de servicio (color rojo), y colectoras (color amarillo) en la ciudad de Temuco. Se indican en el eje horizontal los minutos (las 23:00 hrs. corresponden al minuto 0 y los 465 minutos a las 06:45 hrs).

El comportamiento del nivel de presión sonora continuo equivalente acumulado durante la noche se aprecia en la siguiente figura, y entrega una idea en cuanto tiempo que es necesario para considerar que se estabiliza la lectura del nivel equivalente Leq. A continuación se muestra en una figura con la evolución nocturna del nivel de presión sonora continuo equivalente acumulado. También es posible apreciar un comportamiento muy similar para los dos tipos de vía, manteniendo la tendencia de curva, a excepción de un valor que supera los 70 dBA al comienzo de la curva el cual podría deberse a un ruido poco habitual diferente del ruido de tránsito vehicular.

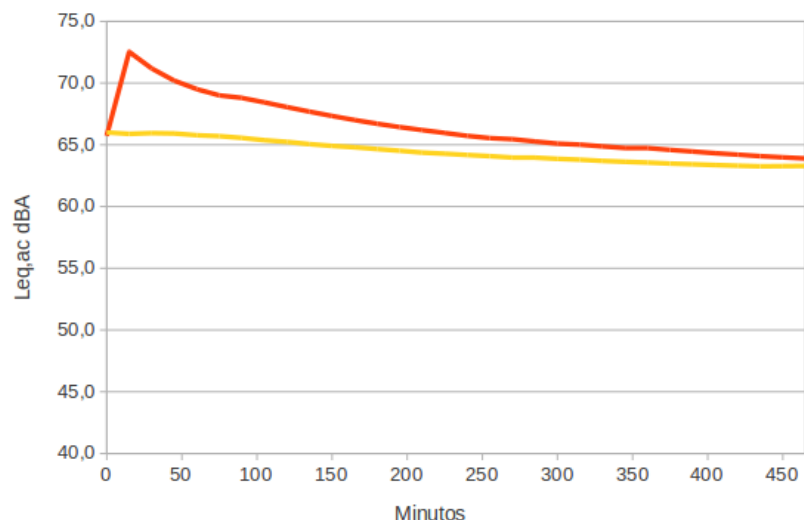


Fig. 44. Perfiles de nivel nocturno (nivel de presión sonora continua equivalente acumulado) representativos para las vías de servicio (color rojo), y colectoras (color amarillo) en la ciudad de Temuco. Se indican en el eje horizontal los minutos (las 23:00 hrs. corresponden al minuto 0 y los 465 minutos a las 06:45 hrs).

La siguiente figura se muestra la evolución de la diferencia entre nivel de presión sonora continuo equivalente acumulado (Leq, ac) y nivel equivalente total (Leq, T) (en este caso corresponde al nivel noche L_n). A partir de aproximadamente el minuto 300 (aprox las 4:00 de la mañana) todas las curvas muestran una diferencia entre el nivel equivalente total (Leq, T) y el nivel equivalente acumulado (Leq, ac) inferior a 1 dBA. Estos resultados confirman lo concluido para el caso de Valdivia, en el sentido de que si se limita el horario de medición y, por ejemplo, no se mide en las noches después de las 4:00 hrs, el error debido a no medir en este período (04:00 a 07:00 hrs), debería ser inferior a 1dBA.

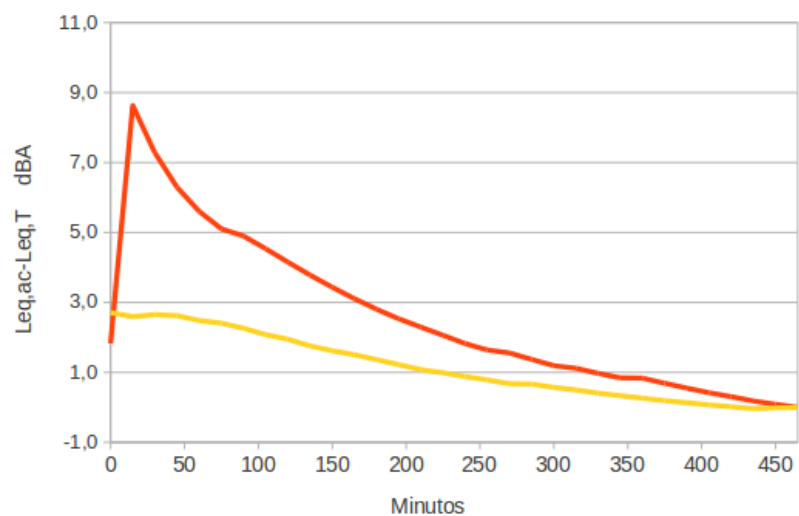


Fig. 45. Perfiles de diferencia entre nivel equivalente acumulado (Leq,ac) y nivel total (Leq, T) representativos para las vías de servicio (color rojo), y colectoras (color amarillo) en la ciudad de Temuco. Se indican en el eje horizontal los minutos (las 23:00 hrs. corresponden al minuto 0 y los 465 minutos a las 06:45 hrs).

b) Datos de modelación mapa de ruido nocturno de Temuco.

Para obtener los datos que son necesarios para la modelación nocturna, se realizaron análisis sobre la representatividad de los flujos medidos para su utilización con estos fines. Para analizar el resultado de calcular un flujo vehicular representativo a partir de los conteos de flujos vehiculares realizados en la ciudad en los tipos de vías, se asumirá que en el momento de realizar el conteo se obtiene el nivel de presión sonora continuo equivalente correspondiente justamente a esos quince minutos. De esta manera, se va a suponer que al tener el dato de flujo, también se obtienen el dato Leq_{15min} de la categoría para esos mismos quince minutos.

Ahora bien, si los conteos de flujo vehicular se representan con un punto rojo en el eje del tiempo, y se grafica el comportamiento del nivel de presión sonora continuo equivalente de 15 minutos en el mismo gráfico, se obtiene una figura como la siguiente.

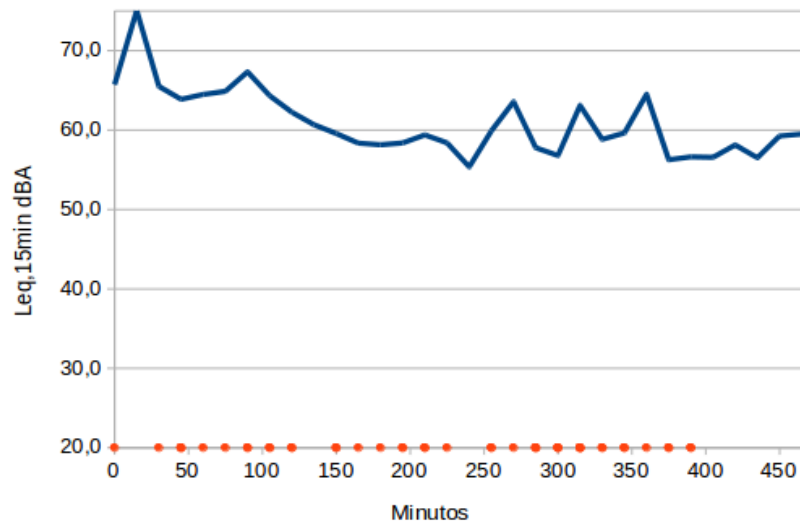


Fig. 46. Nivel de presión sonora equivalente nocturno medido (nivel equivalente de 15 minutos) para vías de servicio. Los puntos sobre el eje x indican los tiempos de realización de conteos de flujo vehicular nocturno.

Para efectos del análisis, se calcula el nivel de presión sonora continuo equivalente para todo el periodo horario considerado (en este caso es la noche, es decir L_n), y se compara con un nivel de presión sonora continuo equivalente que se obtiene de todas las mediciones asignadas a los flujos vehiculares medidos. Es decir, se compara el Leq de toda la noche con otro calculado a partir sólo de las muestras en los periodos de conteo de flujo vehicular.

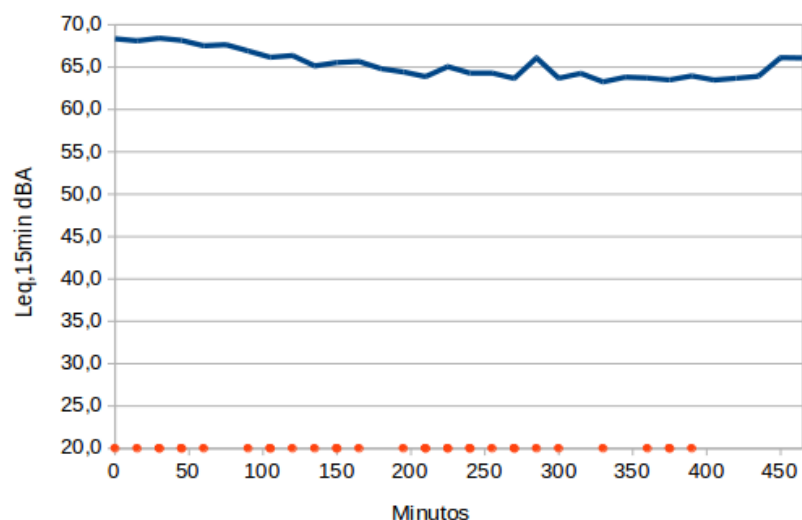


Figura 47. Nivel de presión sonora equivalente nocturno medido (nivel equivalente de 15 minutos) para vías colectoras. Los puntos sobre el eje x indican los tiempos de realización de conteos de flujo vehicular nocturno.

A continuación se muestra en la tabla los resultados de obtener el nivel de presión sonora continuo equivalente a partir de todas las mediciones de 15 minutos y a partir de aquellas donde se tomaron flujos vehiculares. Se aprecia una diferencia poco significativa, y por lo tanto, es posible obtener un valor de Ln a partir de muestras de flujo vehicular.

Tabla 22. Diferencia entre el Nivel de presión sonora equivalente nocturno medido (nivel equivalente de 15 minutos) y un valor obtenido a partir de los tiempos de realización de conteos de flujo vehicular nocturno.

| | Servicio | Colectoras |
|--|----------|------------|
| Leq período nocturno (dBA) (Ln) | 63.9 | 63.3 |
| Leq considerando solo horarios de conteos de flujo (dBA) | 61.6 | 62.2 |
| Diferencia | 2.3 | 1.1 |

5.3.4. Mapa de ruido modelado

a) Datos de modelación mapa de ruido de Temuco – Padre Las Casas.

El mapa de ruido se ha generado con el análisis de los datos según el tipo de vía y con o sin locomoción colectiva. En anexo se encuentran los datos tabulados.

Respecto al análisis de los datos y los descriptores utilizados, es conveniente indicar algunos aspectos estadísticos relevantes. Estadísticos resistentes son aquellos que no se ven influenciados (o solo ligeramente) por pequeños cambios en los datos. Evidentemente, la media aritmética es un estadístico muy poco resistente a cambios en los datos, dado que se ve afectada por todos y cada uno de ellos. Sobre cuando se presentan “outliers” (valores extremos).

En particular esta situación se ve reflejada en las vías colectoras, de servicio y locales como puede apreciarse en los “boxplot” (gráficos de caja) que representan la dispersión a través de las medidas de localización (cuartiles) mientras más compacta la caja más homogénea es la distribución de las observaciones de las variables vehículos totales y porcentaje de vehículos pesados, asociado a esto hay que observar la variabilidad que se mide a través de la desviación estándar y el coeficiente de variación, mientras más bajos sean estos valores más homogéneos son las observaciones y más representativa es la media aritmética.

En las situaciones en que se presentan valores extremos y una alta variabilidad se debe buscar un estadígrafo más resistente que puede ser la mediana o la media recortada ambas medidas son resistente y robustas, la primera no se ve influenciada por valores extremos y la segunda obtiene el promedio quitando un porcentaje de ambos extremos, por este motivo que se ha recomendado visualizando los parámetros antes descritos usar la mediana en las situaciones en que se presenta mayor variabilidad y la media recortada en que la variabilidad es más baja. La excepción a esta regla se produjo en la situaciones en que la mediana dio cero, aquí se decidió usar la media recortada. El análisis y gráficos correspondientes se encuentran en anexo.

Los siguientes son los datos utilizados en la modelación de la conurbación Temuco – Padre Las Casas:

Tabla. 23 Resumen de datos utilizados para elaborar el mapa de ruido diurno de Temuco – Padre Las Casas

| Tipo de Vía | Cantidad de Mediciones Flujo Vehicular | Vehículos Total hora | Porcentaje de Vehículos Pesados hora |
|---------------|--|----------------------|--------------------------------------|
| Troncal con | 8 | 1530 | 15.8 |
| Troncal sin | 7 | 701 | 10.8 |
| Colectora con | 19 | 936 | 11.7 |
| Colectora sin | 21 | 108 | 2.2 |
| Servicio con | 29 | 276 | 21.6 |
| Servicio sin | 25 | 116 | 2.9 |
| Local con | 41 | 184 | 25.2 |
| Local sin | 47 | 44 | 1.3 |
| Total | 197 | | |

Tabla. 24 Resumen de datos utilizados para elaborar el mapa de ruido nocturno de Temuco – Padre Las Casas

| Tipo de Vía | Cantidad de Mediciones Flujo Vehicular | Vehículos Total hora | Porcentaje de Vehículos Pesados hora |
|--------------|---|----------------------|---|
| Troncal | 8 | 86 | 17 |
| Colectora | 43 | 40 | 1.6 |
| Servicio | 51 | 8 | 0 |
| Local | 74 | 4 | 0 |
| Total | 176 | | |

La configuración de las otras variables de modelación es similar a lo realizado para la ciudad de Valdivia. Para el caso de la carretera, para ésta vía se utilizó una velocidad de 100 km/h, para las vías en la ciudad se utilizó 40 km/h promedio, como en la ciudad de Valdivia.

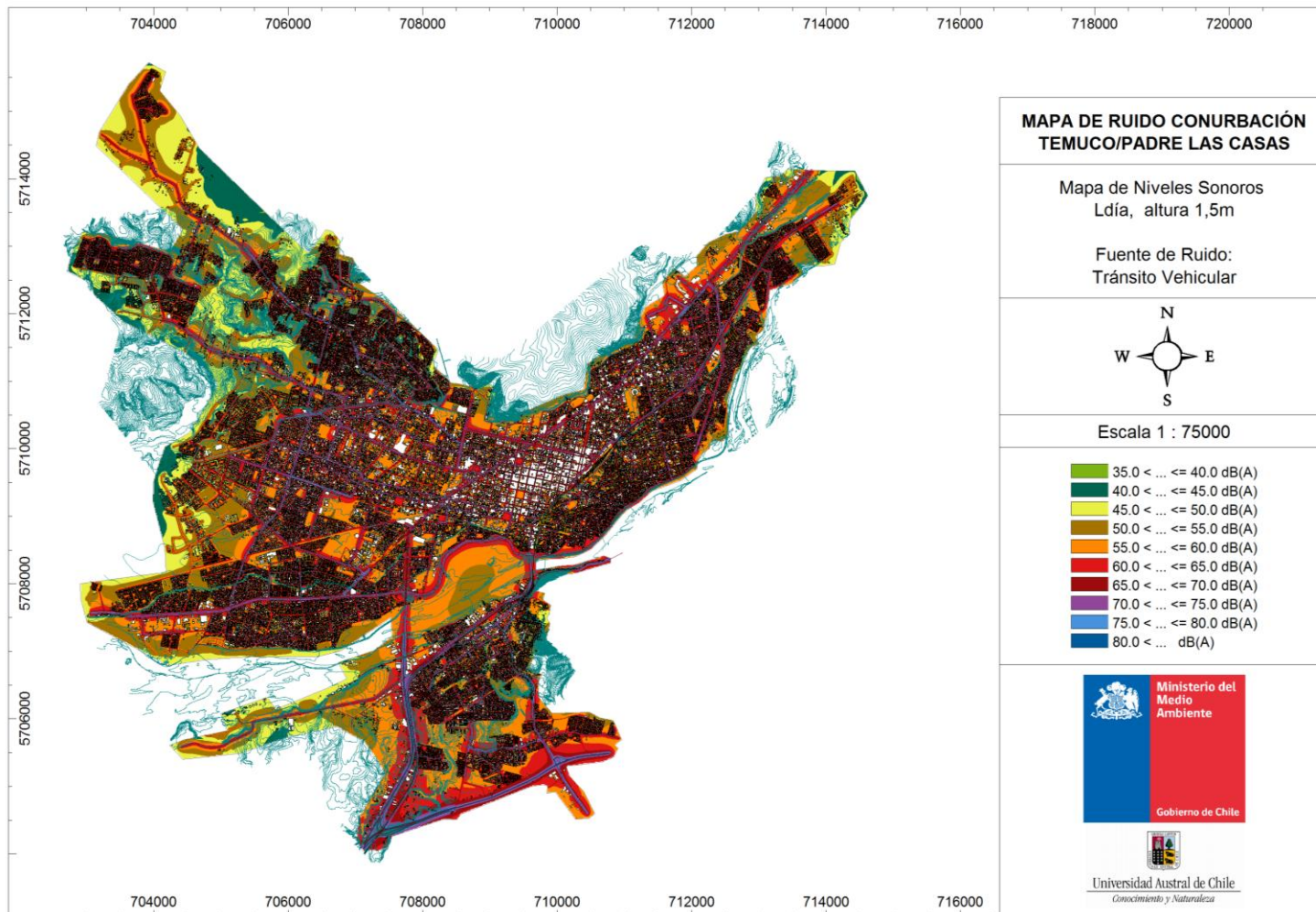


Fig. 48 Mapa de Ruido L_d (Nivel Día) de la Ciudad de Temuco – Padre Las Casas

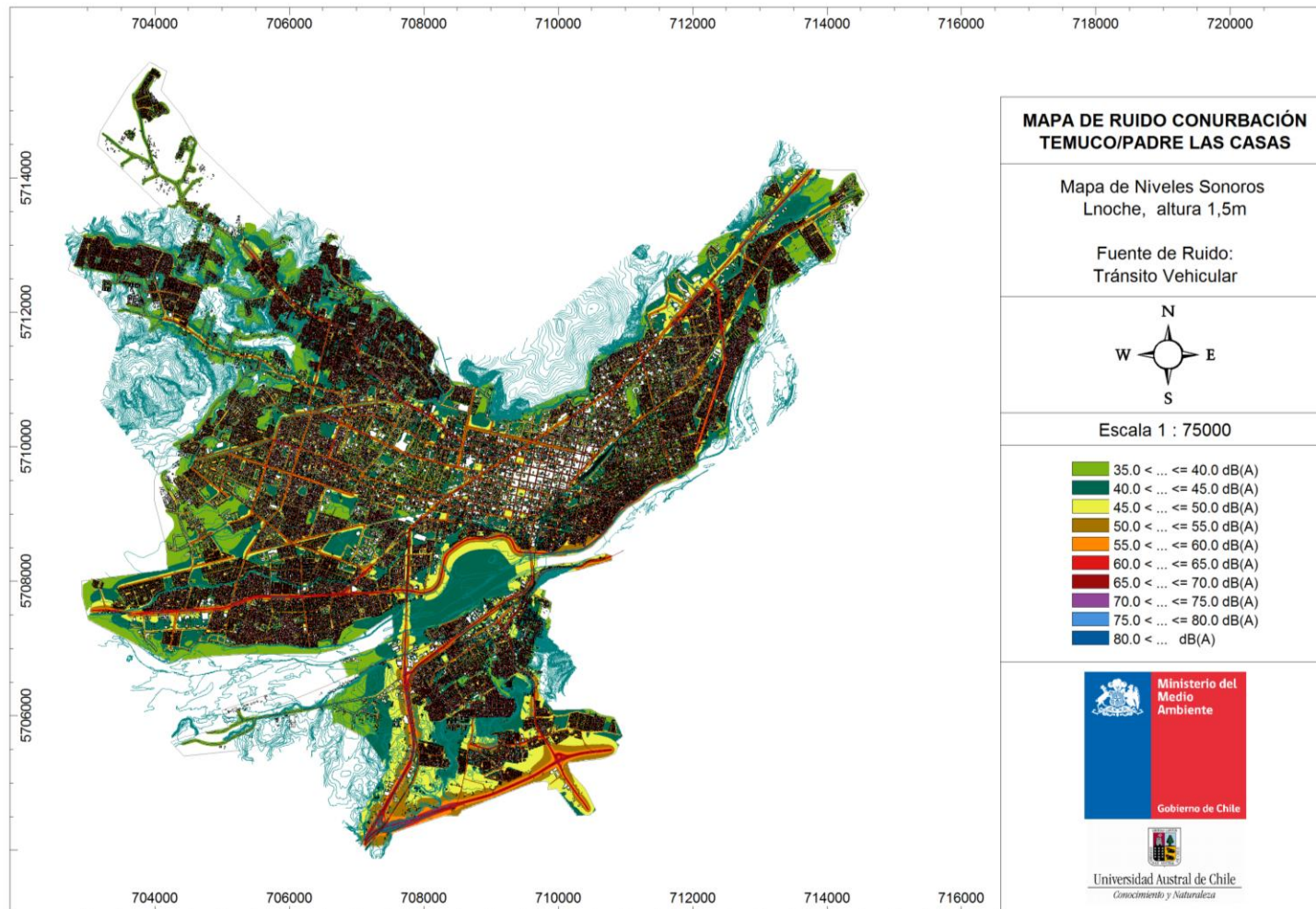


Fig. 49. Mapa de Ruido Ln (Nivel Noche) de la Ciudad de Temuco – Padre Las Casas

5.3.5. Comparación modelación y mediciones

A continuación se realiza un estudio del comportamiento del modelo de ruido de tránsito considerado según estudios previos, el modelo de predicción alemán RLS90. Para efectos del análisis se han considerado los flujos y mediciones realizadas, el correspondiente tipo de carpeta, hormigón y reflexiones de primer orden. Para todas las vías se ha considerado una velocidad promedio de 40 Km/h.

La comparación se realiza a través de un análisis de diferencias con el objetivo de establecer la diferencia promedio de la muestra, según la siguiente ecuación. Además, se incluye el porcentaje de valores o puntos de medición que superaron una diferencia entre modelo y medición de 1 dBA, 3 dBA y 5dBA.

$$Diferencia = | L_{medido} - L_{simulado} |$$

Donde:

L_{medido} : Nivel de ruido medido (dBA).

$L_{simulado}$: Nivel de ruido modelo predictivo RLS90 (dBA).

Análisis con datos de campaña

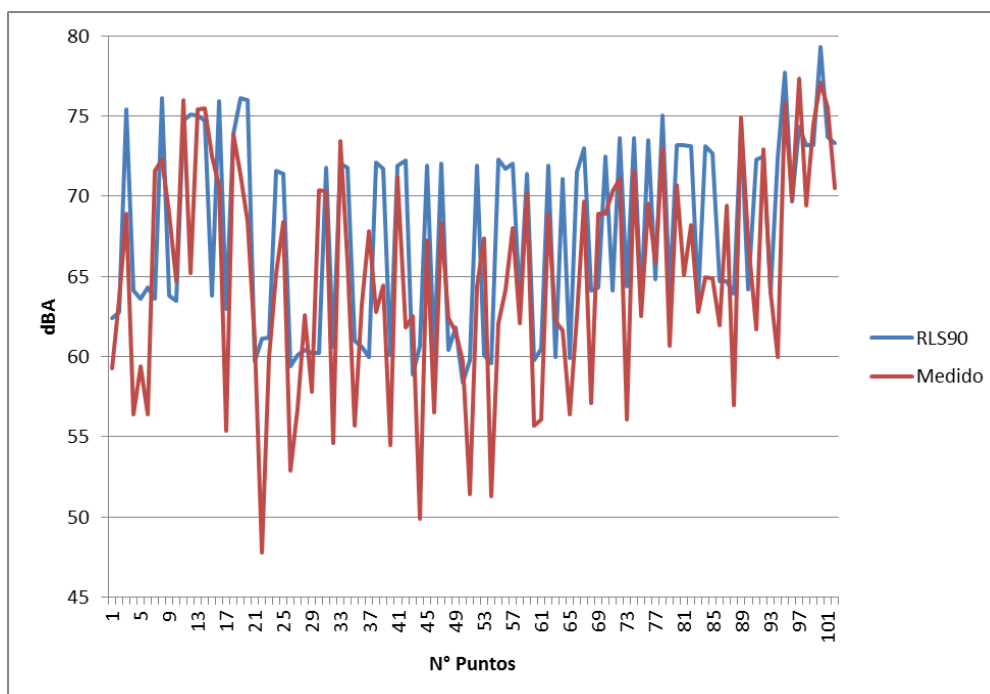


Fig 50. Curvas de nivel de ruido modelo RLS90 versus nivel medido u observado.

En la figura anterior se muestran los niveles de presión sonora equivalente en dBA obtenidos mediante la medición en los diferentes puntos de la campaña de medición y los valores calculados mediante el modelo RLS90. En forma general, para el modelo de ruido de tránsito rodado utilizado se puede visualizar que el método alemán RLS-90 se obtiene una curva cercana a los valores medidos.

A continuación se muestran las diferencias promedio entre nivel medido y nivel calculado a partir del modelo RLS90.

Tabla 25. Diferencia promedio entre el valor simulado con el modelo RLS90 y el valor medido u observado.

| Modelo | Diferencia Promedio [dBA] |
|--------|---------------------------|
| RLS90 | 4.6 |

Siguiendo con el análisis de diferencias se presenta a continuación un gráfico donde se incluye el porcentaje de valores o puntos de medición que superaron una diferencia entre modelo y medición de 1 dBA, 3 dBA y 5 dBA respectivamente.

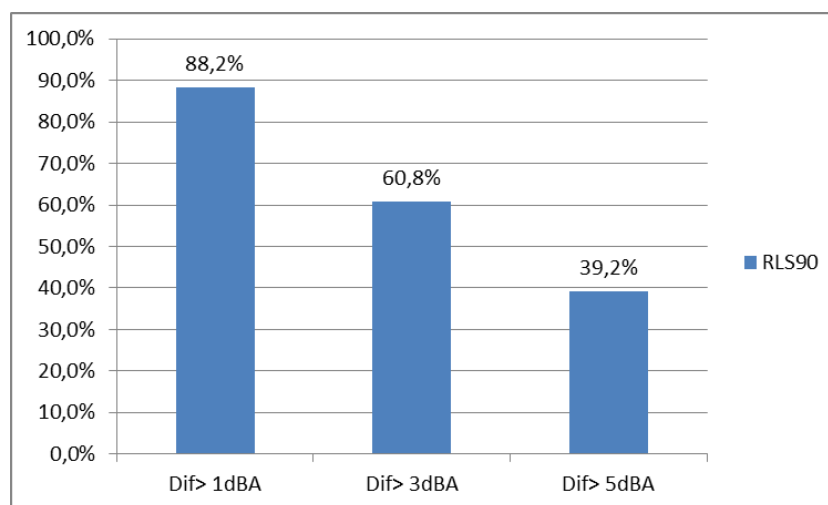


Fig 51. Porcentaje de puntos con diferencia mayor a 1, 3 y 5 dBA, entre valor medido y el valor de modelación.

De la figura anterior se puede apreciar que para el modelo alemán RLS-90, más del 60% de los puntos presenta una diferencia menor o igual a 5 dBA. Por otro lado sólo el 40% de la muestra presentan diferencias inferiores a 3 dBA entre modelo y medición.

El análisis permite indicar que el modelo utilizado para la conurbación Temuco-Padre Las Casas, en acuerdo a las características del entorno y de medición entrega diferencias aceptables. Es de interés realizar un análisis más en detalle donde se estudien otros modelos en otras situaciones de tránsito vehicular, que incluyan la realidad de otras zonas urbanas (pendientes, alto flujo de camiones, bajo flujo vehicular, etc). Esto permitirá conocer la validez de los cálculos en “condiciones tipo” de las vías del país. Sólo con un análisis de estas características sería posible concluir cuál es el modelo de predicción que se ajusta mejor a nuestra realidad nacional.

Tabla 26. Comparación entre valores medidos y modelados según clasificación vial (Temuco-PLC)

| Categoría | Mediciones | Veh. Tot (hora) | % Pes. (hora) | Leq Prom. dBA (Medido) | RLS90 Prom. dBA (Modelado) | Diferencia RLS90 Prom. dBA |
|---|------------|-----------------|---------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Troncal c/locomoción | 4 | 1530 | 15.8 | 73.3 | 74.6 | 2.9 |
| Troncal s/locomoción | 4 | 701 | 10.8 | 74.2 | 74 | 1.3 |
| Colectora c/locomoción | 9 | 936 | 11.7 | 71.3 | 75.4 | 4.3 |
| Colectora s/locomoción | 11 | 108 | 2.2 | 64 | 64.5 | 5.1 |
| Servicio c/locomoción | 14 | 276 | 21.6 | 69.1 | 73.3 | 4.3 |
| Servicio s/locomoción | 14 | 116 | 2.9 | 63.1 | 64.7 | 4.4 |
| Local c/locomoción | 19 | 184 | 25.2 | 62.5 | 71.5 | 5.4 |
| Local s/locomoción | 27 | 44 | 1.3 | 58.7 | 60.6 | 4.9 |
| TOTAL | 102 | | | | | |
| Diferencia Promedio General Ponderado Según Clasificación Vial | | | | | | 4.6 |

5.4. Mapa de Ruido de La Serena - Coquimbo

5.4.1. Análisis de la información disponible para modelar al inicio del Proyecto

Considerando los antecedentes necesarios para esta parte del estudio, según informes anteriores [CONAMA 2008] [MMA 2010], se revisó la información puesta a disposición por el Ministerio del Medio Ambiente. Respecto de la información disponible, se incluyen los principales comentarios en la tabla siguiente:

Tabla 27. Análisis de la Información Disponible para Modelar en La Serena y Coquimbo al inicio del proyecto.

| | Variable | Condición inicial | Origen | Condición Actual |
|--------------------------------|---|-------------------|--|------------------|
| MODELO DE TERRENO | Curvas de nivel | DISPONIBLE | SECTRA | ✓ |
| | Eje vial | DISPONIBLE | SECTRA | ✓ |
| | Eje ferroviario | DISPONIBLE | Equipo Consultor | ✓ |
| | Manzanas | DISPONIBLE | - | ✓ |
| | Edificaciones | DISPONIBLE | SECTRA | ✓ |
| | Hidrografía | DISPONIBLE | SECTRA | ✓ |
| MODELO DE CARRETERA | Ancho | NO DISPONIBLE | Equipo Consultor/Seremi Medio Ambiente | ✓ |
| | Clasificación REDEVU | NO DISPONIBLE | Municipalidad | ✓ |
| | Tipo de carpeta rodado | NO DISPONIBLE | Municipalidad/Equipo Consultor | ✓ |
| | Flujos x categoría (día) | NO ACTUALIZADO | Equipo Consultor | ✓ |
| | Flujos x categoría (tarde) | NO ACTUALIZADO | Equipo Consultor | ✓ |
| | Flujos x categoría (noche) | NO DISPONIBLE | Equipo Consultor | ✓ |
| | Recorridos de locomoción colectiva mayor | DISPONIBLE | SECTRA | ✓ |
| | Velocidad de circulación x categoría | NO DISPONIBLE | SEREMI Transporte | ✓ |
| MODELO DE FERROCARRILES | Eje ferroviario | NO DISPONIBLE | Equipo Consultor | ✓ |
| | Composición del flujo (día, tarde, noche) | NO DISPONIBLE | Seremi Medio Ambiente/CAP | ✓ |
| | Características de la configuración de trenes | NO DISPONIBLE | Seremi Medio Ambiente/CAP/Equipo Consultor | ✓ |
| | Velocidad de circulación | NO DISPONIBLE | Seremi Medio Ambiente/CAP | ✓ |
| | Características de la vía | NO DISPONIBLE | Seremi Medio Ambiente/CAP | ✓ |
| | Tipo de traviesas y balasto | NO DISPONIBLE | Seremi Medio Ambiente/CAP | ✓ |
| | Discontinuidades y estructuras | NO DISPONIBLE | Seremi Medio Ambiente/CAP | ✓ |

5.4.2. Definición del área a modelar

En acuerdo con la Contraparte Técnica se modelará el área que muestra la figura siguiente.

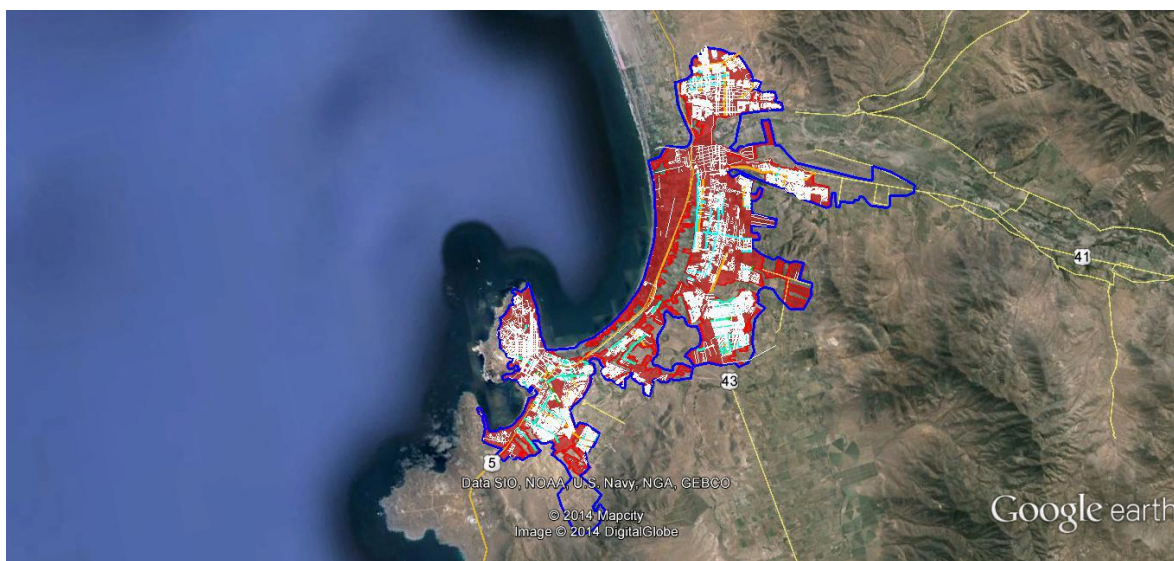


Fig. 52. Área a modelar de ruido en La Serena - Coquimbo.

5.4.3. Mediciones

a) Equipamiento

El equipamiento utilizado en las campañas realizadas en La Serena – Coquimbo corresponde al ya detallado para el caso de Valdivia, utilizado también en el igual que para Temuco – Padre Las Casas.

b) Diseño de Campaña de Mediciones

Para el caso de La Serena – Coquimbo, al igual que para Temuco – Padre Las Casas, se ha utilizado la metodología mejorada desarrollada para la ciudad de Valdivia en el presente proyecto.

c) Consideraciones previas dentro de la planificación de la etapa de terreno.

Siguiendo la premisa de que la metodología debe ser reproducible en otras zonas de estudio, por lo tanto, al igual que el estudio del Gran Santiago, se basa en la clasificación REDEVU, para luego realizar una subdivisión de las categorías (con y sin locomoción colectiva).

d) Distribución de Puntos de Medición

Al igual que en la ciudad de Valdivia, para la distribución de las 100 mediciones acústicas se ha utilizado un sistema de distribución sencillo. Este es un criterio experto, que pondera dos características relevantes en la medición del ruido de tránsito: la cantidad de kilómetros de calles de las distintas clases en el área de estudio, y la rapidez de estabilización de la lectura acústica del nivel de presión sonora continuo equivalente en calles de mayor flujo vehicular. Para más detalles, ver la explicación de este punto en la ciudad de Valdivia.

e) Estaciones Fijas de Medición

En el presente proyecto se utilizarán estaciones fijas de monitoreo con el fin de registrar datos de varios días en un lugar. El objetivo es conocer el comportamiento temporal de un tipo de vía, con el fin de validar las mediciones o estimaciones que se realizarán para elaborar el mapa de ruido de cada ciudad. Esta experiencia debe aportar nuevos datos que podrían, eventualmente, ofrecer mejores ajustes a los métodos ya utilizados en proyectos anteriores.

Es conveniente mencionar que hay dos tipos de criterios para escoger estaciones de medición continua: el primero está asociado a conocer la dinámica acústica del lugar (importa el perfil acústico y no el valor de los niveles de ruido). El segundo es para estaciones permanentes, donde las magnitudes (valores) de ruido ambiental si son relevantes. Las estaciones que se están utilizando son del primer tipo, es decir, se utilizarán para estudiar el comportamiento acústico, pero no es necesario utilizar sus datos como valores en el mapa de ruido.

Criterios para emplazar las estaciones de monitoreo de tránsito vehicular

Al igual que en Valdivia y Temuco-Padre las Casas, los criterios considerados para emplazar las estaciones de monitoreo fijas en la conurbación Coquimbo-La Serena fueron los siguientes:

1. Vía con gradiente menor a 2%, excepto en estación de calle Carmona en Coquimbo.
2. Vía con carpeta de hormigón por ser ésta la de mayor presencia en la ciudad.
3. Vía con carpeta sin alteraciones importantes (hoyos, tapas sueltas, reductores de velocidad, otros).
4. Vías alejadas de sectores de actividades de esparcimiento y comercio .
5. Vías con tránsito vehicular fluido, sin puntos de detención en el tramo de interés, tales como; disco pare, semáforos, paraderos, etc.
6. Punto seleccionado, sin apantallamiento acústico.
7. Punto seleccionado, alejado de fuentes de ruido ajenas al tránsito vehicular.
8. Punto seleccionado, con fácil acceso para verificaciones y ajustes del equipamiento.
9. Punto seleccionado con adecuadas condiciones de seguridad para el equipamiento.

Mediante trabajo de terreno, se identificaron las vías y algunos lugares que pudieran cumplir con cada uno de los criterios indicados, además de criterios de seguridad y factibilidad técnica. La siguiente tabla resume el procedimiento llevado a cabo para definir los lugares de emplazamiento de las estaciones de monitoreo de ruido.

Tabla 28. Verificación del cumplimiento de los criterios considerados.

| Criterio | Punto para estación fija | | | |
|----------|--------------------------|------------|-------------------------|-----------------------------|
| | Carmona | Amunátegui | Gabriel González Videla | Matta |
| 1 | NO Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |
| 2 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |
| 3 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |
| 4 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple Parcialmente |
| 5 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple Parcialmente |
| 6 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |
| 7 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |
| 8 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |
| 9 | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple |
| Obs | Coquimbo | La Serena | La Serena | Plaza de Armas de La Serena |

Ubicación estaciones de monitoreo

1. Carmona (Local sin) frente al 368
2. Amunátegui (Troncal)
3. Gabriel González Videla (Servicio Con) frente al #1921, Entre Ernesto Peñafiel y Republica.
4. Matta (Local) frente al #495. Frente a Plaza de Armas

f) Clasificación Vial

La clasificación vial considerada para el proyecto corresponde a la establecida en el Plan Regulador vigente para las ciudades de La Serena y Coquimbo. En ambos el caso se realizó la clasificación según la información entregada por la Contraparte Regional. La clasificación vial se encuentra en un anexo, donde además se calculó la cantidad de kilómetros de cada tipo de vía en la ciudad.

Es relevante señalar que en este caso se utilizará la siguiente clasificación vial:

1. Vías Expresas con Locomoción Colectiva.
2. Vías Expresas sin Locomoción Colectiva
3. Vías Troncales con Locomoción Colectiva
4. Vías Troncales sin Locomoción Colectiva
5. Vías Colectoras con Locomoción Colectiva
6. Vías Colectoras sin Locomoción Colectiva
7. Vías de Servicio con Locomoción Colectiva
8. Vías de Servicio sin Locomoción Colectiva
9. Vías Locales con Locomoción Colectiva
10. Vías Locales sin Locomoción Colectiva

Esta subclasificación permitió mejorar notablemente el mapa de ruido en la ciudad de Valdivia, y por lo tanto, se utilizará también en esta oportunidad.

g) Mediciones Campaña 2014

Tal como para Valdivia, se realizaron mediciones en hora valle, vista la justificación y análisis de que la influencia de no incluir mediciones en hora punta es poco relevante para los fines del descriptor que incluye todo el día. Se ha estimado conveniente utilizar el mismo criterio que para Valdivia, así los tres periodos de Hora Punta a considerar son 07:00 – 09:00 hrs, y de 17:30 – 19:30 hrs. (SECTRA) para la conurbación Coquimbo-La Serena.

Tal como está contemplado, se ha realizado una campaña de 104 mediciones. El detalle de los puntos y la clasificación vial utilizada puede verse apropiadamente en el archivo “.kmz” (visibles con Google Earth) correspondiente en el anexo respectivo.

Tabla 29. Mediciones en conurbación la Serena – Coquimbo.

| Tipo de Vía | Calculadas según ec. | Cantidad de mediciones de flujo diurno realizadas | Cantidad de mediciones de flujo nocturno realizadas | Cantidad de mediciones acústicas realizadas | % mediciones acústicas | % mediciones flujo diurnas | % mediciones flujo nocturnas |
|---------------|----------------------|---|---|---|------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Expresas con | 2 | 4 | 5 | 4 | 200 | 200 | 100 |
| Expresa sin | 3 | 6 | | 2 | 66.66 | 200 | |
| Troncal con | 5 | 13 | 13 | 4 | 80 | 260 | 108.33 |
| Troncal sin | 7 | 4 | | 2 | 28.6 | 57.14 | |
| Colectora con | 9 | 41 | 24 | 25 | 277.77 | 455.55 | 120 |
| Colectora sin | 11 | 26 | | 14 | 127.27 | 236.36 | |
| Servicio con | 12 | 27 | 25 | 11 | 91.66 | 225 | 96.15 |
| Servicio sin | 14 | 21 | | 12 | 85,71 | 150 | |
| Local con | 15 | 26 | 44 | 9 | 60 | 173.33 | 100 |
| Local sin | 29 | 61 | | 31 | 106.89 | 210.34 | |
| | | 229 | 111 | 114 | | | |

Para la conurbación La Serena – Coquimbo se realizaron 114 mediciones acústicas, las cuales se distribuyeron como aparece en la tabla correspondiente. Además se realizaron 229 conteos diurnos y 111 conteos nocturnos (22:00-02:00 hrs). En la tabla precedente se muestran los porcentajes logrados para cada tipo de mediciones. En anexo se encuentran los datos de las mediciones en detalle.

A continuación se muestra un mapa con la distribución de estas las mediciones, con registro de datos acústicos y de flujo vehicular, que puede consultarse en detalle en anexo.

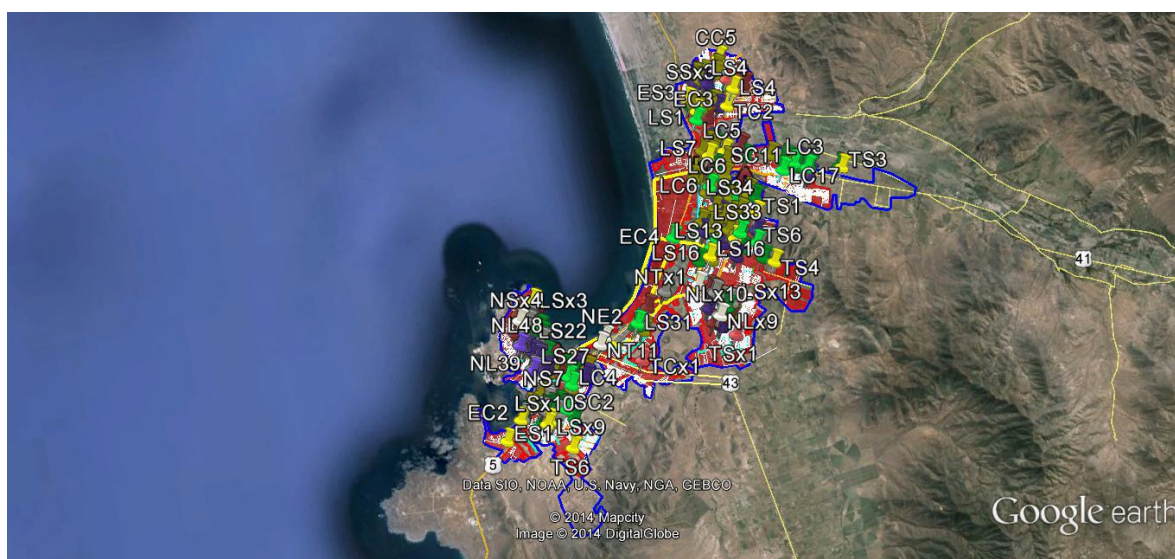


Fig. 53. Distribución de puntos de medición en el área a modelar en La Serena – Coquimbo.

De acuerdo al plan de trabajo se realizaron mediciones en terreno utilizando un tiempo de medición de 15 minutos, considerando los siguientes descriptores: Leq dB(A) (nivel de presión sonora continuo equivalente), L_{max} y L_{min} (nivel máximo y nivel mínimo), y niveles percentiles L10, L50 y L90. Además, durante cada medición se realizó un conteo diferenciado de vehículos, con el objetivo de considerar el efecto de la variable flujo vehicular sobre la relación entre valor de Leq medido y modelado. En anexo se presentan los valores obtenidos para el flujo vehicular y el nivel equivalente en las diferentes categorías de vías.

i) Mediciones Estaciones Fijas

Las estaciones fijas de esta campaña se instalaron en cuatro distintos puntos, y generaron registros continuos de más 6 días. Las fichas de caracterización de los puntos fijos se encuentran en anexo. Los puntos fueron:

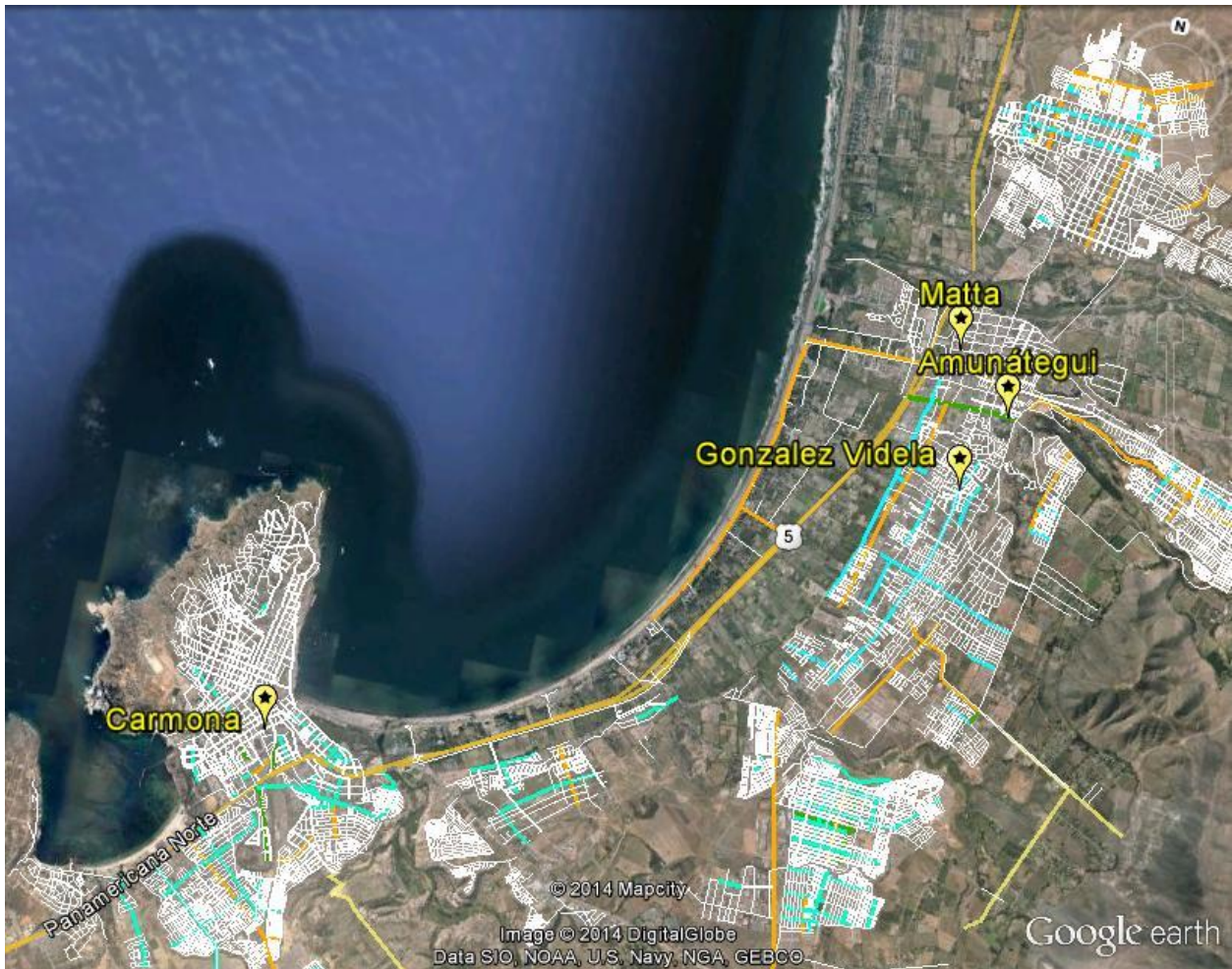


Fig. 54 Localización de Estaciones Fijas Campaña 2014 en el mapa de La Serena – Coquimbo



Fig. 55 Localización de Estaciones Fijas Campaña 2014 en mapa de La Serena – Coquimbo (detalle)



Estación Calle Carmona - Coquimbo
Carmona Frente al #368
Tipo Local sin Loc. Col.



Estación Calle Amunátegui – La Serena
Tipo Vía Troncal Sin Loc. Col..



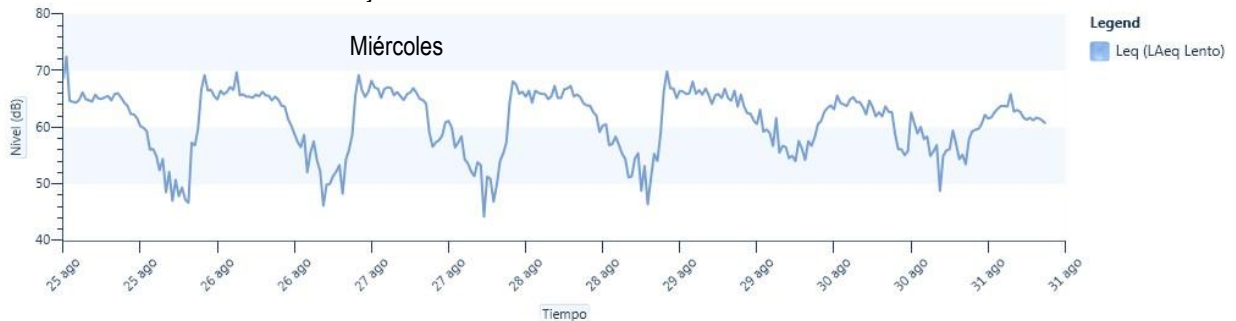
Estación Gabriel González Videla – La Serena
Gabriel González Videla, Entre Ernesto Peñafiel y Republica.
Tipo Vía Servicio con Loc. Col.



Estación Calle Matta – La Serena
Matta Frente al #495. Frente a Plaza de Armas Bulnes
Tipo de Vía Local Sin Loc..

Fig. 56. Localización de Estaciones Fijas Campaña 2014 en La Serena – Coquimbo.

Datos medidos en las estaciones fijas.



Niveles Equivalentes de 15 minutos - Estación Calle Matta – La Serena (Tipo de Vía Local)

Fig. 57 Registros de Nivel Continuo Equivalente Leq 15 min. Estaciones Fijas Campaña 2014 en el mapa de La Serena Coquimbo.

5.4.4. Mapa de ruido modelado

a) Datos de modelación mapa de ruido de La Serena - Coquimbo.

El mapa de ruido se ha generado con el análisis de los datos según el tipo de vía y con o sin locomoción colectiva. En anexo se encuentran los datos tabulados.

Respecto al análisis de los datos y los descriptores utilizados, ya se han comentado los aspectos vinculados sobre los estadísticos utilizados. En particular esta situación se ve reflejada en las vías colectoras, de servicio y locales como puede apreciarse en los “boxplot” (gráficos de caja) que representan la dispersión a través de las medidas de localización (cuartiles) mientras más compacta la caja más homogénea es la distribución de las observaciones de las variables vehículos totales y porcentaje de vehículos pesados. Asociado a esto hay que observar la variabilidad que se mide a través de la desviación estándar y el coeficiente de variación, mientras más bajos sean estos valores más homogéneos son las observaciones y más representativa es la media aritmética.

En las situaciones en que se presentan valores extremos y una alta variabilidad se debe buscar un estadígrafo más resistente que puede ser la mediana o la media recortada ambas medidas son resistente y robustas, la primera no se ve influenciada por valores extremos y la segunda obtiene el promedio quitando un porcentaje de ambos extremos, por este motivo que se ha recomendado visualizando los parámetros antes descritos usar la mediana en las situaciones en que se presenta mayor variabilidad y la media recortada en que la variabilidad es más baja. Los análisis y gráficos correspondientes se encuentran en anexo.

Los siguientes son los datos utilizados en la modelación de la conurbación La Serena – Coquimbo:.

Tabla. 30 Resumen de datos utilizados para elaborar el mapa de ruido diurno de La Serena – Coquimbo.

| Tipo de Vía | Cantidad de Mediciones Flujo Vehicular | Vehículos Total hora | Porcentaje de Vehículos Pesados hora |
|---------------|---|----------------------|---|
| Expresa con | 4 | 2124 | 11,9 |
| Expresa sin | 6 | 898 | 17,0 |
| Troncal con | 8 | 874 | 7,9 |
| Troncal sin | 2 | 684 | 6,4 |
| Colectora con | 41 | 690 | 7,3 |
| Colectora sin | 26 | 224 | 1,6 |
| Servicio con | 24 | 514 | 5,7 |
| Servicio sin | 19 | 319 | 1,1 |
| Local con | 26 | 401 | 9,2 |
| Local sin | 58 | 136 | 0,6 |
| Total | 214 | | |

Tabla. 31 Resumen de datos utilizados para elaborar el mapa de ruido nocturno de La Serena – Coquimbo.

| Tipo de Vía | Cantidad de Mediciones Flujo Vehicular | Vehículos Total hora | Porcentaje de Vehículos Pesados hora |
|--------------|---|----------------------|---|
| Expresa | 1 | 777 | 1,83 |
| Troncal | 6 | 283 | 0 |
| Colectora | 19 | 100 | 0 |
| Servicio | 18 | 94 | 0 |
| Local | 32 | 30 | 0 |
| Total | 76 | | |

La configuración de las otras variables de modelación es similar a lo realizado para la ciudad de Valdivia. Para el caso de la carretera, para ésta vía se utilizó una velocidad de 70 km/h, para las vías en la ciudad se utilizó 40 km/h como en la ciudad de Valdivia y Temuco – Padre Las Casas.

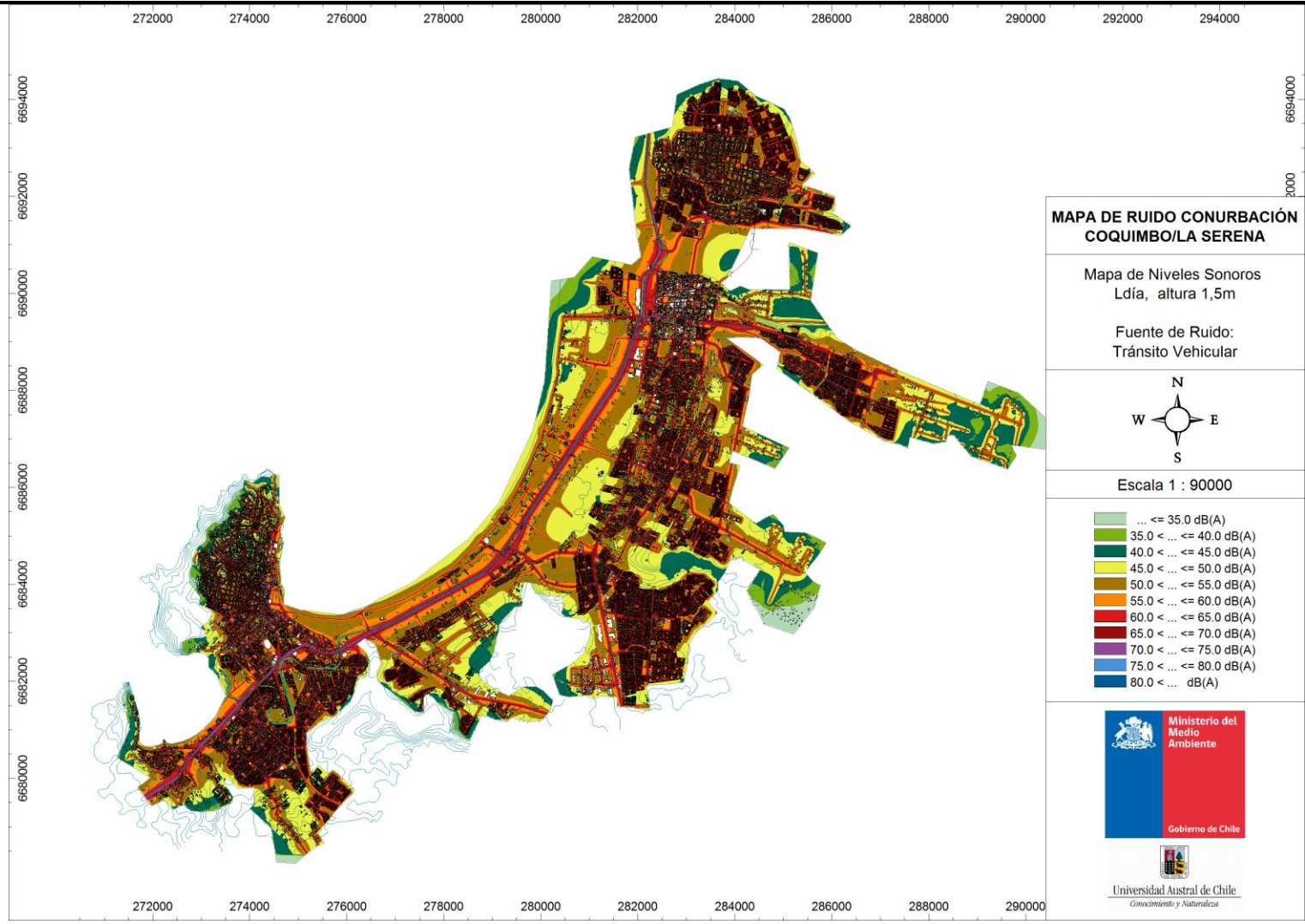


Fig. 58 Mapa de Ruido Ld (Nivel Día) de La Serena – Coquimbo.

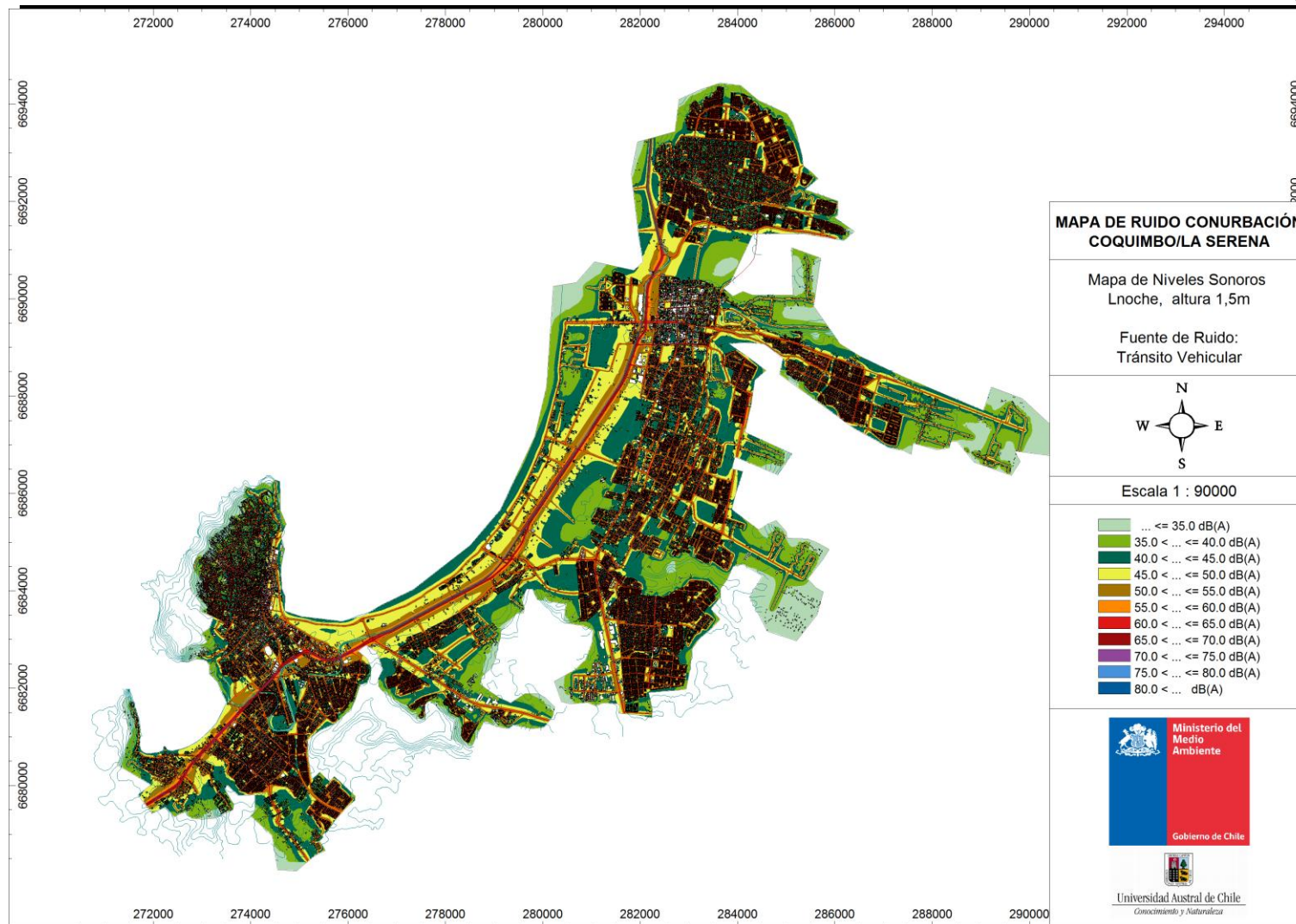


Fig. 59 Mapa de Ruido Ln (Nivel Noche) de La Serena – Coquimbo.

5.4.5. Comparación modelación y mediciones

A continuación se realiza un estudio del comportamiento del modelo de ruido de tránsito considerado según estudios previos, el modelo de predicción alemán RLS90. Para efectos del análisis se han considerado los flujos y mediciones realizadas, el correspondiente tipo de carpeta, hormigón y reflexiones de primer orden. Para todas las vías se ha considerado una velocidad promedio de 40 Km/h.

La comparación se realiza a través de un análisis de diferencias con el objetivo de establecer la diferencia promedio de la muestra, según la siguiente ecuación. Además, se incluye el porcentaje de valores o puntos de medición que superaron una diferencia entre modelo y medición de 1 dBA, 3 dBA y 5dBA.

$$\text{Diferencia} = |L_{\text{medido}} - L_{\text{simulado}}|$$

Donde:

L_{medido} : Nivel de ruido medido (dBA).

L_{simulado} : Nivel de ruido modelo predictivo RLS90 (dBA).

Análisis con datos de campaña

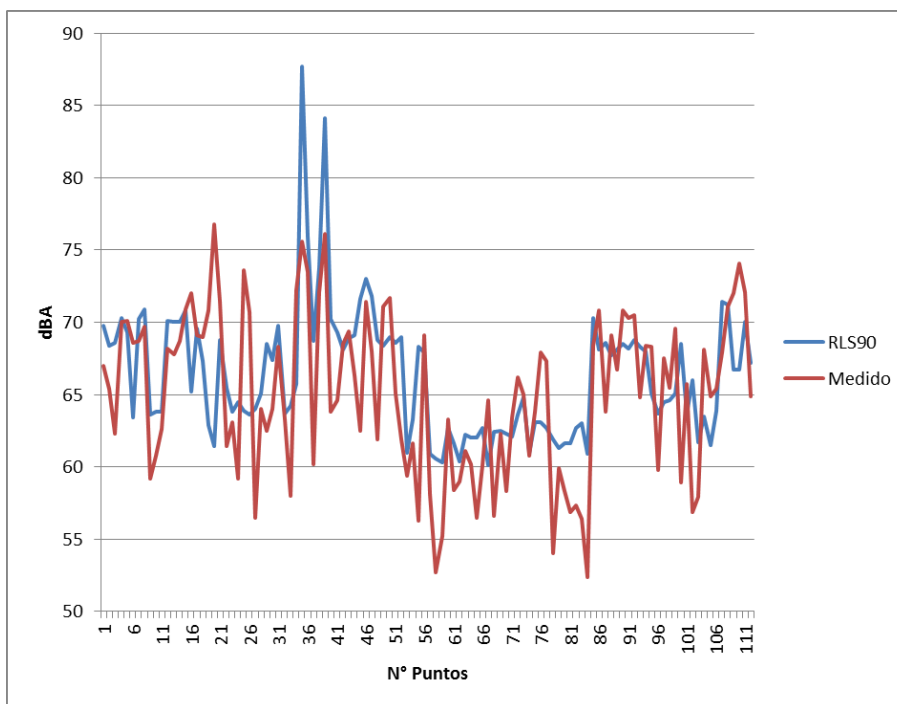


Fig 60. Curvas de nivel de ruido modelo RLS90 versus nivel medido u observado.

En la figura anterior se muestran los niveles de presión sonora equivalente en dBA obtenidos mediante la medición en los diferentes puntos de la campaña de medición y los valores calculados mediante el modelo RLS90. En forma general, para el modelo de ruido de tránsito rodado utilizado se puede visualizar que el método alemán RLS-90 se obtiene una curva cercana a los valores medidos.

A continuación se muestran las diferencias promedio entre nivel medido y nivel calculado a partir del modelo RLS90.

Tabla 32. Diferencia promedio entre el valor simulado con el modelo RLS90 y el valor medido u observado.

| Modelo | Diferencia Promedio [dBA] |
|--------|---------------------------|
| RLS90 | 3.8 |

Siguiendo con el análisis de diferencias se presenta a continuación un gráfico donde se incluye el porcentaje de valores o puntos de medición que superaron una diferencia entre modelo y medición de 1 dBA, 3 dBA y 5 dBA respectivamente.

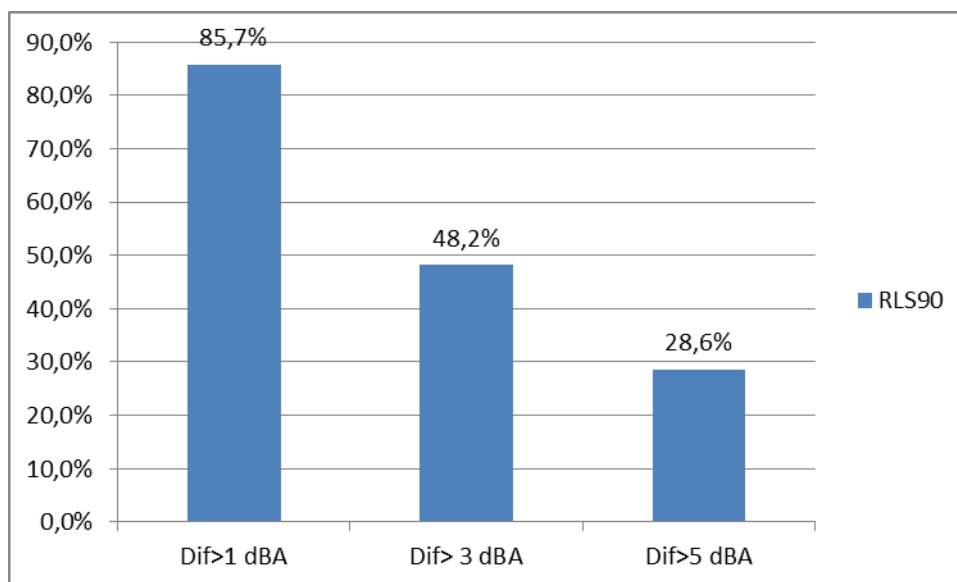


Fig 61. Porcentaje de puntos con diferencia mayor a 1, 3 y 5 dBA, entre valor medido y el valor de modelación.

De la figura anterior se puede apreciar que para el modelo alemán RLS-90, más del 60% de los puntos presenta una diferencia menor o igual a 5 dBA. Es relevante destacar que el modelo RLS-90 más del 50% de las diferencias entre modelo y medición es inferior a 3 dBA.

El análisis permite indicar que el modelo utilizado para la conurbación Temuco-Padre Las Casas, en acuerdo a las características del entorno y de medición entrega diferencias aceptables. Es de interés realizar un análisis más en detalle donde se estudien otros modelos en otras situaciones de tránsito vehicular, que incluyan la realidad de otras

zonas urbanas (pendientes, alto flujo de camiones, bajo flujo vehicular, etc). Esto permitirá conocer la validez de los cálculos en “condiciones tipo” de las vías del país. Sólo con un análisis de estas características sería posible concluir cuál es el modelo de predicción que se ajusta mejor a nuestra realidad nacional.

Tabla 33. Comparación entre valores medidos y modelados según clasificación vial (Coquimbo-La Serena).

| Categoría | Mediciones | Veh. Tot (hora) | % Pes. (hora) | Leq Prom. dBA (Medido) | RLS90 Prom. dBA (Modelado) | Diferencia RLS90 Prom. dBA |
|---|------------|-----------------|---------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Expresa c/locomoción | 3 | 2124 | 11.9 | 69.8 | 77.4 | 7.7 |
| Expresa s/locomoción | 2 | 898 | 17.0 | 74.1 | 79.0 | 4.9 |
| Troncal c/locomoción | 4 | 874 | 7.9 | 71.3 | 69.0 | 4.1 |
| Troncal s/locomoción | 2 | 684 | 6.4 | 68.5 | 68.6 | 2.2 |
| Colectora c/locomoción | 21 | 690 | 7.3 | 68.1 | 67.5 | 3.3 |
| Colectora s/locomoción | 13 | 224 | 1.6 | 64.4 | 65.4 | 4.6 |
| Servicio c/locomoción | 10 | 514 | 5.7 | 68.4 | 68.5 | 2.2 |
| Servicio s/locomoción | 12 | 319 | 1.1 | 64.0 | 64.3 | 4.1 |
| Local c/locomoción | 13 | 401 | 9.2 | 66.6 | 69.7 | 4.0 |
| Local s/locomoción | 32 | 136 | 0.6 | 60.1 | 62.4 | 3.6 |
| TOTAL | 112 | | | | | |
| Diferencia Promedio General Ponderado Según Clasificación Vial | | | | | | 3.8 |

5.5. Análisis de resultados de los mapas de ruido.

Se analizan los niveles modelados de acuerdo a valores límite de exposición al ruido. Para esto se considerará los criterios de evaluación establecidos por la Unión Europea [SILENCE 2009], en concordancia con lo indicado por la Organisation for Economic Co-operation and Development OECD [OECD 1991] y la Organización Mundial de la Salud OMS WHO 1999] [CONAMA 2010] [MMA 2011].

Se lleva a cabo para cumplir esta actividad, un análisis espacial, que permita determinar la población potencialmente expuesta al ruido ambiental, y la exposición al ruido de tránsito de establecimientos educacionales y de salud.

5.5.1. Descripción General

A continuación se realizan algunos análisis de los resultados de los mapas de ruido. Específicamente se realizan tres análisis:

1. **Superficie afectada por ruido de tránsito.** Se analiza la superficie modelada y cómo se distribuyen los niveles de ruido en el área de estudio. Para esta evaluación se eliminan superficies de ríos (Valdivia), y aquella que ocupan las edificaciones (a los que corresponde otros niveles de ruido, interiores a cada vivienda).
2. **Infraestructura de educación afectada por ruido.** Para el análisis se ha considerado la infraestructura de educación según escala regional y comunal. Es decir, según las directrices del MINVU: universidades, liceos, colegios y academias [DDU 2009]. De tales establecimientos, se ha estimado conveniente considerar la fachada más expuesta al ruido para el análisis, ya que la afección real estará dada por diversos factores ajenos al alcance de este estudio, como por ejemplo: la calidad acústica de la edificación, la orientación y ubicación de las zonas más sensibles por sobre otras menos sensibles (por ejemplo: salas de clases o bibliotecas, en comparación con gimnasios y pasillos), etc.
3. **Infraestructura de salud afectada por ruido.** Para este análisis se ha considerado la infraestructura de salud según escala regional y comunal. Es decir, según las directrices del MINVU: hospitales, clínicas, centros de rehabilitación y cementerios [DDU 2009]. De tales establecimientos, se ha estimado conveniente considerar la fachada más expuesta al ruido para el análisis, ya que la afección real estará dada por diversos factores ajenos al alcance de este estudio, como por ejemplo: la calidad acústica de la edificación, la orientación y ubicación de las zonas más sensibles por sobre otras menos sensibles (por ejemplo: salas de operaciones, habitaciones de pacientes, o capillas, en comparación con salas de espera y pasillos), etc.

En forma adicional, se realizan dos ejercicios con análisis que pueden considerarse como ejemplos a desarrollar a futuro con mayor detalle (y mejor información disponible):

1. **Habitantes potencialmente afectados por ruido (ejercicio).** Para evaluar las personas posiblemente afectadas por el ruido ambiental modelado (ruido de tránsito), se explican los supuestos y estimaciones posibles de hacer con los datos disponibles. Entre este tipo de supuestos, se trabaja con datos del censo 2002, y éstos se proyectan a la actualidad. Además se supone una distribución homogénea por distrito censal. Este es un ejercicio de estimación, ya que no es posible entregar mejor estimación que alguna de este tipo.

2. **Influencia de la locomoción colectiva (ejercicio).** Para estimar la influencia promedio de la locomoción colectiva pesada, se realiza un ejercicio de modelación y comparación en aquellas vías que incluyen este tipo de flujo vehicular. El análisis se hace en un conjunto, y luego por tipo de vía. Este es un ejercicio de estimación, ya que para asegurar esta influencia, hay que diseñar mediciones donde se controlen otros factores que influyen en el ruido de tránsito. Sin embargo, entrega un orden de magnitud.

5.5.2. Análisis Mapa de Ruido Modelados de Valdivia

5.2.2.1. Superficie modelada sobre recomendaciones internacionales en Valdivia

Para el mapa de ruido, se ha realizado el ejercicio del análisis de los valores de modelación obtenidos.

Tabla 34. Análisis de superficie del Mapa de Ruido Diurno de Valdivia (en hectáreas)

| Intervalo [dBA] | | Análisis de Superficie [hectáreas] | | | | | |
|-----------------|-----|------------------------------------|----------------|--|----------------|--|------------|
| Mín | Máx | Superficie Original | Superficie Río | Superficie Original Menos Superficie Río | Área edificada | Superficie Final Afectada (menos edif) | Porcentaje |
| 25 | 30 | 0.596 | - | 0.60 | 0.01 | 0.59 | 0.0 |
| 30 | 35 | 10.742 | - | 10.74 | 0.12 | 10.63 | 0.3 |
| 35 | 40 | 97.164 | - | 97.16 | 1.84 | 95.33 | 2.8 |
| 40 | 45 | 339.561 | 20.164 | 319.40 | 10.73 | 308.67 | 9.1 |
| 45 | 50 | 943.955 | 159.147 | 784.81 | 45.69 | 739.12 | 21.8 |
| 50 | 55 | 1,252.457 | 187.540 | 1,064.92 | 129.29 | 935.63 | 27.7 |
| 55 | 60 | 767.411 | 48.006 | 719.40 | 160.39 | 559.01 | 16.5 |
| 60 | 65 | 494.216 | 8.092 | 486.12 | 73.43 | 412.69 | 12.2 |
| 65 | 70 | 188.295 | 1.716 | 186.58 | 28.30 | 158.28 | 4.7 |
| 70 | 75 | 139.678 | 0.351 | 139.33 | 6.30 | 133.02 | 3.9 |
| 75 | 80 | 30.407 | 0.002 | 30.41 | 0.50 | 29.90 | 0.9 |
| 80 | 85 | 0.044 | - | 0.04 | - | 0.04 | 0.0 |
| 85 | 90 | 0.004 | - | 0.00 | - | 0.00 | 0.0 |
| | | 4,264.531 | 425.019 | 3,839.51 | 456.59 | 3,382.92 | 100 |

Tabla 35. Análisis de superficie del Mapa de Ruido Nocturno de Valdivia (en hectáreas)

| Intervalo [dBA] | | Análisis de Superficie [hectáreas] | | | | | |
|-----------------|-----|------------------------------------|----------------|--|----------------|--|------------|
| Mín | Máx | Superficie Original | Superficie Río | Superficie Original Menos Superficie Río | Área edificada | Superficie Final Afectada (menos edif) | Porcentaje |
| 25 | 30 | 234.74 | 14.71 | 220.03 | 4.81 | 215.22 | 6.59 |
| 30 | 35 | 679.94 | 125.86 | 554.08 | 24.38 | 529.70 | 16.21 |
| 35 | 40 | 1,179.63 | 181.15 | 998.48 | 77.66 | 920.82 | 28.18 |
| 40 | 45 | 853.94 | 80.74 | 773.20 | 131.60 | 641.61 | 19.64 |
| 45 | 50 | 503.63 | 14.62 | 489.01 | 141.39 | 347.62 | 10.64 |
| 50 | 55 | 485.77 | 2.03 | 483.74 | 63.10 | 420.64 | 12.87 |
| 55 | 60 | 156.46 | 0.42 | 156.03 | 9.38 | 146.66 | 4.49 |
| 60 | 65 | 45.80 | 0.01 | 45.79 | 0.54 | 45.24 | 1.38 |
| 65 | 70 | 0.07 | - | 0.07 | - | - | 0.00 |
| 70 | 75 | 0.00 | - | 0.00 | - | - | 0.00 |
| | | 4,139.98 | 419.54 | 3,720.43 | 452.86 | 3,267.58 | 100.00 |

Considerando la superficie total modelada, correspondiente a unos 38 km², un 90,5% de la superficie modelada está bajo los 65 dBA durante el día, y un 94,12% bajo los 55 dBA durante la noche. En este análisis se ha eliminado la superficie del río y las edificaciones.

5.2.2.2. Infraestructura de educación afectada por ruido ambiental en Valdivia

En la siguiente tabla se identifican los establecimientos considerados en este análisis.

Tabla 36. Análisis de Establecimiento educacional del Mapa de Ruido de Valdivia

| | Establecimiento educacional | Nivel Ld (dBA) |
|----|--|----------------|
| 1 | UACH Campus Teja | 59 |
| 2 | UACH Campus Miraflores | 59.5 |
| 3 | Universidad San Sebastián | 67.9 |
| 4 | Universidad Santo Tomás | 67 |
| 5 | Instituto Comercial | 66.9 |
| 6 | Liceo Técnico Valdivia | 69.3 |
| 7 | Liceo Sta. María La Blanca | 65.8 |
| 8 | Liceo Armando Robles | 70.5 |
| 9 | Liceo Industrial | 66.3 |
| 10 | Liceo Polivalente Los Avellanos | 54.7 |
| 11 | Liceo Politécnico Benjamín Vicuña Mackenna | 67.4 |
| 12 | Escuela Chile | 72.2 |
| 13 | Escuela México | 59.5 |
| 14 | Escuela España | 71 |
| 15 | Colegio Deportivo Municipal | 66.1 |
| 16 | Colegio Teniente Hernán Merino Correa | 56.6 |
| 17 | Escuela Leonardo Da Vinci | 69 |
| 18 | Escuela Diferencial Ann Sullivan | 64.3 |
| 19 | Colegio Juan Sebastián Bach | 68.9 |
| 20 | Escuela N°39 Las Animas | 66.6 |
| 21 | Escuela El Laurel | 64.6 |
| 22 | Escuela Fedor M. Dostoievski | 68.9 |
| 23 | Escuela Fernando Santiván | 60.8 |
| 24 | Escuela Alemania | 67.9 |
| 25 | Escuela Angachilla | 65.9 |
| 26 | Escuela Diferencial Walter Schmidt Roestel | 55.7 |
| 27 | C.E.I.A. Luis Moll Briones | 70.2 |
| 28 | Colegio Sta. María | 58.8 |
| 29 | Colegio Austral | 52.5 |
| 30 | Instituto Salesiano | 70.1 |
| 31 | Colegio María Auxiliadora | 66.2 |

| | Establecimiento educacional | Nivel Ld (dBA) |
|----|---|----------------|
| 32 | Escuela Particular N°4 Hogar del Niño | 67.7 |
| 33 | Escuela Particular N°7 Metodista | 59.8 |
| 34 | Colegio Adventista de Valdivia | 63.7 |
| 35 | Colegio Alonso de Ercilla | 70.6 |
| 36 | Colegio Windsor School | 63.1 |
| 37 | Instituto Alemán Valdivia | 65.6 |
| 38 | Colegio Helvecia | 66 |
| 39 | Colegio Baquedano | 66.6 |
| 40 | Escuela Especial de Lenguaje Peke Lines | 66.6 |
| 41 | Martin Luther King | 57.8 |
| 42 | Colegio Laura Vicuña | 61.3 |
| 43 | Colegio Domus Mater | 71.4 |
| 44 | Colegio Particular Gracia y Paz | 70.2 |
| 45 | Colegio Príncipe de Asturias | 71.4 |
| 46 | Escuela Francia | 66.6 |
| 47 | Colegio Gandhi | 67.8 |
| 48 | Instituto Inmaculada Concepción | 60.9 |
| 49 | Centro de Educación de Adultos Sandrock | 64.5 |
| 50 | Instituto Superior de Administración y Turismo | 69 |
| 51 | Colegio Tornagaleones | 70 |
| 52 | Colegio Laico | 57.7 |
| 53 | Centro Educacional San Nicolás | 68.5 |
| 54 | Instituto Cristiano Gracia y Paz | 70.7 |
| 55 | Escuela de Lenguaje Mis Palabras | 66.2 |
| 56 | Escuela El Bosque | 50.4 |
| 57 | Instituto Italia de Valdivia | 69 |
| 58 | Centro de Estimulación Temprana Inka Poyen | 62.9 |
| 59 | Colegio Cristiano Belén | 62.7 |
| 60 | Hampton College | 65.3 |
| 61 | Centro Educativo de Integración y Formación Laboral | 62.7 |
| 62 | Instituto Principe de Asturias | 69.2 |
| 63 | Escuela Hospitalaria Valdivia | 70.3 |
| 64 | Colegio San Lucas de Valdivia | 60.9 |
| 65 | Centro Educacional Infantil Meliantu | 68.6 |
| 66 | Escuela de Lenguaje Amankay | 60.5 |
| 67 | Marter's College | 47.5 |
| 68 | Escuela Especial de Lenguaje Words Wise | 59.7 |

| | Establecimiento educacional | Nivel Ld (dBA) |
|----|---|----------------|
| 69 | Escuela Especial Transitoria de Lenguaje San Miguel | 61.5 |
| 70 | Escuela de Lenguaje Pequeñas Voces | 63 |
| 71 | Liceo Bicentenario Ciudad de Los Ríos | 50.4 |
| 72 | Colegio Ecológico San Felipe | 69.9 |

Esta información se puede resumir en el siguiente análisis y posterior gráfico:

Tabla 37. Nivel de exposición al ruido diurno Ld de establecimientos educacionales en Valdivia

| Intervalos de ruido diurno Ld dB(A) | Cantidad de establecimientos educacionales | Porcentaje de establecimientos educacionales |
|-------------------------------------|--|--|
| 45-50 | 1 | 1.4 |
| 50-55 | 5 | 5.6 |
| 55-60 | 11 | 13.9 |
| 60-65 | 16 | 20.8 |
| 65-70 | 31 | 43.1 |
| 70-75 | 11 | 15.3 |

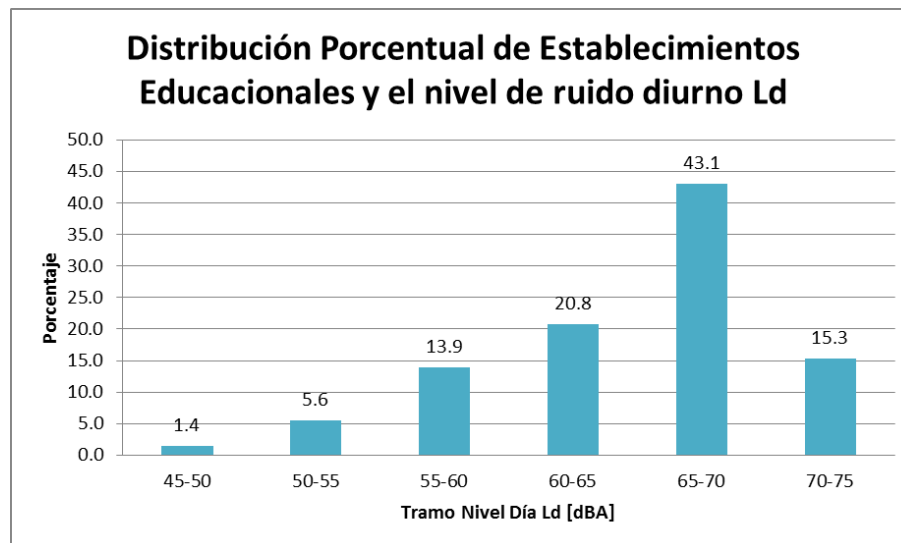


Fig. 62. Porcentaje de establecimientos educacionales expuestos a niveles de ruido durante el día Ld en Valdivia.

Según esta distribución, un 58,3% de los establecimientos educacionales se encuentran en zonas sobre los 65 dBA durante el día. Como referencia, para el caso de viviendas, la norma chilena recomienda un aislamiento de 30 dBA y 35 dBA mínimo para los tramos de 65 a 70 dBA y 70 a 75 dBA de ruido exterior diurno [INN 2000]. Cabe mencionar que esta normativa es aplicable a viviendas y sólo sirve de referencia, por lo tanto, en este caso de estos establecimientos sensibles (dedicados a la educación), los valores de aislamiento acústico deben ser mayores.

5.2.2.3. Infraestructura de salud afectada por ruido ambiental en Valdivia

En la siguiente tabla se identifican los establecimientos considerados en este análisis.

Tabla 38. Análisis de Establecimiento de Salud del Mapa de Ruido de Valdivia

| | Establecimiento | Nivel Ld (dBA) |
|----|---|----------------|
| 1 | Centro Salud Familiar Dr. Jorge Sabat | 64,4 |
| 2 | Centro Salud Universidad San Sebastian | 67,4 |
| 3 | Centro Salud Mental Comunitario Las Animas | 71,6 |
| 4 | Centro Comunitario Salud Familiar Barrios Bajos | 67,2 |
| 5 | Consultorio externo Valdivia | 63,8 |
| 6 | Centro Salud Familiar Las Animas | 62,3 |
| 7 | Centro Salud Familiar Angachilla | 59,2 |
| 8 | Centro Salud Universitario UACH | 64,6 |
| 9 | Centro Clínico Militar | 66,6 |
| 10 | Hospital Base Valdivia | 58,4 |
| 11 | Clínica Alemana | 54,2 |

Valdivia es una ciudad es más pequeña que Temuco – Padre Las Casas y La Serena – Coquimbo, razón por la que los establecimientos de salud a escala comunal son menos, en número.

Esta información se puede resumir en el siguiente análisis y posterior gráfico:

Tabla 39. Nivel de exposición al ruido diurno Ld de establecimientos de salud en Valdivia

| Intervalos de ruido diurno Ld dB(A) | Cantidad de establecimientos de salud | Porcentaje de establecimientos de salud |
|-------------------------------------|---------------------------------------|---|
| 45-50 | 0 | 0 |
| 50-55 | 1 | 9,1 |
| 55-60 | 2 | 18,2 |
| 60-65 | 4 | 36,4 |
| 65-70 | 3 | 27,3 |
| 70-75 | 1 | 9,1 |

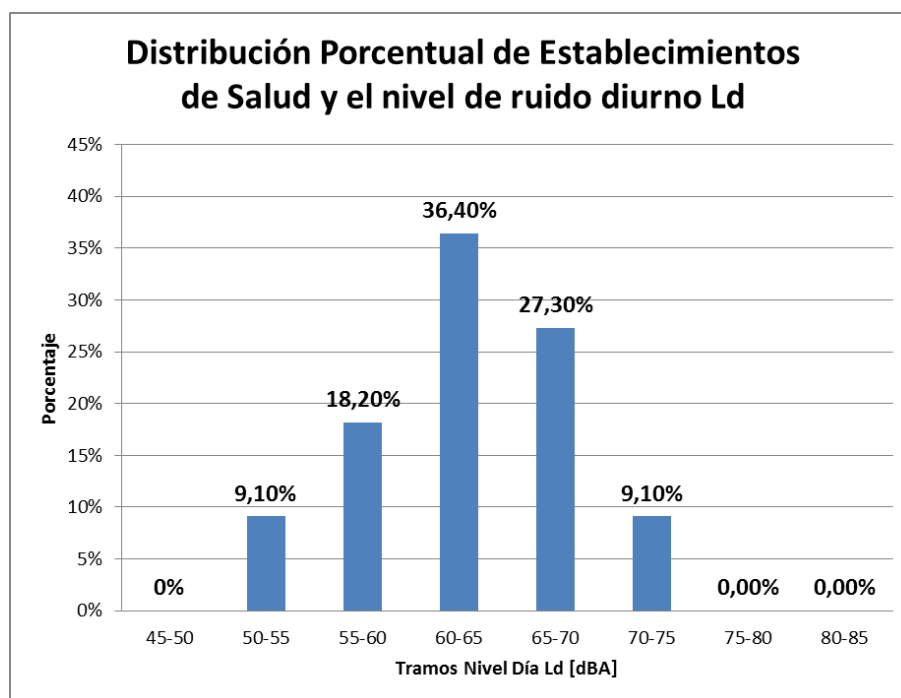


Fig 63. Porcentaje de establecimientos de salud expuestos a niveles de ruido durante el día Ld en Valdivia.

Según esta distribución, un 36,4% de los establecimientos de salud se encuentran en zonas sobre los 65 dBA durante el día. Como referencia, para el caso de viviendas, la norma chilena recomienda un aislamiento de 30 dBA mínimo para el tramo de 65 a 70 dBA de ruido exterior diurno [INN 2000]. Cabe mencionar que esta normativa es aplicable a viviendas y sólo sirve de referencia, por lo tanto, en este caso de estos establecimientos sensibles (dedicados a la salud), los valores de aislamiento acústico deben ser mayores.

5.2.2.4. Estimación de población potencialmente afectada por ruido ambiental en Valdivia (ejercicio)

Para este análisis, que se realiza más bien como un ejercicio, ya que no se cuenta con información detallada en el área de estudio de la población, su distribución y habitación de viviendas.

Considerando lo anterior, la población estimada que está potencialmente afectada por altos niveles de ruido se utilizó la siguiente metodología:

- a) Se utilizó la información de población por distrito censal del censo 2002, dado que el censo 2012 aún no ha entregado información de población a nivel de distritos, sino sólo la población comunal. En la siguiente tabla se puede observar la población y la densidad de población por distrito, siendo los 10 primeros distritos los correspondientes a la zona de estudio.

Tabla 40. Densidad de habitantes en la Comuna de Valdivia. [Minuvaldivia 2014]

COMUNA DE VALDIVIA. DENSIDAD DE POBLACION (Hab/km²), (Hab/Há.)

| COMUNA DE VALDIVIA | POBLACION y SUPERFICIE CENSO 2002. | | | |
|----------------------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| | DISTRITO CENSAL. | SUPERFICIE. Km ² | POBLACION NTOTAL | DENSIDAD (hab/ km ²) |
| 01 Camilo Henríquez. | 0,9 | 3.554 | 3.949 | 39,5 |
| 02 Isla Teja. | 9,2 | 5.267 | 573 | 5,7 |
| 03 Mercedes. | 0,9 | 2.548 | 2.831 | 28,3 |
| 04 Las Animas. | 16,1 | 9.664 | 600 | 6,0 |
| 05 Estación. | 7,7 | 15.327 | 1990 | 19,9 |
| 06 Huellethue. | 66,9 | 20.695 | 309 | 3,09 |
| 07 Teniente Merino. | 24,5 | 20.461 | 835 | 8,35 |
| 08 Las Mulatas. | 17,4 | 36.099 | 2074 | 20,74 |
| 09 Pantano. | 1,2 | 8.274 | 6895 | 68,95 |
| 10 Aguirre. | 1,6 | 8.197 | 5123 | 51,23 |
| 11 Pichoy. | 69,6 | 1.324 | 19 | 0,19 |
| 12 Molco. | 131,0 | 580 | 4,43 | 0,044 |
| 13 Pishuenco. | 139,1 | 555 | 3,99 | 0,039 |
| 14 Santo Domingo. | 154,7 | 523 | 3,38 | 0,033 |
| 15 Guacamayo. | 80,5 | 158 | 1,96 | 0,019 |
| 16 Estancilla. | 80,2 | 669 | 8,34 | 0,083 |
| 17 Niebla. | 46,5 | 3.578 | 76,94 | 0,76 |
| 18 Curiñanco. | 70,7 | 802 | 11,34 | 0,11 |
| 19 Tambillo. | 96,9 | 109 | 1,13 | 0,011 |

FUENTE: INE. 2002

- b) Se utilizó la cartografía del mapa de ruido por rangos de decibeles, tanto para el día y como para la noche, y la cartografía de distritos de la zona urbana de la comuna. A través del proceso de intersección de esta cartografía en ArcGis, se pudo estimar las superficies por distrito para cada rango de decibeles.

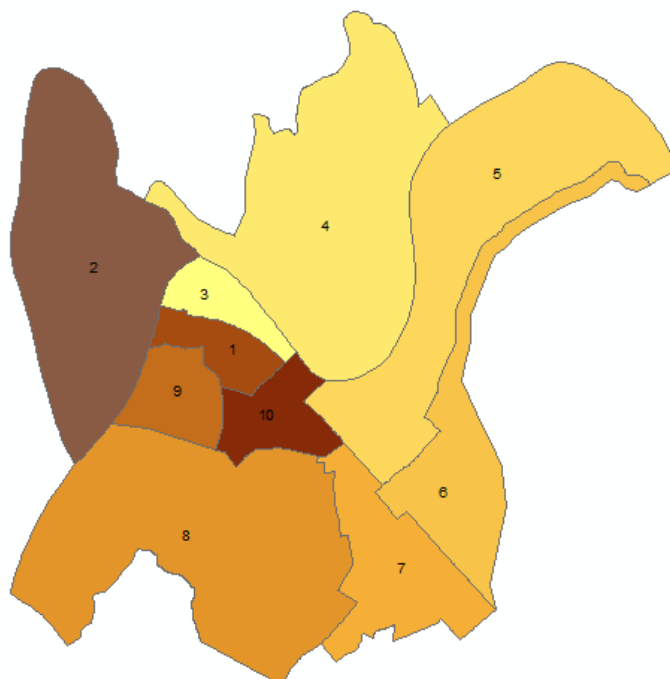


Fig 64. Distritos censales de área urbana de Valdivia. [Elaboración Propia]

- c) Los datos obtenidos por geoprocesamiento y cálculo en SIG de la superficie de cada área en hectáreas, se traspasó a las siguientes tablas para los valores de ruido día para rangos con valor máximo 65 dBA y de ruido noche para aquellos con valor desde 55 dBA. Aquellas superficies con valor inferior a 0,1 hectárea no se consideraron.

Tabla 41. Datos obtenidos del área afectada por niveles de ruido en el día para cada distrito (hectáreas), y densidad para cada distrito según censo 2002 (Hab./há)

| Distrito | 60-65 | 65-70 | 70-75 | 75-80 | Densidad censo 2002 [Hab./há] |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------|
| 1 | 13,6 | 9,9 | 8,5 | 2,6 | 39,5 |
| 2 | 36,9 | 13,1 | 8,7 | 2,0 | 5,7 |
| 3 | 18,9 | 17,4 | 10,4 | 3,2 | 28,3 |
| 4 | 36,7 | 14,5 | 12,5 | 2,1 | 6,0 |
| 5 | 59,8 | 25,4 | 20,8 | 5,0 | 19,9 |
| 6 | 50,7 | 13,7 | 11,7 | 1,7 | 3,09 |
| 7 | 59,8 | 16,4 | 12,0 | 2,6 | 8,35 |
| 8 | 125,8 | 37,7 | 25,5 | 3,7 | 20,74 |
| 9 | 17,2 | 11,5 | 8,4 | 1,8 | 68,95 |
| 10 | 26,7 | 12,8 | 9,2 | 2,5 | 51,23 |

Tabla 42. Datos obtenidos del área afectada por niveles de ruido en la noche para cada distrito (hectáreas), y densidad para cada distrito según censo 2002 (Hab./há)

| Distrito | 50-55 | 55-60 | 65-70 | Densidad censo 2002 [Hab/há] |
|----------|-------|-------|-------|------------------------------|
| 1 | 13,7 | 9,8 | 2,9 | 39,5 |
| 2 | 32,0 | 10,2 | 2,6 | 5,7 |
| 3 | 19,3 | 16,6 | 5,9 | 28,3 |
| 4 | 36,0 | 13,6 | 3,4 | 6,0 |
| 5 | 50,9 | 15,5 | 4,0 | 19,9 |
| 6 | 54,3 | 9,7 | 1,8 | 3,09 |
| 7 | 62,2 | 14,4 | 4,5 | 8,35 |
| 8 | 129,5 | 33,3 | 8,8 | 20,74 |
| 9 | 18,1 | 10,6 | 3,4 | 68,95 |
| 10 | 26,6 | 13,1 | 4,0 | 51,23 |

- d) Dado que se conoce la densidad de población (según censo 2002) para cada distrito es posible estimar la población potencialmente afectada para cada distrito según rango de dBA. Además, a partir de los datos preliminares del censo 2012, se puede indicar que el aumento promedio de la población urbana es de 10,8% (la población urbana en el censo de 2002 fue de 129.401 habitantes y 143.369 habitantes según datos preliminares del censo de 2012). En base a este porcentaje de crecimiento se puede estimar la población por distrito potencialmente afectada por ruido según rango de decibeles para el día y noche. Al determinar la superficie afectada por cierto nivel de ruido (rangos día y noche), se multiplica por la densidad de población para obtener la población de esa área.

Tabla 43. Población estimada potencialmente afectada por ruido (dBA) durante el día, por distrito censal en Valdivia.

| Distrito | Estimación Población base censo 2002 potencialmente afectada por ruido diurno [dBA] | | | Distrito | Estimación Población 2012 potencialmente afectada por ruido diurno [dBA] | | |
|--------------|---|-------------|------------|--------------|--|-------------|------------|
| | 65-70 | 70-75 | 75-80 | | 65-70 | 70-75 | 75-80 |
| 1 | 391 | 336 | 103 | 1 | 433 | 372 | 114 |
| 2 | 75 | 50 | 11 | 2 | 83 | 55 | 13 |
| 3 | 492 | 294 | 91 | 3 | 546 | 326 | 100 |
| 4 | 87 | 75 | 13 | 4 | 96 | 83 | 14 |
| 5 | 505 | 414 | 100 | 5 | 560 | 459 | 110 |
| 6 | 42 | 36 | 5 | 6 | 47 | 40 | 6 |
| 7 | 137 | 100 | 22 | 7 | 152 | 111 | 24 |
| 8 | 782 | 529 | 77 | 8 | 866 | 586 | 85 |
| 9 | 793 | 579 | 124 | 9 | 879 | 642 | 138 |
| 10 | 656 | 471 | 128 | 10 | 727 | 522 | 142 |
| Total | 3960 | 2884 | 673 | Total | 4388 | 3196 | 745 |

Tabla 44. Población estimada potencialmente afectada por ruido (dBA) durante la noche, por distrito censal en Valdivia.

| Estimación Población base censo 2002 potencialmente afectada por ruido nocturno [dBA] | | | Estimación Población 2012 potencialmente afectada por ruido nocturno [dBA] | | |
|---|-------------|-------------|--|-------------|-------------|
| Distrito | 55-60 | 60-65 | Distrito | 55-60 | 60-65 |
| 1 | 387 | 115 | 1 | 429 | 127 |
| 2 | 58 | 15 | 2 | 64 | 16 |
| 3 | 470 | 167 | 3 | 521 | 185 |
| 4 | 82 | 20 | 4 | 90 | 23 |
| 5 | 308 | 80 | 5 | 342 | 88 |
| 6 | 30 | 6 | 6 | 33 | 6 |
| 7 | 120 | 38 | 7 | 133 | 42 |
| 8 | 691 | 183 | 8 | 765 | 202 |
| 9 | 731 | 234 | 9 | 810 | 260 |
| 10 | 671 | 205 | 10 | 744 | 227 |
| Total | 3548 | 1061 | Total | 3931 | 1176 |

En virtud de lo anterior, es posible indicar que la población estimada potencialmente afectada directamente por niveles de ruido sobre los 65 dBA en el día, en la zona de estudio corresponde a 8.329 personas. Por la noche la cantidad de personas potencialmente expuestas a más de 55 dBA corresponde a 5.107. Esto corresponde al 6,3% y 3,9 % respectivamente de la población estimada para el área de estudio (132.427 habitantes).

5.2.2.5. Estimación de influencia de la locomoción colectiva en el ruido ambiental en Valdivia (ejercicio)

Para realizar una estimación del aporte de la locomoción colectiva pesada (microbuses) en el ruido ambiental de la ciudad de Valdivia, se analizaron aquellas calles con mediciones que incluyeran este tipo de vehículos.

Así, se tomaron en cuenta cuarenta y un mediciones de calles de la ciudad donde se identificaron flujos de locomoción colectiva. En estos casos se realizó una modelación con los datos exactos de flujos vehiculares totales, es decir, incluyendo locomoción colectiva, y otra modelación con datos que excluye la locomoción colectiva (se incluyen camiones y vehículos pesados, sólo se eliminan microbuses). En el siguiente gráfico se puede apreciar la diferencia entre ambos casos.

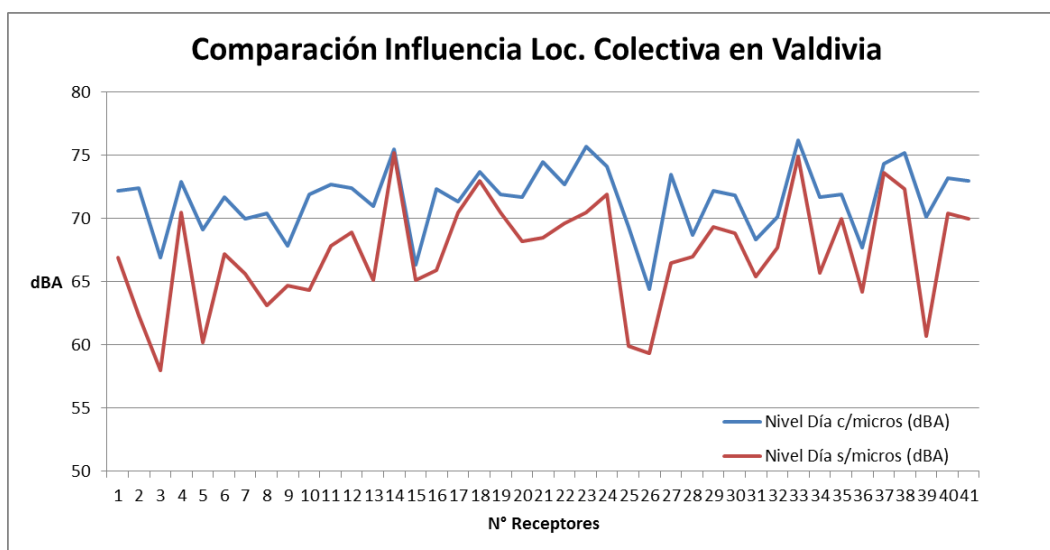


Fig 65. Diferencia entre datos de ruido modelados con y sin locomoción colectiva (micros) en mediciones realizadas en Valdivia.

El promedio de la diferencia entre ambas situaciones es de 4,2 [dBA] mayor para presencia de locomoción colectiva.

En la siguiente figura se presenta un análisis por cada tipo de vía, por separado. Vale decir, vías colectoras, servicio y locales. Al realizar un análisis por tipo de vía, la diferencia del aporte de la locomoción colectiva en promedio es de de 1,7 [dBA] en vías colectoras, 3,2 [dBA] para vías de servicio, y 5,4 [dBA] para vías locales.

Este resultado es esperable, pues debe tenerse presente que las vías colectoras tienen más flujo vehicular que las de servicio, y éstas que las locales. Por lo tanto, la influencia del paso de locomoción colectiva es más relevante en vías de bajo flujo vehicular, como las vías locales.

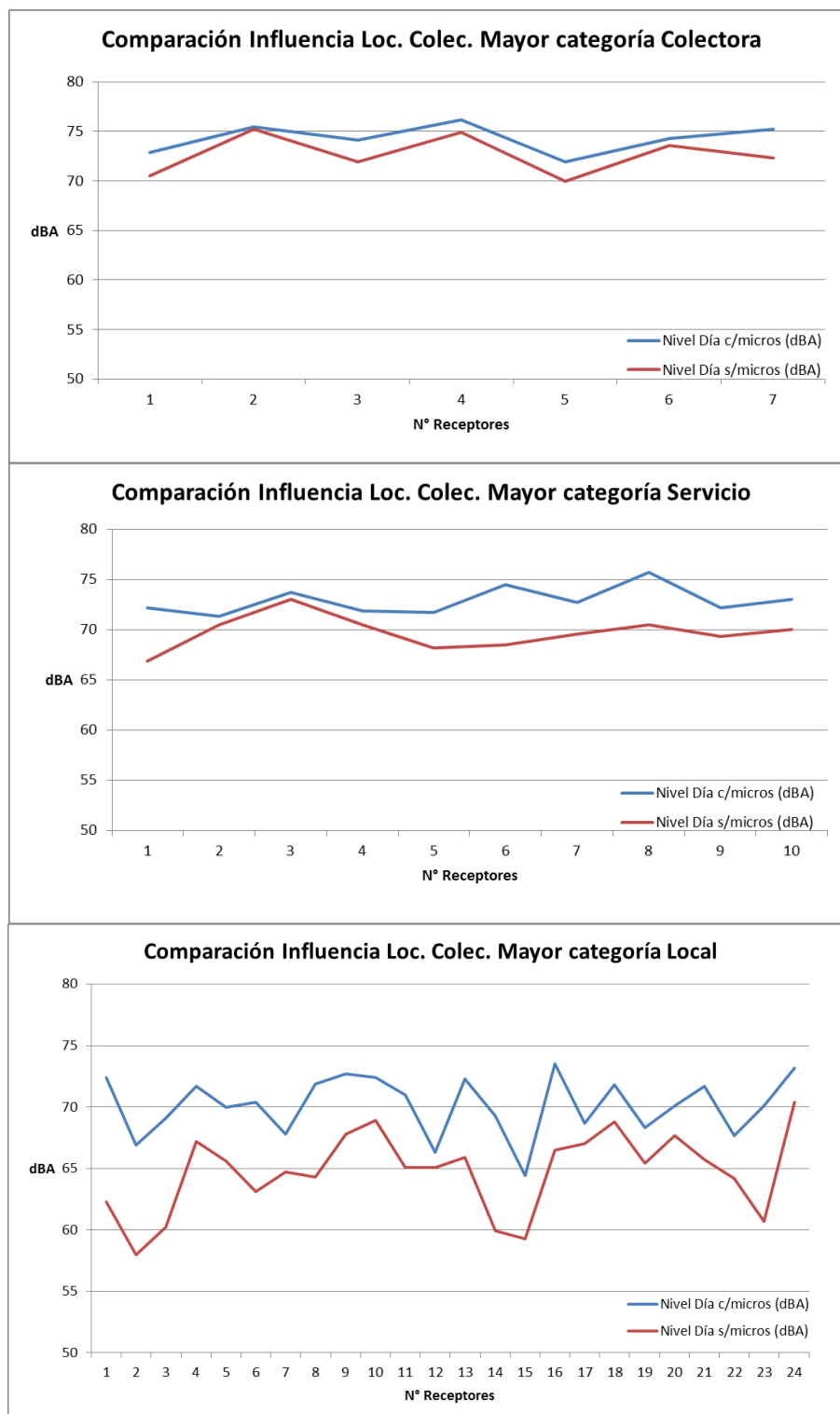


Fig 66. Diferencia entre datos de ruido modelados con y sin locomoción colectiva (micros) por tipo de vías, en mediciones realizadas en Valdivia.

5.5.3. Análisis Mapa de Ruido Modelados de Temuco – Padre Las Casas

5.5.3.1. Superficie modelada sobre recomendaciones internacionales en Temuco - Padre Las Casas

Para el mapa de ruido, se ha realizado el ejercicio del análisis de los valores de modelación obtenidos.

Tabla 45. Análisis de superficie del Mapa de Ruido Diurno de Temuco – Padre Las Casa (en hectáreas)

| Intervalo [dBA] | | Análisis de Superficie [hectáreas] | | | |
|-----------------|-----|------------------------------------|----------------|--|------------|
| Mín | Máx | Superficie Original | Área edificada | Superficie Final Afectada (menos área edificada) | Porcentaje |
| 25 | 30 | 0.60 | - | 0.6 | 0.01 |
| 30 | 35 | 0.06 | 0.0 | 0.0 | 0.00 |
| 35 | 40 | 6.26 | 2.0 | 4.2 | 0.10 |
| 40 | 45 | 163.40 | 31.7 | 131.7 | 3.01 |
| 45 | 50 | 749.19 | 190.9 | 558.3 | 12.76 |
| 50 | 55 | 1,483.52 | 502.4 | 981.1 | 22.42 |
| 55 | 60 | 1,462.62 | 298.7 | 1,163.9 | 26.59 |
| 60 | 65 | 797.36 | 53.9 | 780.9 | 17.84 |
| 65 | 70 | 327.12 | 16.4 | 324.8 | 7.42 |
| 70 | 75 | 273.31 | 2.3 | 271.0 | 6.19 |
| 75 | 80 | 132.32 | 0.1 | 132.3 | 3.02 |
| 80 | 85 | 25.61 | 0.0 | 25.6 | 0.59 |
| 85 | 90 | 2.51 | - | 2.5 | 0.06 |
| 90 | 95 | 0.0 | - | 0.0 | 0.00 |
| | | 5,423.88 | 1098.4 | 4,377.1 | 100.00 |

Tabla 46. Análisis de superficie del Mapa de Ruido Nocturno de Temuco – Padre Las Casa (en hectáreas)

| Intervalo [dBA] | | Análisis de Superficie [hectáreas] | | | |
|-----------------|-----|------------------------------------|----------------|--|------------|
| Mín | Máx | Superficie Original | Área edificada | Superficie Final Afectada (menos área edificada) | Porcentaje |
| 25 | 30 | 241.79 | - | 241.8 | 5.2 |
| 30 | 35 | 717.38 | 219.0 | 498.3 | 10.8 |
| 35 | 40 | 1,414.18 | 509.7 | 904.5 | 19.6 |
| 40 | 45 | 1,241.57 | 65.1 | 1176.5 | 25.5 |
| 45 | 50 | 995.84 | 12.1 | 983.8 | 21.3 |
| 50 | 55 | 433.91 | 2.0 | 431.9 | 9.4 |
| 55 | 60 | 229.39 | 0.2 | 229.2 | 5.0 |
| 60 | 65 | 94.83 | 0.0 | 94.8 | 2.1 |
| 65 | 70 | 45.91 | - | 45.9 | 1.0 |
| 70 | 75 | 8.57 | - | 8.6 | 0.2 |
| 75 | 80 | 0.51 | - | 0.5 | 0.0 |
| | | 5,423.88 | 808.1 | 4615.8 | 100.0 |

Considerando la superficie total modelada, correspondiente a unos 54 km², un 82,72% de la superficie modelada está bajo los 65 dBA durante el día, y un 91,8% bajo los 55 dBA durante la noche. En este análisis se ha eliminado la superficie del terreno que cubren las edificaciones.

5.5.3.2. Infraestructura de educación afectada por ruido ambiental en Temuco - Padre Las Casas

En la siguiente tabla se identifican los establecimientos considerados en este análisis.

Tabla 47. Análisis de Establecimiento educacional del Mapa de Ruido de Temuco – Padre Las Casas

| | Establecimiento educacional | Nivel Ld (dBA) |
|---|-------------------------------------|----------------|
| 1 | Escuela Municipal Manuel Recabarren | 68.4 |
| 2 | Escuela Básica Millaray | 70.3 |
| 3 | Escuela Llaima | 58.6 |
| 4 | Escuela Andrés Bello | 71.6 |
| 5 | Escuela Marcela Paz | 68.4 |
| 6 | Escuela Arturo Prat | 73.3 |
| 7 | Escuela Standar | 69.2 |

| | Establecimiento educacional | Nivel Ld (dBA) |
|----|--|----------------|
| 8 | Escuela Part. San Juan | 66.2 |
| 9 | Escuela Municipal V. Carolina | 72.6 |
| 10 | Escuela Campos Deportivos | 64.0 |
| 11 | Escuela Pedro de Valdivia | 73.0 |
| 12 | Escuela Villa Alegre | 68.1 |
| 13 | Escuela Municipal Amanecer | 60.7 |
| 14 | Escuela Básica Los Trigales | 74.3 |
| 15 | Liceo Industrial PAC | 59.9 |
| 16 | Escuela Armando Dufey Blanc | 64.8 |
| 17 | Colegio Municipal Mundo Mágico | 67.6 |
| 18 | Escuela Municipal Los Avellanos | 67.9 |
| 19 | Escuela Municipal Alonso de Ercilla | 64.1 |
| 20 | Liceo Bicentenario | 69 |
| 21 | Liceo Gabriel Mistral | 68.3 |
| 22 | Liceo Pablo Neruda_edif3 | 56.8 |
| 23 | Liceo Pablo Neruda edif Bilbao | 62.7 |
| 24 | Liceo Técnico Temuco | 68.3 |
| 25 | Liceo Especial Nielol | 67.7 |
| 26 | CEIA Selva Negra | 56.8 |
| 27 | Liceo Tiburcio Saavedraa_edif3 | 54.5 |
| 28 | Escuela de Adultos Manuel Rojas | 66.4 |
| 29 | Internado Pablo Neruda | 68 |
| 30 | Complejo Educacional Padre Las Casas | 67.5 |
| 31 | Colegio Bautista | 66.3 |
| 32 | Escuela municipal Manuel Rodríguez | 59.6 |
| 33 | Escuela Santa Rosa | 67.7 |
| 34 | Escuela José Miguel Carrera | 69.8 |
| 35 | Liceo Industrial A-27 | 59.6 |
| 36 | Escuela Darío Salas | 67.2 |
| 37 | Escuela Municipal V. Turingia | 68.5 |
| 38 | Colegio Providencia | 69.3 |
| 39 | Instituto Claret | 69.4 |
| 40 | Liceo Politécnico Pueblo Nuevo | 68.4 |
| 41 | Liceo Javiera Carrera | 62.9 |
| 42 | Colegio Montessori | 70.3 |
| 43 | Complejo Educacional Padre Oscar Moser | 58.1 |
| 44 | Colegio Augusto Winter | 60 |

| | Establecimiento educacional | Nivel Ld (dBA) |
|----|--|----------------|
| 45 | Colegio Anglicano | 67.1 |
| 46 | Liceo Camilo Henríquez | 67.7 |
| 47 | Escuela Monseñor Guido de Ramberga | 74 |
| 48 | Colegio María Admirable | 68.7 |
| 49 | Escuela Part. Arturo Arriagada | 62.2 |
| 50 | Colegio Nuestra Señora del Carmen | 68.4 |
| 51 | Liceo Francisco de Asis | 57.1 |
| 52 | Colegio La Salle | 74.1 |
| 53 | Colegio La Espiga | 68.6 |
| 54 | Escuela Part. Estrella de Belén | 53.9 |
| 55 | Escuela Particular San Rafael Arcángel | 61.1 |
| 56 | Escuela N169 | 66 |
| 57 | Escuela Part. Araucanía | 59.2 |
| 58 | Colegio Los Reyes | 62.3 |
| 59 | Complejo Educacional Villa Irma | 53 |
| 60 | Liceo Técnico Prof. Centenario | 75.4 |
| 61 | Escuela Los Trigales | 65.2 |
| 62 | Liceo Particular Nazareth | 59.2 |
| 63 | Establecimiento Padre Bartolomé de Las Casas | 70.4 |
| 64 | Escuela Part. Papelucho | 69.5 |
| 65 | Escuela Part. San Bernardo | 77.6 |
| 66 | Colegio Manuel Montt | 71.6 |
| 67 | Colegio Las Américas | 58.4 |
| 68 | Colegio Cristiano Gracia y Paz | 73.8 |
| 69 | IPC Chile | 74.6 |
| 70 | Colegio Alemán | 60.7 |
| 71 | Colegio Centenario | 61.4 |
| 72 | Colegio Sta. Cruz | 70.6 |
| 73 | Colegio Metodista | 73.9 |
| 74 | Escuela Básica San Sebastián de Manquehue | 72.8 |
| 75 | Green House School | 65.2 |
| 76 | Escuela N°15 AMI | 59.1 |
| 77 | Escuela Alfa y Omega | 59 |
| 78 | Colegio Juan XXii | 69.8 |
| 79 | Complejo Educacional La Frontera | 55.5 |
| 80 | Escuela Basica Particular Emprender | 69.5 |
| 81 | Colegio Holanda | 55.2 |

| | Establecimiento educacional | Nivel Ld (dBA) |
|-----|--|----------------|
| 82 | Escuela de Lenguaje Icalma | 69.2 |
| 83 | CEIA Colegio Adulto | 73.4 |
| 84 | Escuela Part. Miss Clara Brincefield | 67.8 |
| 85 | Liceo Humanista Científico Brainstorm | 65.6 |
| 86 | Liceo Americo Vesputio | 57.9 |
| 87 | Liceo Particular San Roque | 61.1 |
| 88 | Colegio Temuco College | 60.1 |
| 89 | Colegio Hebreo | 61.1 |
| 90 | Colegio De Educacion De Adultos Horizont | 61.7 |
| 91 | Escuela de Lenguaje Cre-ser | 60.2 |
| 92 | Colegio Saint Patrick School | 65.7 |
| 93 | Colegio Adultos CEIA-Futuro | 69.7 |
| 94 | Liceo San Sebastian de Padre Las Casas | 68.7 |
| 95 | Colegio Andes | 68.8 |
| 96 | Escuela Part. Wenceslao Valdivia | 61.8 |
| 97 | Colegio Betania | 68.7 |
| 98 | Escuela Part. Aprendiendo a Vivir | 60.3 |
| 99 | Colegio Pumahue | 45.5 |
| 100 | Escuela Municipal Amancer2 | 61.5 |
| 101 | Preutech | 70 |
| 102 | Colegio Newharvest | 73.7 |
| 103 | Liceo Industrial PAC | 67.3 |
| 104 | Escuela Básica Vista Verde | 64.3 |
| 105 | Liceo Pablo Neruda edif_2 | 61.5 |
| 106 | Liceo Pablo Neruda edif_1 | 65.5 |
| 107 | Colegio Adventista | 60.6 |
| 108 | Universidad Autonoma_edif3 | 66.2 |
| 109 | Universidad Autonoma_edif2 | 66.1 |
| 110 | Universidad Autonoma_edif1 | 65.7 |
| 111 | Coliseo Autónoma Centro de Deporte y Salud | 67.9 |
| 112 | Universidad Autónoma_edif. principal | 69.5 |
| 113 | Colegio Concepción | 59.4 |
| 114 | Universidad Mayor | 69.5 |
| 115 | Universidad Mayor_edif4 | 58.5 |
| 116 | Universidad Mayor_edif3 | 59.1 |
| 117 | Universidad Mayor_edif2 | 59.6 |
| 118 | Universidad Mayor_edif1 | 63.1 |

| | Establecimiento educacional | Nivel Ld (dBA) |
|-----|--|----------------|
| 119 | Colegio La Espiga_edif1 | 74.6 |
| 120 | Liceo Técnico Profesional Carlos Condell | 73.9 |
| 121 | Liceo de Aplicación | 58.9 |
| 122 | Centro de Formación Técnica Protec | 63.8 |
| 123 | Liceo Tiburcio Saavedra_edif2 | 63.8 |
| 124 | Liceo Tiburcio Saavedra | 63.8 |
| 125 | Liceo Tiburcio Saavedra_edif1 | 63.8 |
| 126 | Liceo Tiburcio Saavedra_edif4 | 63.8 |
| 127 | Liceo Tiburcio Saavedra_edif5 | 63.8 |

Esta información se puede resumir en el siguiente análisis y posterior gráfico:

Tabla 48. Nivel de exposición al ruido diurno Ld de establecimientos educacionales en Temuco – Padre Las Casas

| Intervalos de ruido diurno Ld dBA | Cantidad de establecimientos educacionales | Porcentaje de establecimientos educacionales |
|-----------------------------------|--|--|
| 45-50 | 1 | 0,8 |
| 50-55 | 3 | 2,4 |
| 55-60 | 22 | 17,3 |
| 60-65 | 29 | 22,8 |
| 65-70 | 50 | 39,4 |
| 70-75 | 20 | 15,7 |
| 75-80 | 2 | 2 |

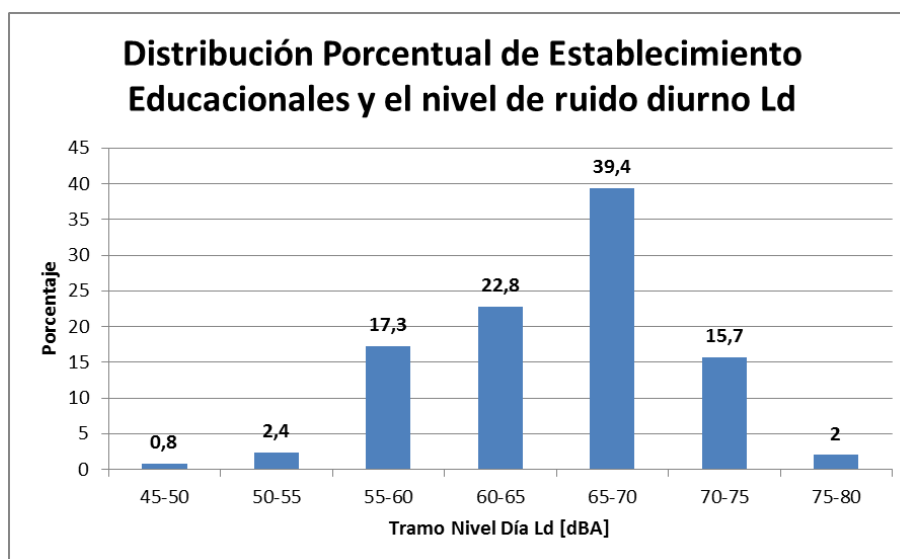


Fig 67. Porcentaje de establecimientos educativos expuestos a niveles de ruido durante el día Ld en Temuco – Padre Las Casas.

Según esta distribución, un 57,1% de los establecimientos educativos se encuentran en zonas sobre los 65 dBA durante el día. Como referencia, para el caso de viviendas, la norma chilena recomienda un aislamiento de 30 dBA y 35 dBA mínimo para los tramos de 65 a 70 dBA y 70 a 75 dBA de ruido exterior diurno [INN 2000]. Cabe mencionar que esta normativa es aplicable a viviendas y sólo sirve de referencia, por lo tanto, en este caso de estos establecimientos sensibles (dedicados a la educación), los valores de aislamiento acústico deben ser mayores.

5.5.3.3. Infraestructura de salud afectada por ruido ambiental en Temuco - Padre Las Casas

En la siguiente tabla se identifican los establecimientos considerados en este análisis.

Tabla 49. Análisis de Establecimiento de Salud del Mapa de Ruido de Temuco – Padre Las Casas

| | Establecimiento salud | Nivel Ld (dBA) |
|----|--|----------------|
| 1 | Centro Comunitario Arquelen | 46.7 |
| 2 | Centro Comunitario El Salar | 56.4 |
| 3 | Consultorio General Urbano Pedro de Valdivia | 61.0 |
| 4 | SAPU Villa Alegre | 59.7 |
| 5 | Centro Comunitario Familiar Las Quilas | 56.9 |
| 6 | Centro Comunitario Rehabilitación Integral | 56.9 |
| 7 | Centro de Salud Municipal | 62.6 |
| 8 | Centro de Salud Municipal | 63.7 |
| 9 | Centro de Salud Municipal | 66.9 |
| 10 | Centro de Salud Municipal | 65.4 |
| 11 | Centro de Salud Municipal | 51.6 |
| 12 | Centro de Salud Municipal | 60.2 |
| 13 | Centro Programa Mujer | 67.1 |
| 14 | Centro de Salud Privado | 57.3 |
| 15 | Hospital Clínico U Mayor | 69.8 |
| 16 | Mutual | 56.1 |
| 17 | ACHS | 59.0 |
| 18 | Hospital Dr. Henríquez Aravena | 69.5 |
| 19 | Consultorio Miraflores | 70.5 |
| 20 | Centro de Salud Público | 72.9 |
| 21 | Clínica Psicológica UA | 73.8 |
| 22 | Clínica Alemana | 60.4 |
| 23 | Mutual Edif. 1 | 60.2 |
| 24 | Mutual Edif. 2 | 59.4 |
| 25 | Hogar de Ancianos | 62.8 |

Esta información se puede resumir en el siguiente análisis y posterior gráfico:

Tabla 50. Nivel de exposición al ruido diurno Ld de establecimientos de salud en Temuco – Padre Las Casas

| Intervalos de ruido diurno Ld dB(A) | Cantidad de establecimientos de salud | Porcentaje de establecimientos de salud |
|-------------------------------------|---------------------------------------|---|
| 45-50 | 1 | 4 |
| 50-55 | 1 | 4 |
| 55-60 | 8 | 32 |
| 60-65 | 7 | 28 |
| 65-70 | 5 | 20 |
| 70-75 | 3 | 12 |

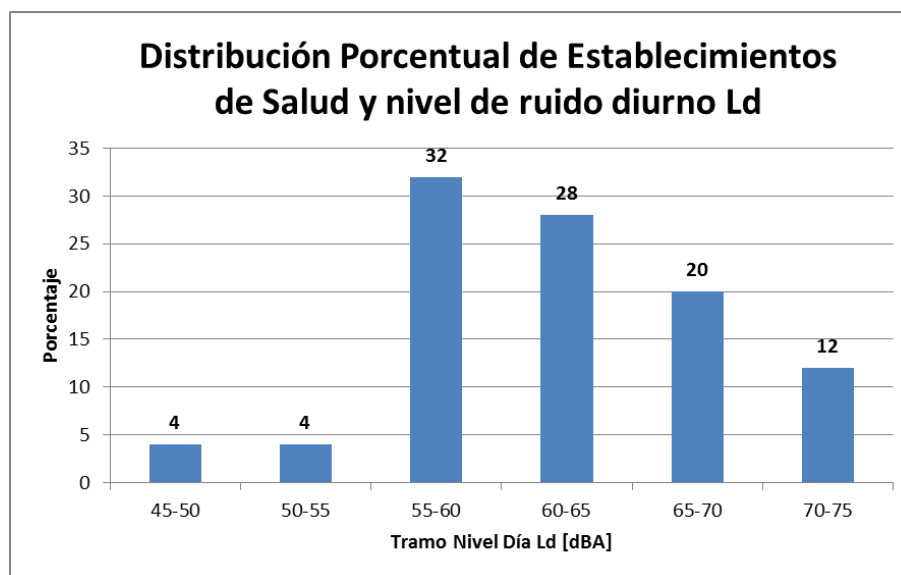


Fig.68. Porcentaje de establecimientos de salud expuestos a niveles de ruido durante el día Ld en Temuco – Padre Las Casas.

Según esta distribución, un 32,0% de los establecimientos de salud se encuentran en zonas sobre los 65 dBA durante el día. Como referencia, para el caso de viviendas, la norma chilena recomienda un aislamiento de 30 dBA mínimo para el tramo de 65 a 70 dBA de ruido exterior diurno [INN 2000]. Cabe mencionar que esta normativa es aplicable a viviendas y sólo sirve de referencia, por lo tanto, en este caso de estos establecimientos sensibles (dedicados a la salud), los valores de aislamiento acústico deben ser mayores.

5.5.3.4. Estimación de población potencialmente afectada por ruido ambiental en Temuco - Padre Las Casas (ejercicio)

Para estimar la población que se evalúa potencialmente afectada por ruido, dentro del área de estudio, se utilizó la siguiente metodología:

a) Se analizó la información de población por distrito censal del censo 2002, por lo problemas que imposibilitaron la validez del censo 2012. En la siguiente tabla se puede observar los datos del censo 2002 de población y la densidad de población para los distritos de Temuco y Padre Las Casas.

Tabla 51. Información de Población Distrito Censal Temuco y Padre Las Casas

| Distrito Censal Temuco | Superficie[km ²] | Densidad [hab/ km ²] | Población total 2002 |
|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| Centro | 2,4 | 4.891,3 | 11.739 |
| Estadio Municipal | 2,1 | 5.332,9 | 11.199 |
| Amanecer | 1,8 | 9.990,6 | 17.983 |
| Santa Elena | 1,8 | 9.372,8 | 16.871 |
| Santa Rosa | 4,6 | 4.922,8 | 22.645 |
| Pueblo Nuevo | 4 | 4.888,0 | 19.552 |
| Ñielol | 16,1 | 352,7 | 5.678 |
| Lanín | 3,7 | 4.789,5 | 17.721 |
| Avenida Alemania | 2,4 | 5.935,0 | 14.244 |
| Labranza | 66,2 | 263,2 | 17.423 |
| Tromén | 90,2 | 100,1 | 9.026 |
| San Carlos | 39,1 | 39,5 | 1.546 |
| Raluncoyán | 70 | 211,9 | 14.830 |
| Caupolicán | 3 | 4.374,0 | 13.122 |
| Universidad | 1,8 | 7.795,6 | 14.032 |
| Javiera Carrera | 3,1 | 5.897,7 | 18.283 |
| Estero Coihueco | 5,2 | 3.224,8 | 16.769 |
| Distrito Censal Padre Las Casas | Superficie[km ²] | Densidad [hab/ km ²] | Población total 2002 |
| Maquehue | 22,9 | 101,8 | 2.331 |
| Padre Las Casas | 9,2 | 1.498,4 | 13.785 |
| Aillacara | 2,8 | 7.009,3 | 19.626 |
| Collahue | 33 | 80,6 | 2.660 |

Fuente: Elaboración propia en base a <http://www.ineraucania.cl/archivos/files/pdf/DivisionPoliticoAdministrativa/araucania.pdf>

b) Usando la cartografía del mapa de ruido por rangos de decibeles, generada a través de la modelación, tanto para datos del día y la noche, así como la cartografía de distritos de la zona urbana de ambas comunas. A través del

proceso de intersección de estas capas de información en ArcGis, se pudo estimar las superficies por distrito que se encontraban en cada rango de decibeles.

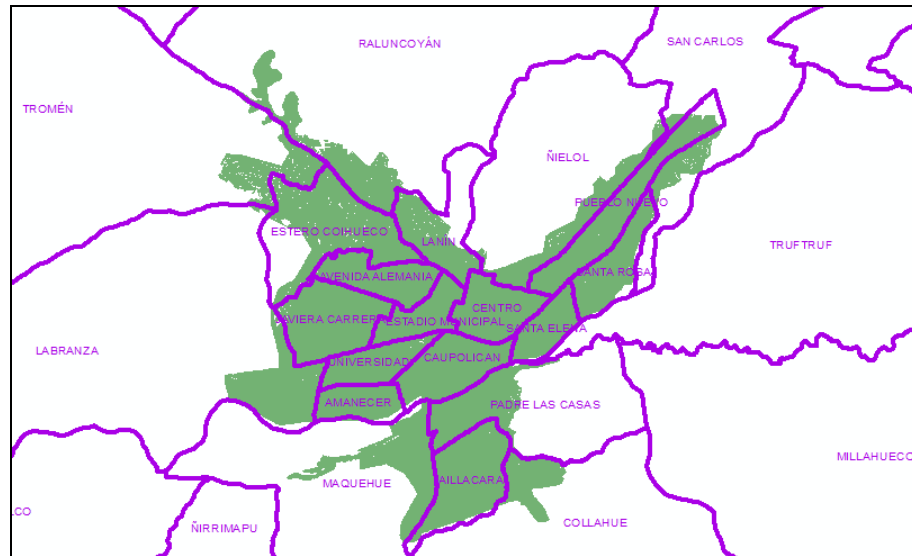


Fig 69. Distritos censales de área urbana de Temuco – Padre Las Casas. Fuente: elaboración propia

c) Los datos obtenidos por geoprocesamiento (intersección de capas) y cálculo en SIG de la superficie de cada área en hectáreas, se traspasó la información a las siguientes tablas para los valores de ruido día, en este caso sólo se presentan para rangos con valor máximo 65 dBA y de ruido noche para aquellos con valor desde 55 dBA.

En la tabla se aprecian datos obtenidos del área afectada (en hectáreas) por niveles de ruido (en dBA) para el **día** por cada distrito censal, se agregó la densidad de población para cada distrito según censo 2002 (Hab./ha)

Tabla 52. Área afectada (hectáreas) por niveles de ruido (en dBA) para el día, distrito censal de Temuco y Padre de Las Casas

| <i>Distrito Censal Temuco</i> | <i>60-65</i> | <i>65-70</i> | <i>70-75</i> | <i>75-80</i> | <i>80-85</i> | <i>85-90</i> | <i>Densidad Censo 2002 (hab./ha)</i> |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------------------|
| Centro | 36,67 | 23,1 | 20,38 | 12,04 | 0,13 | - | 48,91 |
| Estadio Municipal | 28,86 | 13,05 | 10,35 | 5,9 | 0 | - | 53,33 |
| Amanecer | 19,29 | 5,34 | 3,31 | 0,73 | 0 | - | 99,91 |
| Santa Elena | 27,26 | 10,04 | 7,23 | 3,21 | 0 | - | 93,73 |
| Santa Rosa | 34,89 | 17,5 | 16,51 | 3,39 | 0,02 | - | 49,23 |
| Pueblo Nuevo | 49,88 | 23,24 | 26,36 | 12,97 | 0,57 | - | 48,88 |
| Ñielol | 33,96 | 13,26 | 12,15 | 4,56 | 0 | - | 3,53 |
| Lanín | 29,76 | 10,56 | 11,49 | 4,7 | 1,05 | - | 47,9 |
| Avenida Alemania | 41,63 | 13,25 | 12,21 | 9,58 | 0,4 | - | 59,35 |
| Labranza | 28,49 | 8,66 | 7,68 | 2,57 | 0,15 | - | 2,632 |
| Tromén | 20,68 | 5,61 | 4,8 | 0,23 | | - | 1,001 |
| San Carlos | 17,77 | 7,08 | 4,59 | 1,63 | 0,08 | - | 0,395 |
| Raluncoyán | 30,72 | 17,38 | 10,51 | 3,75 | 0,75 | - | 2,119 |
| Caupolicán | 48,01 | 19,78 | 16,18 | 9,15 | 0,1 | - | 43,74 |
| Universidad | 27,66 | 9,42 | 14,49 | 5,24 | 0,11 | - | 77,96 |
| Javiera Carrera | 54,49 | 12,48 | 14,29 | 6,11 | 0,02 | - | 58,98 |
| Estero Coihueco | 47,37 | 16,3 | 14,19 | 6,17 | 0,01 | - | 32,25 |
| <i>Distrito Censal P. Las Casas</i> | <i>60-65</i> | <i>65-70</i> | <i>70-75</i> | <i>75-80</i> | <i>80-85</i> | <i>85-90</i> | <i>Densidad Censo 2002 (hab./ha)</i> |
| Maquehue | 44,77 | 21,6 | 14,02 | 6,49 | 8,66 | 0,28 | 1,018 |
| Padre Las Casas | 45,4 | 19,58 | 18,11 | 15,1 | 2,52 | 0,01 | 14,98 |
| Aillacara | 82,68 | 37,93 | 23,34 | 12,32 | 6,9 | 2,22 | 70,09 |
| Collahue | 46,83 | 21,96 | 11,13 | 6,48 | 4,13 | - | 0,806 |

La siguiente tabla muestra los datos obtenidos del área afectada (hectáreas), por niveles de ruido en la **noche** para cada distrito censal, se agregó la densidad de población para cada distrito según censo 2002 (Hab./ha).

Tabla 53. Área afectada (hectáreas) por niveles de ruido (en dBA) para la noche, distrito censal de Temuco y Padre de Las Casas

| <i>Distrito Censal Temuco</i> | <i>55-60</i> | <i>60-65</i> | <i>65-70</i> | <i>70-75</i> | <i>75-80</i> | <i>Densidad Censo 2002 [hab./has]</i> |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---|
| Centro | 25,00 | 3,95 | - | - | - | 48,91 |
| Estadio Municipal | 10,26 | 1,04 | - | - | - | 53,33 |
| Amanecer | 2,74 | 0,71 | 0 | - | - | 99,91 |
| Santa Elena | 8,63 | 3,51 | 2,35 | 0,06 | - | 93,73 |
| Santa Rosa | 6,87 | 5,84 | 0,99 | 0 | - | 49,23 |
| Pueblo Nuevo | 17,51 | 6,67 | 1,2 | 0 | - | 48,88 |
| Ñielol | 10,59 | 0,93 | 0,01 | | - | 3,53 |
| Lanín | 2,71 | 2,61 | 3,59 | 0,04 | - | 47,9 |
| Avenida Alemania | 11,41 | 3,11 | | | - | 59,35 |
| Labranza | 6,88 | 6,85 | 0,92 | 0,02 | - | 2,632 |
| Tromén | 0,02 | - | - | - | - | 1,001 |
| San Carlos | 2,36 | 2,22 | 0,3 | - | - | 0,395 |
| Raluncoyán | 2,04 | 2,33 | 2,79 | 0 | - | 2,119 |
| Caupolicán | 15,07 | 10,09 | 2,26 | 0,01 | - | 43,74 |
| Universidad | 8,03 | 7,84 | 1,16 | 0 | - | 77,96 |
| Javiera Carrera | 19,45 | 1,54 | - | - | - | 58,98 |
| Estero Coihueco | 11,95 | 1,8 | - | - | - | 32,25 |
| <i>Distrito Censal P. Las Casas</i> | <i>55-60</i> | <i>60-65</i> | <i>65-70</i> | <i>70-75</i> | <i>75-80</i> | <i>Densidad Censo 2002 [hab./has]</i> |
| Maquehue | 10,68 | 7,22 | 9,64 | 1,91 | 0,04 | 1,018 |
| Padre Las Casas | 19,75 | 10,65 | 7,3 | 0,23 | - | 14,98 |
| Aillacara | 24,40 | 9,09 | 6,74 | 5,09 | 0,48 | 70,09 |
| Collahue | 13,04 | 6,83 | 6,66 | 1,21 | - | 0,806 |

d) Dado que se conoce la densidad de población (según censo 2002) para cada distrito, entonces se puede estimar la población potencialmente afectada según rango de nivel de ruido para cada distrito, lo que permite conocer el total de población potencialmente afectada desde un nivel de ruido determinado por distrito o para toda el área estudiada.

Tabla 54. Población potencialmente afectada (Censo 2002) por niveles de ruido (en dBA) para el día, distrito censal de Temuco y Padre de Las Casas

| <i>Distrito Censal Temuco</i> | <i>60-65</i> | <i>65-70</i> | <i>70-75</i> | <i>75-80</i> | <i>80-85</i> | <i>85-90</i> | <i>Total Población potencialmente expuesta sobre 60 dBA</i> |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---|
| Centro | 1.794 | 1.130 | 997 | 589 | 6 | - | 4.515 |
| Estadio Municipal | 1.539 | 696 | 552 | 315 | 0 | - | 3.102 |
| Amanecer | 1.927 | 534 | 331 | 73 | 0 | - | 2.864 |
| Santa Elena | 2.555 | 941 | 678 | 301 | 0 | - | 4.475 |
| Santa Rosa | 1.718 | 862 | 813 | 167 | 1 | - | 3.560 |
| Pueblo Nuevo | 2.438 | 1136 | 1288 | 634 | 28 | - | 5.524 |
| Ñielol | 120 | 47 | 43 | 16 | 0 | - | 226 |
| Lanín | 1.426 | 506 | 550 | 225 | 50 | - | 2.757 |
| Avenida Alemania | 2.471 | 786 | 725 | 569 | 24 | - | 4.574 |
| Labranza | 75 | 23 | 20 | 7 | 0 | - | 125 |
| Tromén | 21 | 6 | 5 | 0 | 0 | - | 31 |
| San Carlos | 7 | 3 | 2 | 1 | 0 | - | 12 |
| Raluncoyán | 65 | 37 | 22 | 8 | 2 | - | 134 |
| Caupolicán | 2.100 | 865 | 708 | 400 | 4 | - | 4.077 |
| Universidad | 2.156 | 734 | 1130 | 409 | 9 | - | 4.437 |
| Javiera Carrera | 3.214 | 736 | 843 | 360 | 1 | - | 5.154 |
| Estero Coihueco | 1.528 | 526 | 458 | 199 | 0 | - | 2.710 |
| <i>Distrito Censal P. Las Casas</i> | <i>60-65</i> | <i>65-70</i> | <i>70-75</i> | <i>75-80</i> | <i>80-85</i> | <i>85-90</i> | <i>Total Población potencialmente expuesta sobre 60 dBA</i> |
| Maquehue | 46 | 22 | 14 | 7 | 9 | 0 | 98 |
| Padre Las Casas | 680 | 293 | 271 | 226 | 38 | 0 | 1.509 |
| Aillacara | 5.795 | 2.659 | 1.636 | 864 | 484 | 156 | 11.592 |
| Collahue | 38 | 18 | 9 | 5 | 3 | 0 | 73 |
| Total | 31.711 | 12.558 | 11.094 | 5.373 | 659 | 156 | 61.551 |

Tabla 55. Población potencialmente afectada (Censo 2002) por niveles de ruido (en dBA) para la noche, distrito censal de Temuco y Padre de Las Casas

| <i>Distrito Censal Temuco</i> | <i>55-60</i> | <i>60-65</i> | <i>65-70</i> | <i>70-75</i> | <i>75-80</i> | <i>Total Población potencialmente expuesta sobre 55 dBA</i> |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---|
| Centro | 1223 | 193 | 0 | - | - | 1416 |
| Estadio Municipal | 547 | 55 | 0 | - | - | 603 |
| Amanecer | 274 | 71 | 0 | - | - | 345 |
| Santa Elena | 809 | 329 | 220 | - | - | 1364 |
| Santa Rosa | 338 | 288 | 49 | - | - | 675 |
| Pueblo Nuevo | 856 | 326 | 59 | - | - | 1240 |
| Ñielol | 37 | 3 | 0 | - | - | 41 |
| Lanín | 130 | 125 | 172 | - | - | 429 |
| Avenida Alemania | 677 | 185 | 0 | - | - | 862 |
| Labranza | 18 | 18 | 2 | - | - | 39 |
| Tromén | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 |
| San Carlos | 1 | 1 | 0 | - | - | 2 |
| Raluncoyán | 4 | 5 | 6 | - | - | 15 |
| Caupolicán | 659 | 441 | 99 | - | - | 1200 |
| Universidad | 626 | 611 | 90 | - | - | 1328 |
| Javiera Carrera | 1147 | 91 | 0 | - | - | 1238 |
| Estero Coihueco | 385 | 58 | 0 | - | - | 443 |
| <i>Distrito Censal P. Las Casas</i> | <i>55-60</i> | <i>60-65</i> | <i>65-70</i> | <i>70-75</i> | <i>75-80</i> | <i>Total Población potencialmente expuesta sobre 55 dBA</i> |
| Maquehue | 11 | 7 | 10 | 2 | 0 | 30 |
| Padre Las Casas | 296 | 160 | 109 | 3 | 0 | 568 |
| Aillacara | 1711 | 637 | 472 | 357 | 34 | 3210 |
| Collahue | 11 | 6 | 5 | 1 | 0 | 22 |
| Total | 9.760 | 3.610 | 1.294 | 371 | 34 | 15.069 |

e) A partir de los datos población estimada por el INE al 2015 (siguiente tabla, en base al censo 2012), se puede indicar que el aumento promedio de la población comunal es de 2,3 -2,4% anual, en base a esta tasa de crecimiento se puede estimar la población por distrito potencialmente afectada por ruido según rango de decibeles para el día y noche al año 2015.

Tabla 56. Población potencialmente afectada (Censo 2002) por niveles de ruido (en dBA) para la noche, distrito censal de Temuco y Padre de las Casas.

| Comuna | Población Urbana censo 2002 | Población Rural censo 2002 | Población Comunal censo 2002 | Población Comunal 2015 estimada por INE | Tasa crecimiento comunal estimado % |
|-----------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|---|-------------------------------------|
| Temuco | 232.528 | 12.819 | 245.347 | 330.624 | 34,7 |
| Padre Las Casas | 33.697 | 25.098 | 58.795 | 80.147 | 36,3 |

Fuente: Ine Araucanía en: <http://www.inearaucania.cl/archivos/files/pdf/SistemaEstadisticoRegional/Compendio%202014.pdf>

A continuación se muestran la población proyectada al 2015 por distrito potencialmente afectada por distintos rangos de niveles de ruido para el día

Tabla 57. Población proyectada al 2015 potencialmente afectada por distintos rangos de niveles de ruido (en dBA) para el día, distrito censal de Temuco y Padre de las Casas.

| Distrito Temuco | Censal | 60-65 | 65-70 | 70-75 | 75-80 | 80-85 | 85-90 | Total Población potencialmente expuesta sobre 60 dBA |
|-------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| Centro | | 2.416 | 1.522 | 1.343 | 793 | 9 | - | 6.082 |
| Estadio Municipal | | 2.073 | 937 | 743 | 424 | 0 | - | 4.178 |
| Amanecer | | 2.596 | 719 | 445 | 98 | 0 | - | 3.858 |
| Santa Elena | | 3.442 | 1268 | 913 | 405 | 0 | - | 6.027 |
| Santa Rosa | | 2.314 | 1160 | 1095 | 225 | 1 | - | 4.795 |
| Pueblo Nuevo | | 3.284 | 1530 | 1736 | 854 | 38 | - | 7.441 |
| Ñielol | | 161 | 63 | 58 | 22 | 0 | - | 304 |
| Lanín | | 1.920 | 681 | 741 | 303 | 68 | - | 3.714 |
| Avenida Alemania | | 3.328 | 1059 | 976 | 766 | 32 | - | 6.161 |
| Labranza | | 101 | 31 | 27 | 9 | 1 | - | 169 |
| Tromén | | 28 | 8 | 6 | 0 | 0 | - | 42 |
| San Carlos | | 9 | 4 | 2 | 1 | 0 | - | 17 |
| Raluncoyán | | 88 | 50 | 30 | 11 | 2 | - | 180 |
| Caupolicán | | 2.829 | 1165 | 953 | 539 | 6 | - | 5.492 |
| Universidad | | 2.905 | 989 | 1522 | 550 | 12 | - | 5.977 |
| Javiera Carrera | | 4.329 | 991 | 1135 | 485 | 2 | - | 6.943 |
| Estero Coihueco | | 2.058 | 708 | 616 | 268 | 0 | - | 3.651 |

| <i>Distrito Censal P. Las Casas</i> | <i>60-65</i> | <i>65-70</i> | <i>70-75</i> | <i>75-80</i> | <i>80-85</i> | <i>85-90</i> | <i>Total Población potencialmente expuesta sobre 60 dBA</i> |
|---|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---|
| Maquehue | 62 | 30 | 19 | 9 | 12 | - | 133 |
| Padre Las Casas | 927 | 400 | 370 | 308 | 51 | - | 2.056 |
| Aillacara | 7.899 | 3.624 | 2.230 | 1.177 | 659 | 212 | 15.800 |
| Collahue | 51 | 24 | 12 | 7 | 5 | - | 99 |
| Total | 42.820 | 16.963 | 14.974 | 7.255 | 897 | 213 | 83.121 |

A continuación se muestran la población proyectada al 2015 por distrito potencialmente afectada por distintos rangos de niveles de ruido para la **noche**.

Tabla 58. Población proyectada al 2015 potencialmente afectada por distintos rangos de niveles de ruido (en dBA) para la noche, distrito censal de Temuco y Padre de las Casas.

| <i>Distrito Censal Temuco</i> | <i>55-60</i> | <i>60-65</i> | <i>65-70</i> | <i>70-75</i> | <i>75-80</i> | <i>Total Población potencialmente expuesta sobre 55 dBA</i> |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---|
| Centro | 1647 | 260 | 0 | 0 | - | 1908 |
| Estadio Municipal | 737 | 75 | 0 | 0 | - | 812 |
| Amanecer | 369 | 96 | 0 | 0 | - | 464 |
| Santa Elena | 1089 | 443 | 297 | 8 | - | 1837 |
| Santa Rosa | 456 | 387 | 66 | 0 | - | 909 |
| Pueblo Nuevo | 1153 | 439 | 79 | 0 | - | 1671 |
| Ñielol | 50 | 4 | 0 | 0 | - | 55 |
| Lanín | 175 | 168 | 232 | 3 | - | 577 |
| Avenida Alemania | 912 | 249 | 0 | 0 | - | 1161 |
| Labranza | 24 | 24 | 3 | 0 | - | 52 |
| Tromén | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 |
| San Carlos | 1 | 1 | 0 | 0 | - | 3 |
| Raluncoyán | 6 | 7 | 8 | 0 | - | 20 |
| Caupolicán | 888 | 594 | 133 | 1 | - | 1616 |
| Universidad | 843 | 823 | 122 | 0 | - | 1788 |
| Javiera Carrera | 1545 | 122 | 0 | 0 | - | 1667 |
| Estero Coihueco | 519 | 78 | 0 | 0 | - | 597 |

| <i>Distrito Censal P. Las Casas</i> | <i>55-60</i> | <i>60-65</i> | <i>65-70</i> | <i>70-75</i> | <i>75-80</i> | <i>Total Población potencialmente expuesta sobre 55 dBA</i> |
|-------------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---|
| Maquehue | 15 | 10 | 13 | 3 | - | 41 |
| Padre Las Casas | 403 | 218 | 149 | 5 | - | 774 |
| Aillacara | 2331 | 868 | 644 | 486 | 46 | 4376 |
| Collahue | 14 | 8 | 7 | 1 | - | 30 |
| Total | 13.179 | 4.875 | 1.753 | 506 | 46 | 20.359 |

Análisis de los Resultados

Se puede indicar que la población estimada en base al Censo 2002 dentro del área de estudio que es potencialmente afectada directamente por niveles de ruido sobre los 60 dBA en el día, corresponde a 61.551 personas, mientras que sobre 65 dBA la población potencialmente afectada estimada es de 29.8940 personas, por la noche la cantidad de personas potencialmente expuestas a más de 55 dBA corresponde a 15.069.

Si se analizan los datos de la proyección de la población al 2015, se puede indicar que la población potencialmente afectada directamente por niveles de ruido sobre los 60 dBA en el día, corresponde a 83.121 personas, mientras que sobre 65 dBA la población potencialmente afectada estimada es de 40.302 personas, por la noche la cantidad de personas expuestas a más de 55 dBA corresponde a 20.359. Si consideramos una población estimada para el año 2015 total de 410.771 personas, corresponde entonces a un 9.81% de población posiblemente afectada con valores de ruido sobre los 65dBA de día, y un 4.96% de población en la noche sobre 55 dBA.

Del análisis de los datos también se puede observar que los niveles más altos de ruidos se encuentran en la comuna de Padre Las Casas, en el día con niveles de hasta 85-90 dBA, y por la noche con valores de hasta 75-80 dBA, y es el Distrito de Aillacara el que presenta los mayores niveles de ruido. Muy probablemente esto lo explicaría su cercanía con la ruta 5 y especialmente el *by pass* a Temuco de la ruta 5 que cruza este distrito. Esto es muy importante pues si bien es cierto hoy no es tanta la población potencialmente afectada directamente, esta se podría incrementar de continuar el poblamiento hacia ese sector.

5.5.3.5. Estimación de influencia de la locomoción colectiva en el ruido en Temuco - Padre Las Casas (ejercicio)

Para realizar una estimación del aporte de la locomoción colectiva pesada (microbuses) en el ruido ambiental de la ciudad de Temuco - Padre Las Casas, se analizaron aquellas calles con mediciones que incluyeran este tipo de vehículos.

Así, se tomaron en cuenta cuarenta y ocho mediciones de calles de la ciudad donde se identificaron flujos de locomoción colectiva. En estos casos se realizó una modelación con los datos exactos de flujos vehiculares totales, es decir, incluyendo locomoción colectiva, y otra modelación con datos que excluye la locomoción colectiva (se incluyen camiones y vehículos pesados, sólo se eliminan microbuses). En el siguiente gráfico se puede apreciar la diferencia entre ambos casos.

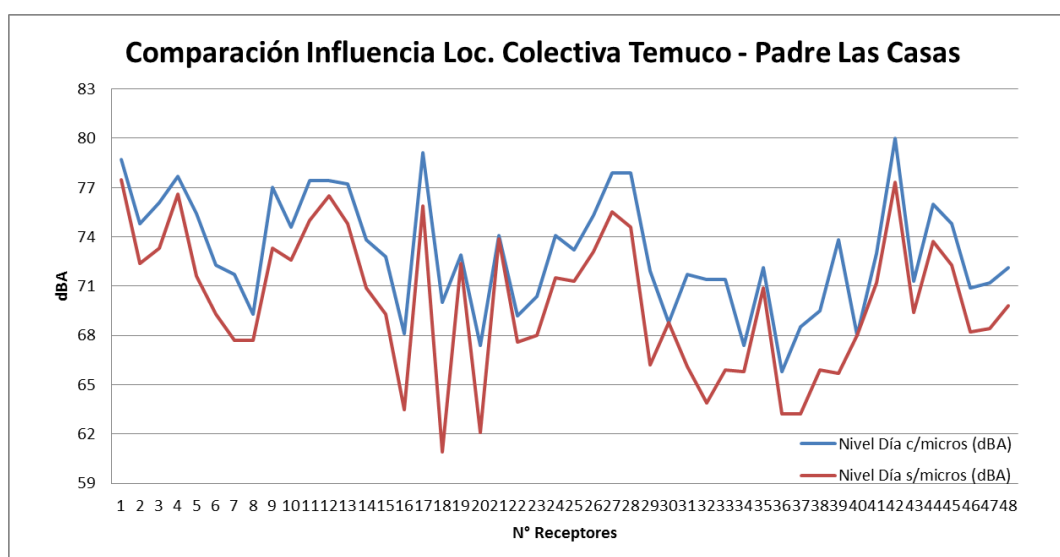


Fig 70. Diferencia entre datos de ruido modelados con y sin locomoción colectiva (micros) en mediciones realizadas en Temuco – Padre Las Casas.

El promedio de la diferencia entre ambas situaciones es de 2,97 [dBA] mayor para presencia de locomoción colectiva.

En la siguiente figura se presenta un análisis por cada tipo de vía, por separado. Vale decir, vías colectoras, servicio y locales. Al realizar un análisis por tipo de vía, la diferencia del aporte de la locomoción colectiva en promedio es de 1,9 [dBA] en vías troncales, 2,6 [dBA] en vías colectoras, 3,0 [dBA] para vías de servicio, y 3,3 [dBA] para vías locales.

Este resultado es esperable, pues debe tenerse presente que las vías troncales tienen más flujo vehicular que las colectoras, y estas más que aquellas de servicio, y éstas que las locales. Por lo tanto, la influencia del paso de locomoción colectiva es más relevante en vías de bajo flujo vehicular, como las vías locales.

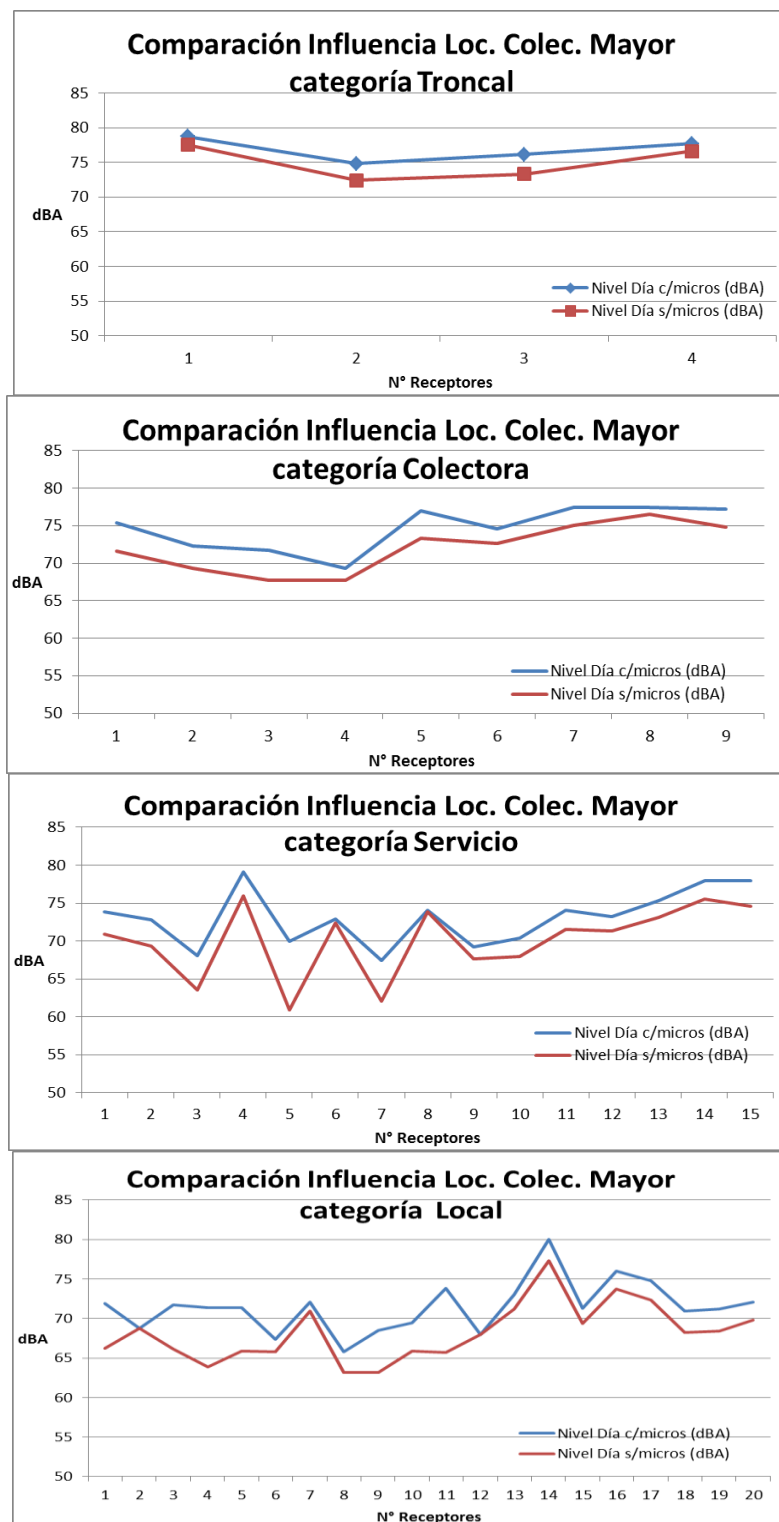


Fig 71. Diferencia entre datos de ruido modelados con y sin locomoción colectiva (micros) por tipo de vías, en mediciones realizadas en Temuco – Padre Las Casas.

5.5.4. Análisis Mapa de Ruido Modelados de La Serena - Coquimbo

5.5.4.1. Superficie modelada sobre recomendaciones internacionales en La Serena - Coquimbo

Para el mapa de ruido, se ha realizado el ejercicio del análisis de los valores de modelación obtenidos.

Tabla 59. Análisis de superficie del Mapa de Ruido Diurno de La Serena - Coquimbo (en hectáreas)

| Intervalo [dBA] | | Análisis de Superficie [hectáreas] | | | Porcentaje |
|-----------------|-----|------------------------------------|----------------|--|------------|
| Mín | Máx | Superficie Original | Área edificada | Superficie Final Afectada (menos área edificada) | |
| 25 | 30 | 46,08 | 1,73 | 34,02 | 0,47 |
| 30 | 35 | 73,74 | 4,51 | 69,23 | 0,95 |
| 35 | 40 | 212,83 | 19,31 | 193,52 | 2,67 |
| 40 | 45 | 814,20 | 141,90 | 672,31 | 9,26 |
| 45 | 50 | 2.093,84 | 484,75 | 1.609,09 | 22,17 |
| 50 | 55 | 2.147,53 | 360,20 | 1.787,34 | 24,63 |
| 55 | 60 | 1.303,12 | 146,72 | 1.156,40 | 15,93 |
| 60 | 65 | 1.097,07 | 38,49 | 1.090,17 | 15,02 |
| 65 | 70 | 389,05 | 6,90 | 388,74 | 5,36 |
| 70 | 75 | 203,96 | 0,31 | 203,66 | 2,81 |
| 75 | 80 | 50,15 | 0,00 | 50,14 | 0,69 |
| 80 | 85 | 2,65 | 0,00 | 2,65 | 0,04 |
| 85 | 90 | 0,04 | 0,00 | 0,04 | 0,00 |
| 90 | 95 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | | 8.434,27 | 1204,8 | 7.257,3 | 100,00 |

Tabla 60. Análisis de superficie del Mapa de Ruido Nocturno de La Serena - Coquimbo (en hectáreas)

| Intervalo [dBA] | | Análisis de Superficie [hectáreas] | | | |
|-----------------|-----|------------------------------------|----------------|--|------------|
| Mín | Máx | Superficie Original | Área edificada | Superficie Final Afectada (menos área edificada) | Porcentaje |
| 25 | 30 | 170,15 | 10,7 | 159,5 | 2,2 |
| 30 | 35 | 439,12 | 62,2 | 377,0 | 5,2 |
| 35 | 40 | 1.725,93 | 451,8 | 1274,1 | 17,7 |
| 40 | 45 | 2.236,02 | 402,9 | 1833,1 | 25,4 |
| 45 | 50 | 1.570,73 | 195,7 | 1375,1 | 19,1 |
| 50 | 55 | 1.181,21 | 70,2 | 1111,0 | 15,4 |
| 55 | 60 | 772,18 | 9,6 | 762,6 | 10,6 |
| 60 | 65 | 222,91 | 0,4 | 222,5 | 3,1 |
| 65 | 70 | 62,91 | 0,0 | 62,9 | 0,9 |
| 70 | 75 | 26,10 | 0,0 | 26,1 | 0,4 |
| 75 | 80 | 0,48 | 0,0 | 0,5 | 0,0 |
| | | 8.407,75 | 1203,5 | 7204,3 | 100,0 |

Considerando la superficie total modelada, correspondiente a unos 84 km², un 91,11% de la superficie modelada está bajo los 65 dBA durante el día, y un 85,1% bajo los 55 dBA durante la noche. En este análisis se ha eliminado la superficie del terreno que cubren las edificaciones.

5.5.4.2. Infraestructura de educación afectada por ruido ambiental en La Serena - Coquimbo

En la siguiente tabla se identifican los establecimientos considerados en este análisis.

Tabla 61. Análisis de Establecimiento Educativo del Mapa de Ruido de La Serena - Coquimbo

| | Nombre Establecimiento Educativo | (dBA) |
|----|--|-------|
| 1 | Liceo Gabriela Mistral | 68 |
| 2 | Colegio Javiera Carrera | 70 |
| 3 | Escuela Alonso de Ercilla | 59 |
| 4 | Colegio Japon | 62 |
| 5 | Colegio Jose Manuel Balmaceda | 63 |
| 6 | Colegio Los Heroes | 70 |
| 7 | Escuela German Riesco | 69 |
| 8 | Colegio Manuel Rodriguez | 57 |
| 9 | Cen.Ed.Int.De Adul.Ester Villarreal Cast | 65 |
| 10 | Colegio Darío Salas | 58 |
| 11 | Colegio Villa San Bartolome | 66 |
| 12 | Colegio Jose Miguel Carrera | 59 |
| 13 | Colegio Luis Braille | 63 |
| 14 | Colegio Particular Adventista Maranata | 63 |
| 15 | Colegio Elena Bettini | 60 |
| 16 | Esc.Espec.Los Pensamientos De Juan Xxiii | 62 |
| 17 | Escuela Particular Teresa Videla De G | 66 |
| 18 | Escuela Industrial Salesiana San Ramon | 66 |
| 19 | Colegio Julia De La Barra Campos | 62 |
| 20 | Liceo Ignacio Carrera Pinto | 63 |
| 21 | Colegio Seminario Conciliar | 62 |
| 22 | Colegio Geronimo Rendic | 61 |
| 23 | Colegio A. Bello | 67 |
| 24 | Colegio Ingles Catolico | 61 |
| 25 | Escuela Cardenal Jose Maria Caro | 68 |
| 26 | Escuela Santo Tomas De Aquino | 61 |
| 27 | Escuela Jose Alfaro Alfaro | 67 |
| 28 | Colegio La Herradura | 59 |
| 29 | Centro de Est y Des Integral del niño | 61 |
| 30 | Escuela Diego De Almeyda | 61 |

| | Nombre Establecimiento Educativo | (dBA) |
|----|--|-------|
| 31 | Colegio Libertador Simon Bolivar | 61 |
| 32 | Colegio Francis School | 62 |
| 33 | Scuola Italiana Alcide De Gasperi | 46 |
| 34 | Colegio Particular Pierrot | 61 |
| 35 | Colegio Americano | 55 |
| 36 | Saint John S School | 49 |
| 37 | Colegio Albert Einstein | 54 |
| 38 | Kid'S World School | 70 |
| 39 | Colegio Del Alba | 61 |
| 40 | Colegio Francisco Palau | 56 |
| 41 | Colegio Particular Leonardo Da Vinci | 60 |
| 42 | Colegio San Manuel | 60 |
| 43 | Centro Est.Y Des.Integral Del Nino | 52 |
| 44 | Liceo De Adultos Max Planck | 70 |
| 45 | Colegio Nuestra señora de Andacollo | 48 |
| 46 | Colegio Santa Familia | 58 |
| 47 | Kid'S Wordl School Anexo | 61 |
| 48 | Colegio Andres Bello - Pampa | 57 |
| 49 | Colegio Saint Germain | 64 |
| 50 | Colegio Carlos Condell de La Haza | 63 |
| 51 | Colegio La Mision | 51 |
| 52 | Colegio San Martín de Porres | 58 |
| 53 | Colegio Maria Educa | 59 |
| 54 | Colegio Altazor | 56 |
| 55 | Colegio Valentin Letelier | 61 |
| 56 | Esc. De Trast. Especificos De Leguaje J | 65 |
| 57 | Colegio Cristiano La Serena | 62 |
| 58 | Colegio Saint Mary School | 67 |
| 59 | Colegio San Luis | 64 |
| 60 | Colegio Golden Hind School | 60 |
| 61 | Escuela Republica De Grecia | 59 |
| 62 | Colegio Jose Marti Perez | 64 |
| 63 | Lic.De Cienc.Y Hum.San Josemaria Escrivá | 57 |
| 64 | Colegio Hellen Keller Peñuelas | 63 |
| 65 | Escuela Especial Del Lenguaje Universo | 66 |

| | Nombre Establecimiento Educativo | (dBA) |
|-----|---|-------|
| 66 | Instituto De Adm. Y Comercio Estado De I | 59 |
| 67 | Colegio Tecnico Profesional Florencia Ni | 62 |
| 68 | Colegio Manantiales de Elqui | 63 |
| 69 | Escuela Especial Kona-Varua | 59 |
| 70 | Colegio Basico Christ School | 57 |
| 71 | Colegio Nuestra señora de Andacollo_edf2 | 49 |
| 72 | Colegio Nuestra señora de Andacollo_edif 3 | 48 |
| 73 | Colegio Nuestra señora de Andacollo_Edif 9 | 53 |
| 74 | Colegio Nuestra señora de Andacollo_Edif 8 | 55 |
| 75 | Colegio Nuestra señora de Andacollo_Edif 7 | 49 |
| 76 | Colegio Nuestra señora de Andacollo_edif4 | 48 |
| 77 | Colegio Nuestra señora de Andacollo_edif 5 | 47 |
| 78 | Colegio Nuestra señora de Andacollo_Edif 15 | 48 |
| 79 | Colegio Nuestra señora de Andacollo_Edif 12 | 56 |
| 80 | Colegio Nuestra señora de Andacollo_Edif 12 | 51 |
| 81 | Colegio Nuestra señora de Andacollo_edif 11 | 51 |
| 82 | Colegio Nuestra señora de Andacollo_edif10 | 57 |
| 83 | Colegio Basico Christ School_Edif 2 | 54 |
| 84 | Colegio Basico Christ School_edif 3 | 55 |
| 85 | Colegio Basico Christ School_edif 4 | 53 |
| 86 | Colegio Basico Christ School_Edif 6 | 59 |
| 87 | Colegio Basico Christ School_Edif 5 | 56 |
| 88 | Colegio Basico Christ School_Edif 5 | 60 |
| 89 | Colegio San Martín de Porres_edif 8 | 57 |
| 90 | Colegio San Martín de Porres_edif 4 | 48 |
| 91 | Colegio San Martín de Porres_edif7 | 56 |
| 92 | Colegio San Martín de Porres_Edif 5 | 59 |
| 93 | Colegio San Martín de Porres_edif 3 | 47 |
| 94 | Colegio San Martín de Porres_edif2 | 49 |
| 95 | Colegio La Mision | 50 |
| 96 | Colegio Villa San Bartolome | 68 |
| 97 | Colegio Villa San Bartolome | 61 |
| 98 | Colegio Villa San Bartolome | 50 |
| 99 | Colegio Villa San Bartolome | 69 |
| 100 | Colegio Villa San Bartolome | 64 |

| | Nombre Establecimiento Educativo | (dBA) |
|-----|--|-------|
| 101 | Colegio Villa San Bartolome | 52 |
| 102 | Colegio San Manuel | 69 |
| 103 | Colegio San Manuel | 66 |
| 104 | Colegio San Manuel | 50 |
| 105 | Colegio San Manuel | 51 |
| 106 | Colegio San Manuel | 69 |
| 107 | Colegio San Manuel | 68 |
| 108 | Colegio San Manuel | 68 |
| 109 | Colegio A. Bello | 61 |
| 110 | Colegio A Bello | 59 |
| 111 | Colegio A Bello | 60 |
| 112 | Colegio Andres Bello - Pampa | 53 |
| 113 | Colegio Particular Adventista Maranata | 62 |
| 114 | Colegio Particular Adventista Maranata | 55 |
| 115 | Colegio Particular Adventista Maranata | 62 |
| 116 | Colegio Particular Adventista Maranata | 55 |
| 117 | Esc.Espec.Los Pensamientos De Juan Xxiii | 62 |
| 118 | Escuela Jose Alfaro Alfaro | 66 |
| 119 | Escuela Jose Alfaro Alfaro | 67 |
| 120 | Escuela Jose Alfaro Alfaro | 68 |
| 121 | Escuela Jose Alfaro Alfaro | 61 |
| 122 | Escuela Jose Alfaro Alfaro | 68 |
| 123 | Escuela Jose Alfaro Alfaro | 68 |
| 124 | Escuela Jose Alfaro Alfaro | 69 |
| 125 | Escuela Jose Alfaro Alfaro | 60 |
| 126 | Colegio Particular Miguel De Cervantes | 65 |
| 127 | Colegio Particular Miguel De Cervantes | 64 |
| 128 | Colegio Particular Miguel De Cervantes | 64 |
| 129 | Escuela Diego De Almeyda | 61 |
| 130 | Escuela Diego De Almeyda | 66 |
| 131 | Escuela Diego De Almeyda | 63 |
| 132 | Escuela Diego De Almeyda | 61 |
| 133 | Centro Est.Y Des.Integral Del Nino | 38 |
| 134 | Instituto De Adm. Y Comercio Estado De I | 60 |
| 135 | Instituto De Adm. Y Comercio Estado De I | 51 |

| | Nombre Establecimiento Educativo | (dBA) |
|-----|--|-------|
| 136 | Instituto De Adm. Y Comercio Estado De I | 55 |
| 137 | Instituto De Adm. Y Comercio Estado De I | 50 |
| 138 | Centro Est.Y Des.Integral Del Nino | 58 |
| 139 | Instituto De Adm. Y Comercio Estado De I | 58 |
| 140 | Instituto De Adm. Y Comercio Estado De I | 57 |
| 141 | Instituto De Adm. Y Comercio Estado De I | 57 |
| 142 | Instituto De Adm. Y Comercio Estado De I | 57 |
| 143 | Instituto De Adm. Y Comercio Estado De I | 57 |
| 144 | Instituto De Adm. Y Comercio Estado De I | 59 |
| 145 | Instituto De Adm. Y Comercio Estado De I | 57 |
| 146 | Escuela Cardenal Jose Maria Caro | 58 |
| 147 | Escuela Cardenal Jose Maria Caro | 63 |
| 148 | Kid'S World School | 68 |
| 149 | Kid'S World School | 50 |
| 150 | Kid'S World School | 60 |
| 151 | Kid'S World School | 69 |
| 152 | Kid'S Wordl School Anexo | 56 |

NOTA: Cuando se repiten nombres de establecimientos educacionales, se refieren a edificios distintos del mismo.

Esta información se puede resumir en el siguiente análisis y posterior gráfico:

Tabla 62. Nivel de exposición al ruido diurno Ld de establecimientos educacionales en La Serena – Coquimbo

| Intervalos de ruido diurno Ld dBA | Cantidad de establecimientos educacionales | Porcentaje de establecimientos educacionales % |
|-----------------------------------|--|--|
| 45-50 | 1 | 1 |
| 50-55 | 17 | 11 |
| 55-60 | 15 | 10 |
| 60-65 | 40 | 26 |
| 65-70 | 47 | 30 |
| 70-75 | 31 | 20 |
| 75-80 | 1 | 1 |
| 80-85 | 0 | 0 |

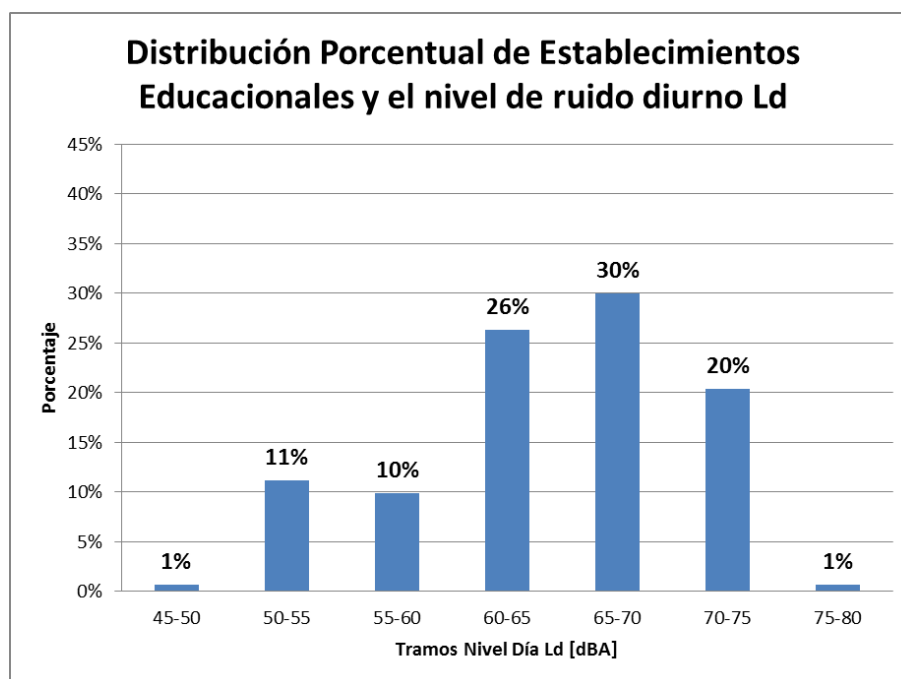


Fig 72. Porcentaje de establecimientos educacionales expuestos a niveles de ruido durante el día Ld en La Serena - Coquimbo.

Según esta distribución, un 51% de los establecimientos educacionales se encuentran en zonas sobre los 65 dBA durante el día (79 establecimientos). Como referencia, para el caso de viviendas, la norma chilena recomienda un aislamiento de 30 dBA y 35 dBA mínimo para los tramos de 65 a 70 dBA y 70 a 75 dBA de ruido exterior diurno [INN 2000]. Cabe mencionar que esta normativa es aplicable a viviendas y sólo sirve de referencia, por lo tanto, en este

caso de estos establecimientos sensibles (dedicados a la educación), los valores de aislamiento acústico deben ser mayores.

5.5.4.3. Infraestructura de salud afectada por ruido ambiental en La Serena - Coquimbo

En la siguiente tabla se identifican los establecimientos considerados en este análisis.

Tabla 63. Análisis de Establecimiento de Salud del Mapa de Ruido de La Serena - Coquimbo

| | Nombre | Nivel Día (dBA) |
|----|---|-----------------|
| 1 | Hospital san Pablo | 61 |
| 2 | CESFAM - SAPU JJ Oliver | 57 |
| 3 | CESFAM - SAPU Sta. Cecilia | 66 |
| 4 | CESFAM - SAPU Tierras Blancas | 67 |
| 5 | CESFAM -SAPU Sergio Aguilar | 63 |
| 6 | CESAM - SAPU Tierras Blancas | 63 |
| 7 | Centro Comunitario de Salud Familiar El Alba | 55 |
| 8 | Hospital San Juan de Dios | 60 |
| 9 | CESFAM - SAPU Cardenal Caro | 63 |
| 10 | CESFAM - SAPU Las Compañías | 56 |
| 11 | CESFAM - SAPU Pedro Aguirre Cerda | 60 |
| 12 | Consultorio Emilio Schaffhauser | 69 |
| 13 | CESFAM - SAPU Cardenal Raúl Silva Henríquez | 56 |
| 14 | Centro Comunitario de SALud Familiar Villa Alemania | 57 |
| 15 | Centro Comunitario de Salud Familiar Lambert | 47 |
| 16 | Centro Comunitario de Salud Familiar Villa el Indio | 67 |
| 17 | Hospital San Pedro _edf2 | 74 |
| 18 | Hospital San Pedro _edf2 | 64 |
| 19 | SAPU Las Compañías_Edif2 | 57 |
| 20 | Hospital de Coquimbo | 71 |
| 21 | CESFAM SAPU Cardenal Raúl Silva Heríquez_Edif 2 | 53 |
| 22 | CESFAM SAPU Cardenal Raúl Silva Heríquez_Edif 3 | 54 |
| 23 | CESFAM SAPU Cardenal Raúl Silva Heríquez_Edif 4 | 54 |
| 24 | CESFAM SAPU Cardenal Raúl Silva Heríquez_Edif 4 | 56 |
| 25 | CESFAM SAPU Cardenal Raúl Silva Heríquez_Edif 4 | 47 |

Esta información se puede resumir en el siguiente análisis y posterior gráfico:

Tabla 64. Nivel de exposición al ruido diurno Ld de establecimientos de salud en La Serena – Coquimbo

| Intervalos de ruido diurno Ld dBA | Cantidad de establecimientos de Salud | Porcentaje de establecimientos de Salud |
|-----------------------------------|---------------------------------------|---|
| 45-50 | 2 | 8 |
| 50-55 | 4 | 16 |
| 55-60 | 6 | 24 |
| 60-65 | 7 | 28 |
| 65-70 | 4 | 16 |
| 70-75 | 2 | 8 |
| 75-80 | 0 | 0 |
| 80-85 | 0 | 0 |

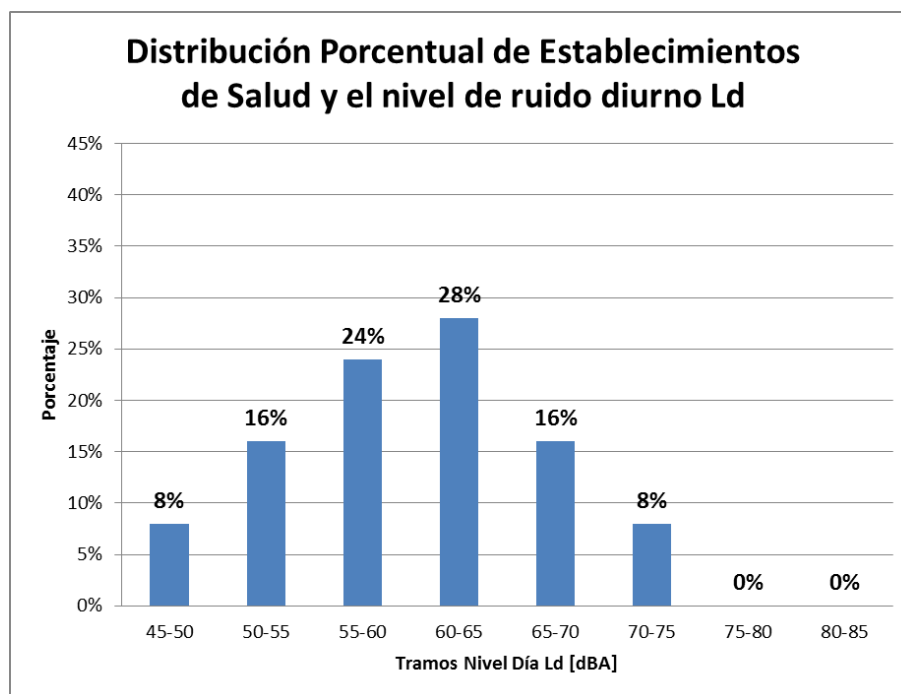


Fig.73. Porcentaje de establecimientos de salud expuestos a niveles de ruido durante el día Ld en La Serena - Coquimbo.

Según esta distribución, un 24,0% de los establecimientos de salud (6 en total) se encuentran en zonas sobre los 65 dBA durante el día. Como referencia, para el caso de viviendas, la norma chilena recomienda un aislamiento de 30 dBA mínimo para el tramo de 65 a 70 dBA de ruido exterior diurno [INN 2000]. Cabe mencionar que esta normativa es aplicable a viviendas y sólo sirve de referencia, por lo tanto, en este caso de estos establecimientos sensibles (dedicados a la salud), los valores de aislamiento acústico deben ser mayores.

5.5.4.4. Estimación de población potencialmente afectada por ruido ambiental en La Serena - Coquimbo (ejercicio)

Para determinar la población que se estima está potencialmente afectada por altos niveles de ruido, dentro del área de estudio, se utilizó la siguiente metodología:

a) Se analizó la información de población por distrito censal del censo 2002, por los problemas que imposibilitaron la validez del censo 2012. En la siguiente tabla se puede observar los datos de población y densidad de población para los distritos de las comunas de La Serena y Coquimbo que se encuentra dentro de la zona de estudio.

Tabla. 65 Población por distritos censales de área urbana de La Serena – Coquimbo

| Distrito Censal Serena | Densidad hab/km ² | Superficie km ² | Población Total 2002 |
|--------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------|
| Intendencia | 2.175,80 | 1,2 | 2.611 |
| Mercado | 2.561,90 | 7,5 | 19.214 |
| Francisco de Aguirre | 865,30 | 3,2 | 2.769 |
| Las Vegas | 851,40 | 9,9 | 8.429 |
| La Pampa | 1.970,70 | 12,8 | 25.225 |
| la Florida | 171,20 | 46,5 | 7.963 |
| La Compañía | 39,2 | 391,8 | 15.354 |
| Universidad | 2.689,30 | 5,6 | 15.060 |
| La Compañía Alta | 3.966,80 | 8,1 | 32.131 |
| El Olivar | 2.750,60 | 8 | 22.005 |
| Distrito Censal Coquimbo | Densidad hab/km ² | Superficie km ² | Población Total 2002 |
| Aduana | 4.683,00 | 2,0 | 9.366 |
| Lord Cochrane | 7.008,90 | 2,8 | 19.625 |
| Buen Pastor | 3185,70 | 3,5 | 11.150 |
| Baquedano | 2.990,00 | 1,3 | 3.887 |
| Cantera | 828,50 | 16,7 | 13.836 |
| Pan de Azúcar | 119,10 | 116,3 | 13.852 |
| La Herradura | 15,90 | 180,1 | 2.866 |
| Estación | 3038,40 | 8,3 | 25.219 |
| Tierras Blancas | 7.260,60 | 3,3 | 23.960 |
| Las Rosas | 1651,50 | 17,1 | 28.240 |

Fuente: Elaboración propia en base a

http://www.inecoquimbo.cl/archivos/files/pdf/DivisionPoliticoAdministrativa/dpa_coquimbo.pdf

b) Usando la cartografía del mapa de ruido por rangos de decibeles, generada a través de la modelación, tanto para datos del día y la noche, así como la cartografía de distritos de la zona urbana de ambas comunas y a través del

proceso de intersección de estas capas de información en ArcGIS, se pudo estimar las superficies por distrito que se encontraban en cada rango de decibeles.

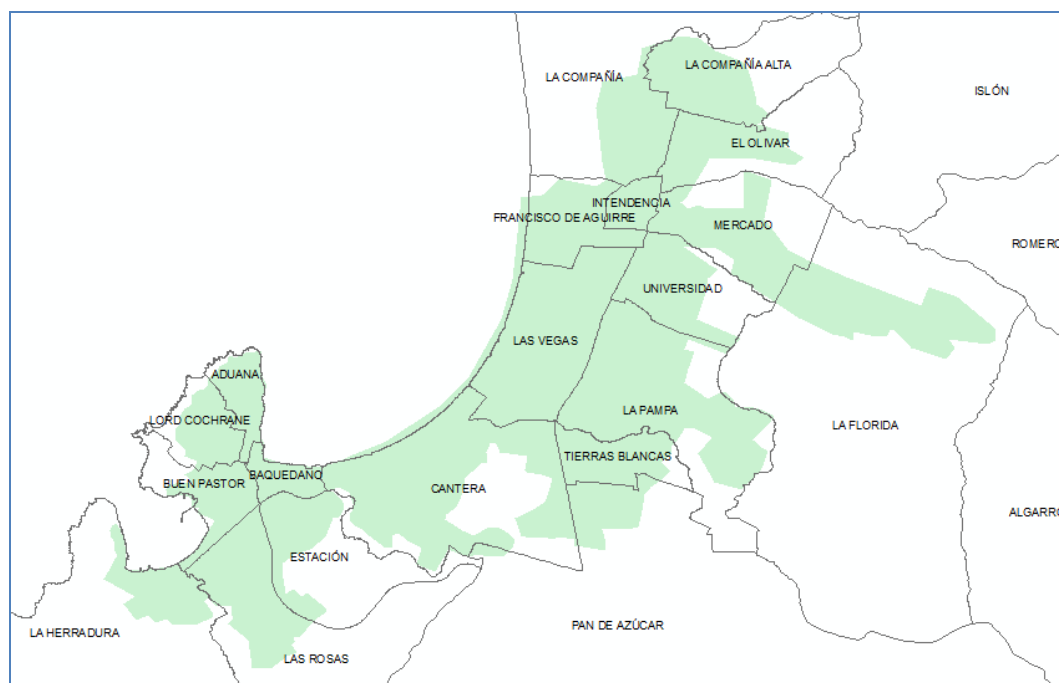


Fig. 74 Distritos censales de área urbana de La Serena – Coquimbo y área de Análisis. Elaboración propia

c) Por geoprocesamiento (intersección de capas) y calculo en SIG se obtiene la superficie de cada área (en hectáreas) por Distrito Censal bajo los niveles de ruido. Esta información se traspasa a las siguientes tablas para los distintos rangos de valores de ruido, en este caso sólo se presentan para rangos con valor máximo desde 60 dBA día y desde 55 dBA de ruido para la noche.

En la tabla se muestra los datos obtenidos del área afectada (en hectáreas) por niveles de ruido (en dBA) para el **día** por cada distrito censal, se agregó la densidad de población para cada distrito según censo 2002 (Hab./ha)

Tabla. 66 Área afectada por ruido diurno por distritos censales de área urbana de La Serena – Coquimbo

| Distrito Censal Serena | 60-65 | 66-70 | 71-75 | 76-80 | 81-85 | 86-90 | Densidad Censo 2002 hab/has |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|
| Intendencia | 22,03 | 10,25 | 6,42 | 2,00 | 0,46 | 0 | 21,76 |
| Mercado | 51,40 | 16,97 | 9,62 | 0,80 | 0 | 0 | 25,62 |
| Francisco de Aguirre | 38,08 | 14,12 | 6,16 | 1,69 | 0,27 | 0 | 8,65 |
| Las Vegas | 94,47 | 41,57 | 18,11 | 13,21 | 0,41 | 0,03 | 8,51 |

| | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------------------|
| La Pampa | 127,51 | 38,66 | 14,79 | 0,12 | 0 | 0 | 19,70 |
| la Florida | 50,47 | 10,69 | 6,63 | 0,55 | 0 | 0 | 1,71 |
| La Compañía | 49,89 | 21,17 | 12,99 | 3,34 | 0,90 | 0,01 | 0,39 |
| Universidad | 56,34 | 27,99 | 14,11 | 0,59 | 0 | 0 | 26,89 |
| La Compañía Alta | 79,67 | 16,10 | 4,29 | 0,07 | 0 | 0 | 39,67 |
| El Olivar | 39,23 | 17,07 | 10,68 | 0,30 | 0 | 0 | 27,51 |
| Distrito Censal Coquimbo | 60-65 | 66-70 | 71-75 | 76-80 | 81-85 | 86-90 | Densidad Censo 2002 hab/has |
| Aduana | 19,95 | 7,74 | 3,54 | 0,10 | 0 | - | 46,83 |
| Lord Cochrane | 23,42 | 8,49 | 3,97 | 0,15 | 0 | - | 70,09 |
| Buen Pastor | 35,31 | 14,57 | 10,39 | 5,01 | 0,07 | - | 31,86 |
| Baquedano | 20,86 | 10,58 | 7,81 | 3,35 | 0,04 | - | 29,90 |
| Cantera | 135,70 | 47,02 | 25,82 | 9,90 | 0,18 | - | 8,29 |
| Pan de Azúcar | 40,69 | 13,58 | 6,72 | 0,37 | | - | 1,19 |
| La Herradura | 31,76 | 10,45 | 6,17 | 3,92 | 0,28 | - | 0,16 |
| Estación | 56,55 | 18,68 | 7,98 | 1,46 | 0,02 | - | 30,38 |
| Tierras Blancas | 49,57 | 20,19 | 11,79 | 0,64 | 0 | - | 72,606 |
| Las Rosas | 74,17 | 23,15 | 15,95 | 2,57 | 0,01 | - | 16,52 |

La siguiente tabla muestra los datos obtenidos del área afectada (hectáreas), por niveles de ruido en la **noche** para cada distrito censal, se agregó la densidad de población para cada distrito según censo 2002 (Hab./ha)

Tabla. 67 Área afectada por ruido nocturno por distritos censales de área urbana de La Serena – Coquimbo

| Distrito Censal Serena | 55-60 | 61-65 | 66-70 | 71-75 | 76-80 | Densidad Censo 2002 hab/has |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------|
| Intendencia | 13,03 | 3,63 | 1,71 | 1,51 | 0,10 | 21,76 |
| Mercado | 32,69 | 7,20 | 0,15 | 0 | 0 | 25,62 |
| Francisco de Aguirre | 27,96 | 11,43 | 2,64 | 0,98 | 0,02 | 8,65 |
| Las Vegas | 73,77 | 29,36 | 16,32 | 5,87 | 0,11 | 8,51 |
| La Pampa | 88,42 | 20,08 | 1,14 | 0,13 | 0 | 19,70 |
| la Florida | 28,50 | 5,40 | 0,38 | 0 | 0 | 1,71 |
| La Compañía | 33,96 | 11,12 | 5,56 | 2,68 | 0,20 | 0,39 |
| Universidad | 43,88 | 13,79 | 1,92 | 0,44 | 0 | 26,89 |

| Distrito Censal Coquimbo | 55-60 | 61-65 | 66-70 | 71-75 | 76-80 | Densidad Censo 2002 hab/has |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------|
| La Compañía Alta | 53,69 | 5,07 | 0,00 | 0 | 0 | 39,67 |
| El Olivar | 24,64 | 6,30 | 0,80 | 0,11 | 0 | 27,51 |
| Aduana | 13,94 | 2,86 | 0,00 | 0 | 0 | 46,83 |
| Lord Cochrane | 15,61 | 2,43 | 0,00 | 0 | 0 | 70,09 |
| Buen Pastor | 29,44 | 9,34 | 3,35 | 3,60 | 0 | 31,86 |
| Baquedano | 18,06 | 7,11 | 2,86 | 2,13 | 0 | 29,90 |
| Cantera | 91,33 | 34,40 | 14,22 | 3,86 | 0,05 | 8,29 |
| Pan de Azúcar | 25,86 | 8,56 | 0,74 | 0 | 0 | 1,19 |
| La Herradura | 22,60 | 7,24 | 4,06 | 2,76 | 0 | 0,16 |
| Estación | 42,16 | 9,59 | 1,30 | 0,84 | 0 | 30,38 |
| Tierras Blancas | 36,03 | 10,70 | 1,28 | 0 | 0 | 72,606 |
| Las Rosas | 56,61 | 17,31 | 4,48 | 1,18 | 0 | 16,52 |

d) Dado que se conoce la densidad de población (según censo 2002) para cada distrito, entonces se puede estimar la población potencialmente afectada según rango de nivel de ruido para cada distrito, lo que permite estimar el total de población potencialmente afectada desde un nivel de ruido determinado por distrito o para toda el área estudiada.

Tabla. 68 Población potencialmente afectada por ruido diurno de La Serena – Coquimbo (distrito censa, estimación de la Población en base al censo 2002)

| Distrito Censal Serena | 60-65 | 66-70 | 71-75 | 76-80 | 81-85 | Población Total 2002 | Total Población sobre 60 dBA |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|------------------------------|
| Intendencia | 479 | 223 | 140 | 43 | 10 | 2.611 | 895 |
| Mercado | 1.317 | 435 | 247 | 21 | 0 | 19.214 | 2.019 |
| Francisco de Aguirre | 329 | 122 | 53 | 15 | 2 | 2.769 | 522 |
| Las Vegas | 804 | 354 | 154 | 112 | 4 | 8.429 | 1.428 |
| La Pampa | 2.512 | 762 | 291 | 2 | 0 | 25.225 | 3.567 |
| la Florida | 86 | 18 | 11 | 1 | 0 | 7.963 | 117 |
| La Compañía | 19 | 8 | 5 | 1 | 0 | 15.354 | 35 |
| Universidad | 1.515 | 753 | 379 | 16 | 0 | 15.060 | 2.663 |
| La Compañía Alta | 3.160 | 639 | 170 | 3 | 0 | 32.131 | 3.972 |
| El Olivar | 1.079 | 470 | 294 | 8 | 0 | 22.005 | 1.851 |

| Distrito Coquimbo | Censal | 60-65 | 66-70 | 71-75 | 76-80 | 81-85 | Población Total 2002 | Total Población sobre 60 dBA |
|------------------------|--------|---------------|--------------|--------------|------------|-----------|----------------------|------------------------------|
| Aduana | | 934 | 362 | 166 | 5 | | 9.366 | 1.467 |
| Lord Cochrane | | 1642 | 595 | 278 | 10 | | 19.625 | 2.525 |
| Buen Pastor | | 1125 | 464 | 331 | 160 | 2 | 11.150 | 2.082 |
| Baquadano | | 624 | 316 | 233 | 100 | 1 | 3.887 | 1.275 |
| Cantera | | 1124 | 390 | 214 | 82 | 1 | 13.836 | 1.811 |
| Pan de Azúcar | | 48 | 16 | 8 | 0 | | 13.852 | 73 |
| La Herradura | | 5 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2.866 | 8 |
| Estación | | 1718 | 568 | 243 | 44 | 1 | 25.219 | 2.573 |
| Tierras Blancas | | 3599 | 1466 | 856 | 47 | | 23.960 | 5.968 |
| Las Rosas | | 1225 | 382 | 263 | 42 | 0 | 28.240 | 1.913 |
| Total | | 23.346 | 8.345 | 4.338 | 714 | 22 | 302.762 | 36.765 |

Tabla. 69 Población potencialmente afectada por ruido nocturno de La Serena – Coquimbo (distrito censa, estimación de la Población en base al censo 2002)

| Distrito Censal Serena | 56-60 | 61-65 | 66-70 | 71-75 | 76-80 | Población Total 2002 | Total Población sobre 55 dBA |
|---------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Intendencia | 284 | 79 | 37 | 33 | 2 | 2.611 | 435 |
| Mercado | 837 | 184 | 4 | 0 | 0 | 19.214 | 1.026 |
| Francisco de Aguirre | 242 | 99 | 23 | 8 | 0 | 2.769 | 372 |
| Las Vegas | 628 | 250 | 139 | 50 | 1 | 8.429 | 1.067 |
| La Pampa | 1.742 | 396 | 22 | 3 | 0 | 25.225 | 2.162 |
| la Florida | 49 | 9 | 1 | 0 | 0 | 7.963 | 59 |
| La Compañía | 13 | 4 | 2 | 1 | 0 | 15.354 | 21 |
| Universidad | 1.180 | 371 | 52 | 12 | 0 | 15.060 | 1.614 |
| La Compañía Alta | 2.130 | 201 | 0 | 0 | 0 | 32.131 | 2.331 |
| El Olivar | 678 | 173 | 22 | 3 | 0 | 22.005 | 876 |
| Distrito Censal Coquimbo | 56-60 | 61-65 | 66-70 | 71-75 | 76-80 | Población Total 2002 | Total Población sobre 55 dBA |
| Aduana | 653 | 134 | 0 | 0 | 0 | 9.366 | 787 |
| Lord Cochrane | 1094 | 170 | 0 | 0 | 0 | 19.625 | 1264 |
| Buen Pastor | 938 | 298 | 107 | 115 | 0 | 11.150 | 1457 |
| Baquedano | 540 | 212 | 85 | 64 | 0 | 3.887 | 902 |
| Cantera | 757 | 285 | 118 | 32 | 0 | 13.836 | 1191 |
| Pan de Azúcar | 31 | 10 | 1 | 0 | 0 | 13.852 | 42 |
| La Herradura | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2.866 | 6 |
| Estación | 1281 | 292 | 40 | 26 | 0 | 25.219 | 1638 |
| Tierras Blancas | 2616 | 777 | 93 | 0 | 0 | 23.960 | 3485 |
| Las Rosas | 935 | 286 | 74 | 20 | 0 | 28.240 | 1314 |
| Total | 16.630 | 4.231 | 820 | 366 | 3 | 302.762 | 22.049 |

Análisis de los Resultados

Se puede indicar que la población estimada en base al Censo 2002 dentro del área de estudio que es potencialmente afectada por niveles de ruido sobre los 60 dBA en el día, corresponde a 36.765 personas, mientras que sobre 65 dBA la población potencialmente afectada estimada es de 13.419 personas (4,4%). Por la noche la cantidad de personas expuestas a más de 55 dBA corresponde a 22.049 (7,3%).

Del análisis de los datos también se puede observar que los niveles más altos de ruidos en el día se encuentran muy diferenciados en cuanto a personas potencialmente afectadas sobre 75 dBA con predominio de Coquimbo con 497 personas (especialmente en los distritos de Baquedano, Buen Pastor y la Cantera), respecto de La Serena con 239 personas respecto (destaca el distrito de Las Vegas).

Respecto de los mayores valores de ruido nocturno sobre 70 dBA se encuentran más personas potencialmente afectadas principalmente en Coquimbo con 366 personas (destacan los distritos de buen Pastor y Baquedano nuevamente) en Serena 113 son las personas potencialmente afectadas (destacando nuevamente el distrito de Las Vegas, explicado principalmente por el tráfico de la Ruta 5).

En relación a los niveles medio altos diarios con niveles mayores a 65 dBA, destaca especialmente el distrito de Tierras Blancas, en Coquimbo, con 2.369 personas potencialmente afectadas. Ésta es una zona industrial con importantes vías que conectan con la Ruta 5, le siguen en importancia los distritos Universidad y La Pampa con valores de 1.148 y 1.055 personas, en La Serena. Luego en un nivel levemente inferior se encuentran los Distritos de Buen Pastor, Lord Cochrane y Estación en Coquimbo con valores de 957, 884 y 855, mientras que en La Serena se destaca el Distrito de la Compañía Alta con un valor de 812. Estos distritos corresponden a sectores cercanos a rutas importantes, como la Ruta 5, Cuatro Esquinas, terminal de buses. El distrito de Compañía Alta es atípico, pues es la zona alta con gran población pero las vías de acceso concentran importantes niveles de ruido.

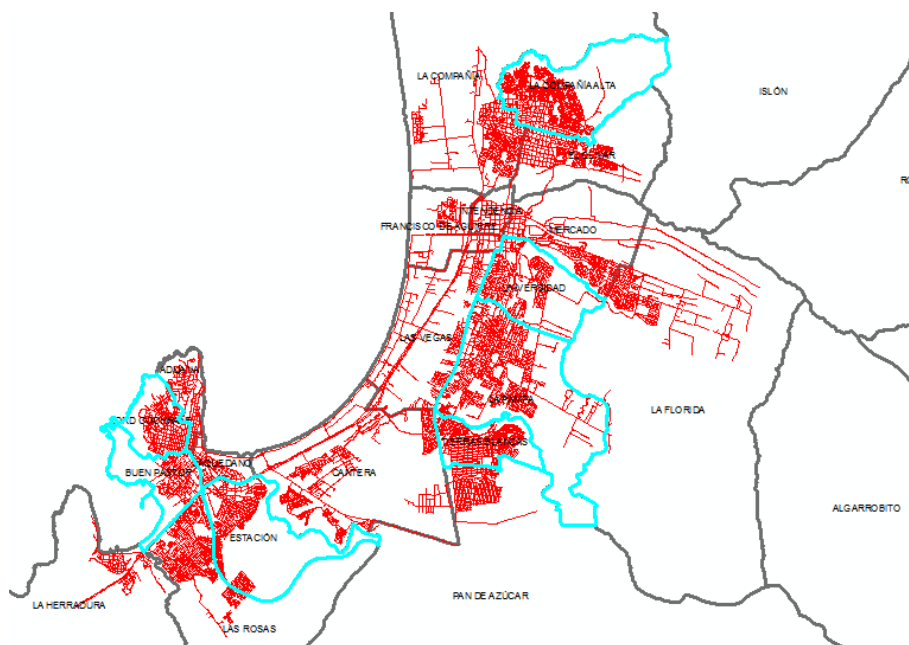


Fig. 75 Distritos censales con mayores niveles de afectación de ruido en el día sobre 65 dBA.

5.5.4.5. Estimación de influencia de la locomoción colectiva en el ruido ambiental en La Serena – Coquimbo (ejercicio)

Para realizar una estimación del aporte de la locomoción colectiva pesada (microbuses) en el ruido ambiental de la ciudad de La Serena - Coquimbo, se analizaron aquellas calles con mediciones que incluyeran este tipo de vehículos.

Así, se tomaron en cuenta cincuenta y un mediciones de calles de la ciudad donde se identificaron flujos de locomoción colectiva. En estos casos se realizó una modelación con los datos exactos de flujos vehiculares totales, es decir, incluyendo locomoción colectiva, y otra modelación con datos que excluye la locomoción colectiva (se incluyen camiones y vehículos pesados, sólo se eliminan microbuses). En el siguiente gráfico se puede apreciar la diferencia entre ambos casos.

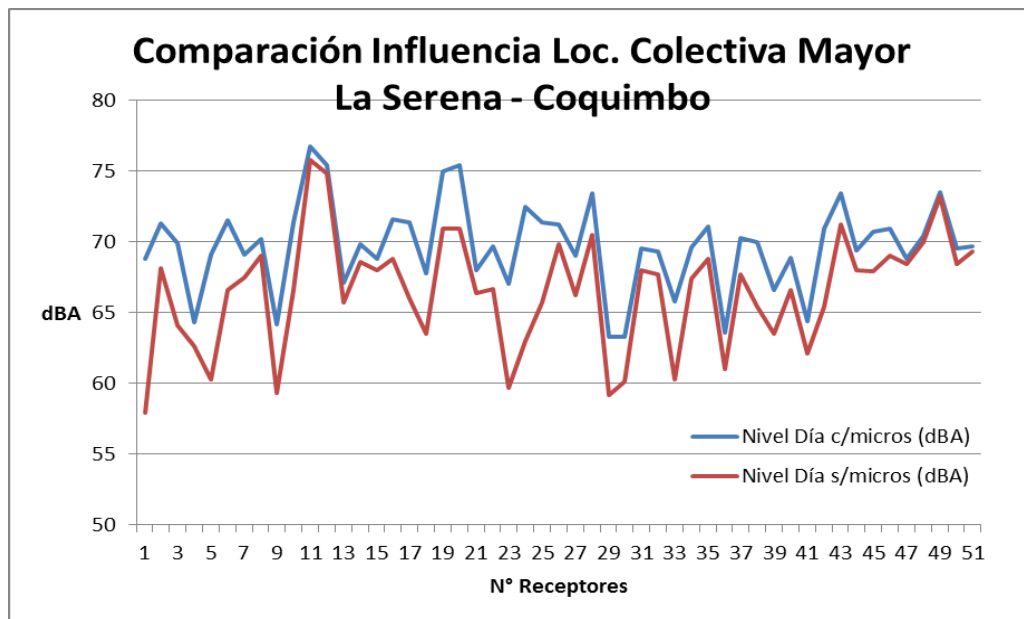


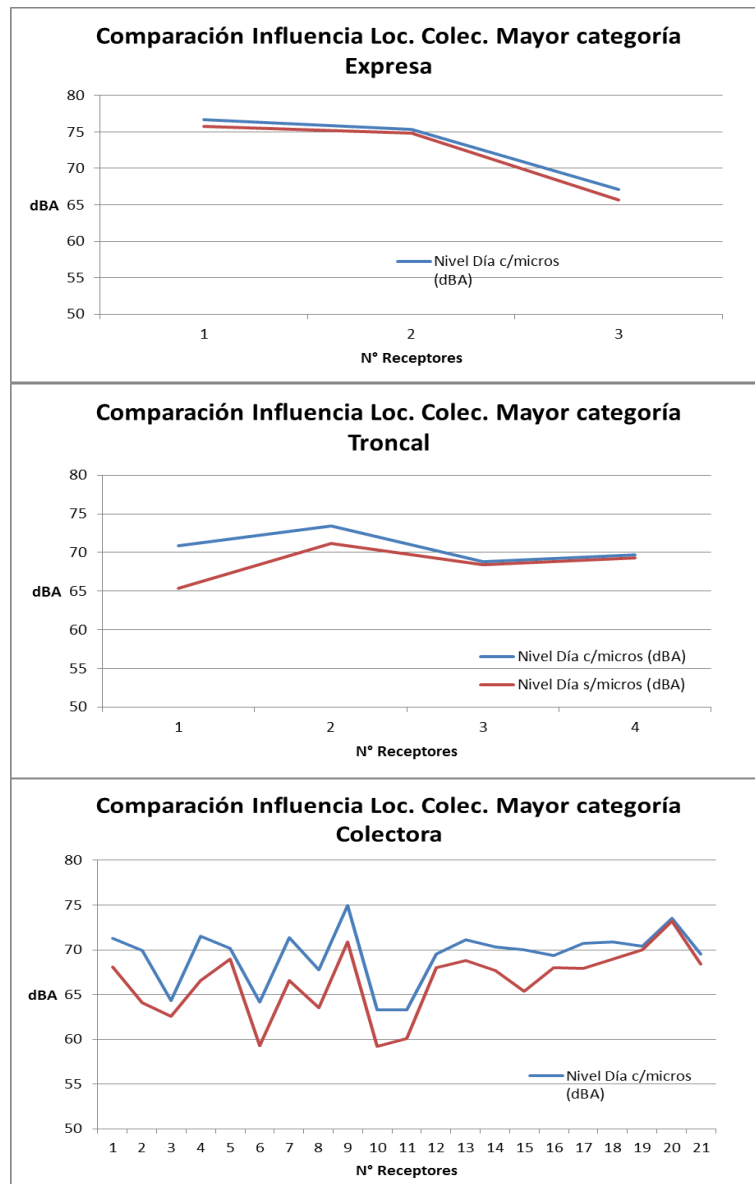
Fig 76. Diferencia entre datos de ruido modelados con y sin locomoción colectiva (micros) en mediciones realizadas en La Serena – Coquimbo Casas.

El promedio de la diferencia entre ambas situaciones es de 3,18 [dBA] mayor para presencia de locomoción colectiva.

En la siguiente figura se presenta un análisis por cada tipo de vía, por separado. Vale decir, vías expresas, troncales, colectoras, servicio y locales. Al realizar un análisis por tipo de vía, la diferencia del aporte de la locomoción colectiva en promedio es de 0,96 [dBA] en vías expresas; 2,12 [dBA] en vías troncales; 2,9 [dBA] en vías colectoras; 2,71[dBA] para vías de servicio; y 5,18 [dBA] para vías locales.

Este resultado es esperable, pues debe tenerse presente que las vías expresas tienen más flujo vehicular que las troncales, que estas a su vez mayor que las colectoras, y estas más que aquellas de servicio, y éstas que las locales.

Por lo tanto, la influencia del paso de locomoción colectiva es más relevante en vías de bajo flujo vehicular, como las vías locales.



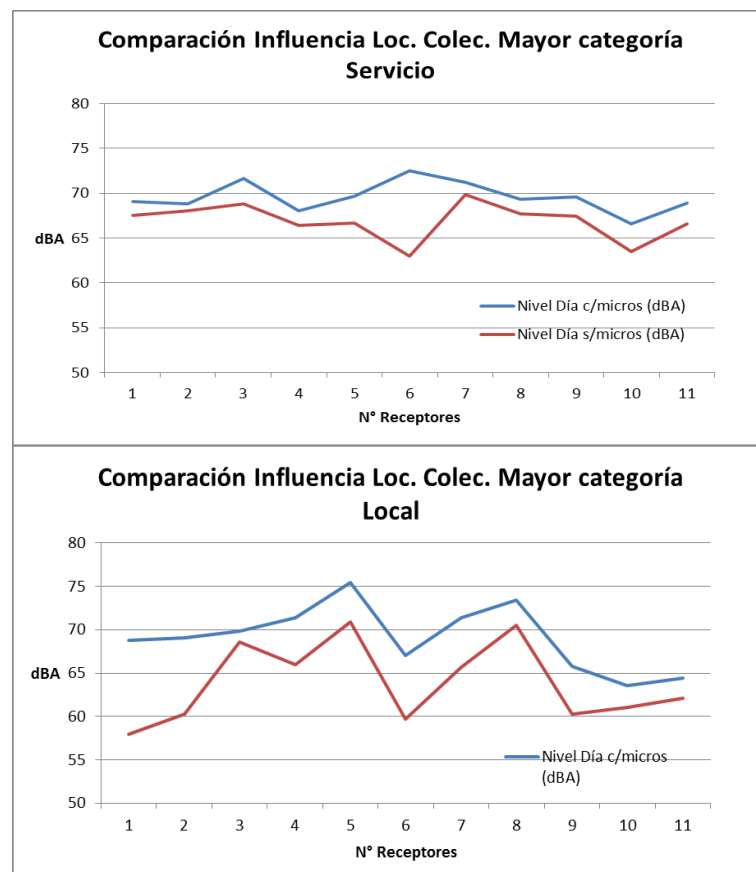


Fig 77. Diferencia entre datos de ruido modelados con y sin locomoción colectiva (micros) por tipo de vías, en mediciones realizadas en La Serena - Coquimbo.

5.6. Análisis de aspectos comunes para los Mapa de Ruido

En este apartado se incluyen algunos aspectos que son comunes a los mapas de ruido realizados.

5.6.1. Definición de horario día y noche

El los estudios previos de mapas de ruido realizados para el Ministerio del Medio Ambiente, se ha definido el horario de día desde las 07:00 hrs. a las 23:00 hrs. (Fase II [CONAMA 2010] y Fase III [MMA 2010]), y el horario nocturno desde las 23:00 hrs. a las 07:00 hrs. Los mapas y productos en esos proyectos incluyen ambas definiciones. En la Fase IV [MMA 2011] el mapa de ruido del periodo diurno no explicita el horario, pero las mediciones realizadas se llevaron a cabo hasta las 21:00 hrs., y no se elaboró un mapa nocturno. Se asume, visto los proyectos anteriores, que el horario y periodo para aquel trabajo es similar a los estudios previos.

En este escenario, y en base a los Términos de Referencia del presente proyecto, el presente estudio ha entregado un mapa para el periodo diurno y otro para el periodo nocturno. En este sentido parece oportuno plantear algunos aspectos sobre la definición de los horarios involucrados.

La Unión Europea establece como descriptores a utilizar para mapas de ruido el L_{den} y L_n [END 2002], descomponiendo el periodo de las 24 horas en día, tarde y noche. La incorporación del L_{den} modifica, en consecuencia, la duración del periodo diurno (L_{day}), al asignarle 12 horas (y no 16 horas), a la tarde 4 horas y a la noche 8 horas. Este último periodo (nocturno) no cambia en su duración. Sin embargo, cabe señalar que tales modificaciones horarias se entienden como parte de la definición del descriptor L_{den} , y no fuera de ella.

La misma Directiva indica que los Estados miembros pueden optar por reducir el período vespertino en una o dos horas y alargar los períodos diurno y/o nocturno en consecuencia, siempre que dicha decisión se aplique a todas las fuentes, y que faciliten a la Comisión información sobre la diferencia sistemática con respecto a la opción por defecto. Por ejemplo, si no se desea alterar el horario nocturno, según la Directiva, el horario diurno podría considerar desde las 07:00 hrs. a las 21:00 hrs., y la tarde desde las 21:00 hrs. a las 23:00 hrs.

Por otro lado, hay estudios que contemplan horarios distintos para periodo de día. Algunos definen el día desde las 07:00 hrs. hasta las 22:00 hrs. [Seong et al. 2011]; [Kim et al. 2012] y otros desde las 06:00 hrs. hasta las 22:00 hrs. [Licitra et al. 2011], por ejemplo. Evidentemente, y tal como indica la propia Directiva Europea, estos períodos deben estar acordes con un consenso local.

Si se establece para Chile lo que propone la Directiva Europea y sus horarios como una recomendación en este aspecto (materia que no ha sido definida aún), es oportuno aportar las posibles implicaciones podría tener, al menos para el ruido de tránsito vehicular y los mapas que realizados en este proyecto. Para tales efectos, se ha tomado una base de datos de las estaciones fijas de las tres conurbaciones estudiadas. Se han seleccionado un total de 44 períodos diurnos de días de semana que contemplan todos los horarios de interés, vale decir, desde las 07:00 hrs. a las 23:00 hrs. El análisis general, se muestra en las siguientes figuras.

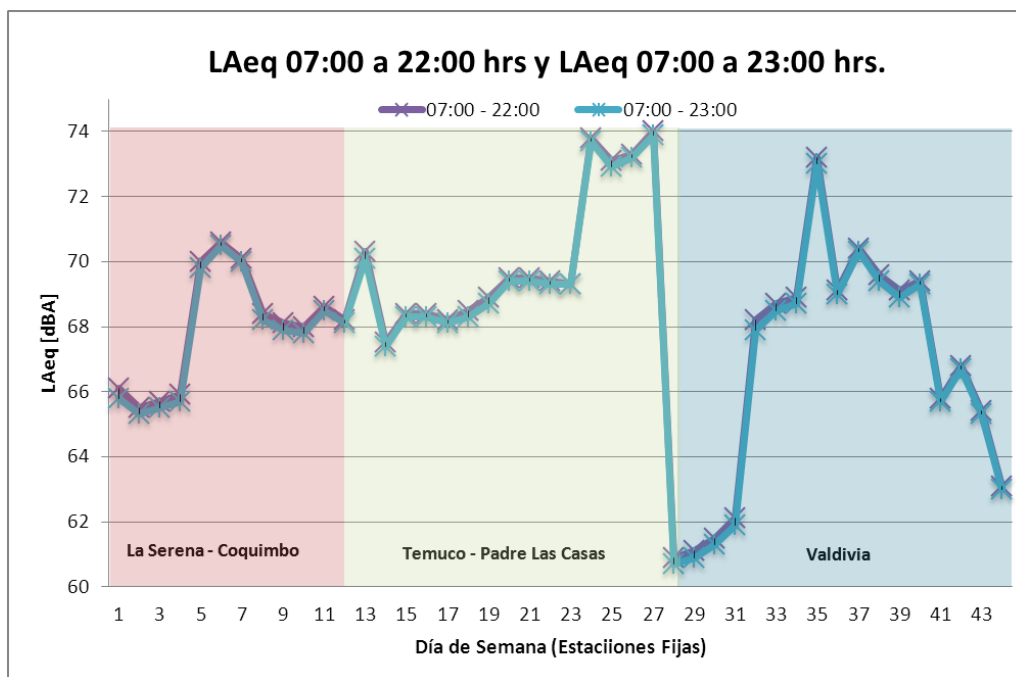


Fig. 78. Niveles de Presión Sonora Continuo Equivalente en distintos horarios (07:00-22:00 hrs y 07:00-23:00 hrs.).

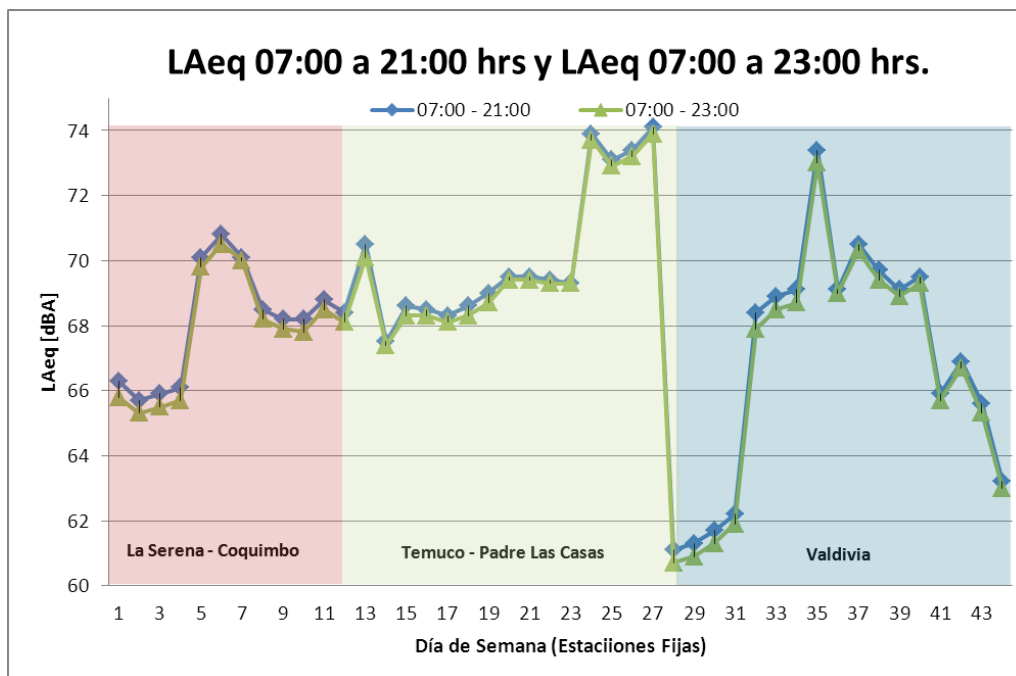


Fig. 79. Niveles de Presión Sonora Continuo Equivalente en distintos horarios (07:00-21:00 hrs y 07:00-23:00 hrs.).

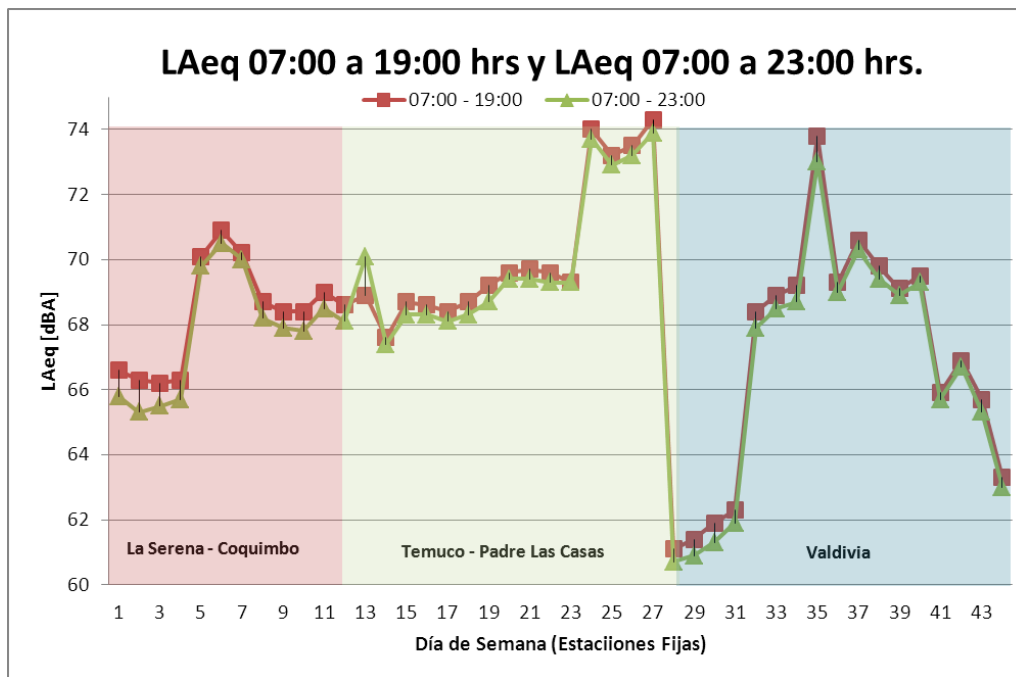


Fig. 80. Niveles de Presión Sonora Continuo Equivalente en distintos horarios (07:00-19:00 hrs y 07:00 -23:00 hrs.).

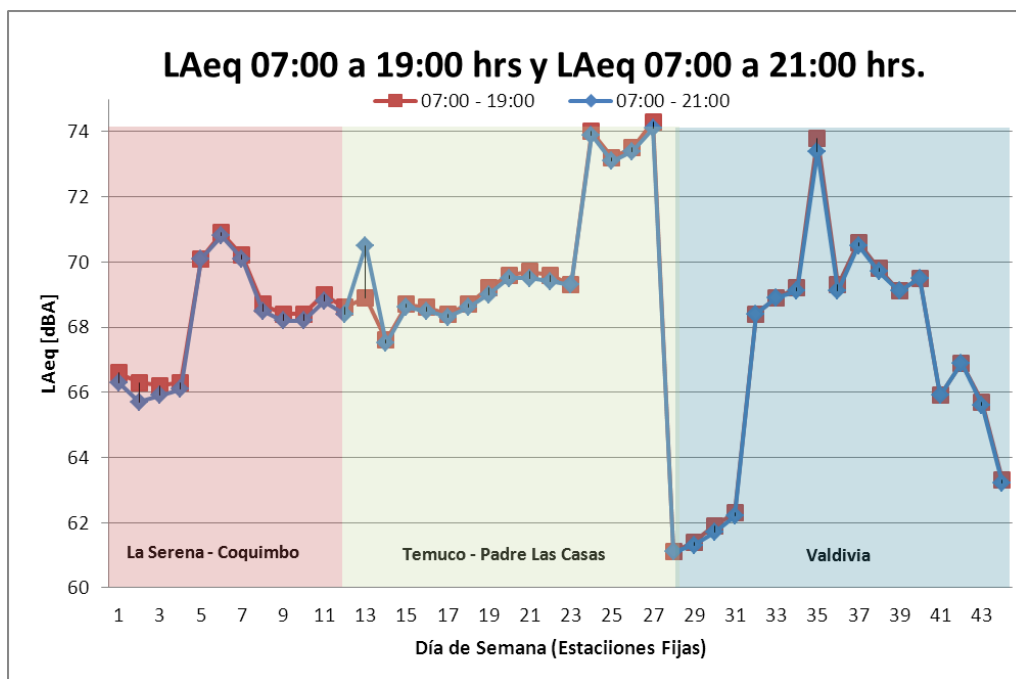


Fig. 81. Niveles de Presión Sonora Continuo Equivalente en distintos horarios (07:00-19:00 hrs y 07:00 -21:00 hrs.).

De los gráficos se puede apreciar que considerar el día desde las 07:00 hrs. hasta las 19:00 hrs., 21:00 hrs., 22:00 hrs. o 23:00 hrs. tiene una diferencia poco significativa para el valor del L_d .

En la siguiente tabla se agrupa un breve análisis sobre el comportamiento promedio.

Tabla 70. Análisis de diferencias entre Niveles de Presión Sonora Continuo Equivalente en distintos horarios.

| Periodos Considerados | Promedio [dBA] | Promedio (abs) [dBA] | Dif. Máx [dBA] | Dif. Mín [dBA] |
|-----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|
| Leq 7a23 – Leq 7a22 | -0,16 | 0,16 | 0,3 | 0,1 |
| Leq 7a23 – Leq 7a21 | -0,28 | 0,28 | 0,5 | 0,1 |
| Leq 7a23 – Leq 7a19 | -0,38 | 0,43 | 1,2 | 0,2 |
| Leq 7a21 – Leq 7a19 | -0,10 | 0,17 | 1,6 | 0 |

Se puede apreciar que al considerar el periodo diurno desde las 07:00 hrs. a las 22:00 hrs. o hasta las 23:00 hrs. puede existir una diferencia promedio de 0,16 dBA, y si se considera hasta las 21:00 hrs, una diferencia respecto de las 23:00 hrs. de 0,28 dBA. **Las diferencias son poco significativas, y demuestran que la definición del periodo de día es una definición más bien una medida estratégica – administrativa vinculada con la gestión ambiental aplicable, al menos para el ruido de tránsito vehicular.** La diferencia promedio entre periodos desde 07:00 hrs. y hasta las 19:00 hrs. o 21:00 hrs. tampoco reflejan diferencias relevantes.

Se propone, para efectos del presente proyecto, que el periodo diurno se considere desde las 07:00 hrs. hasta las 23:00 hrs., y el nocturno desde las 23:00 hrs. hasta las 07:00 hrs., de manera similar a proyectos previos.

Se sugiere analizar a futuro los alcances de establecer horarios distintos para el día, la tarde y la noche, siempre que ello se realice en el contexto del indicador L_{den} . En éste último caso, se deberán incorporar al análisis otro tipo de fuentes (como las fuentes fijas) y sus regulaciones aplicables. Podría ser de interés, por ejemplo, definir el día desde las 07:00 hrs. hasta las 19:00 hrs., la tarde desde las 19:00 hrs. hasta las 21:00 hrs., y la noche desde las 21:00 hrs. hasta las 07:00 hrs., en coincidencia con el día y la noche del DS038/11 MMA.

5.6.2. Análisis de Protocolo de Configuración de Cálculo

Para esta actividad se ha logrado revisar información general y de configuración de las Fases II, III y IV. La siguiente tabla resume este análisis.

Tabla 71. Análisis de datos de modelación en proyectos anteriores.

| | FASE II | FASE III | FASE IV | FASE V * |
|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Orden de reflexiones | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Absorción suelo (G) | 0 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Coef. De absorción EDIF | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| Meteorología | Por defecto (10°C y 70%) | Por defecto (10°C y 70%) | Por defecto (10°C y 70%) | Por defecto (10°C y 70%) |
| Índices de cálculo | Ld (07 -23) Ln (23 - 07) | Ld | Ld | Ld (07 -23) Ln (23 - 07) |
| Horario Punta (Horas) | 07:00 - 09:00 18:00 - 20:00 | 07:00 - 09:00 18:00 - 20:00 | 07:00 - 09:00 18:00 - 20:00 | 07:00 – 09:00 17:30 – 19:30 |
| Horario Valle (horas) | 09:00 - 18:00 20:00 - 21:00 | 09:00 - 18:00 20:00 - 21:00 | 09:00 - 18:00 20:00 - 21:00 | 09:00 –17:30 19:30 – 23:00** |
| Modelos tránsito comparados | RLS90, NMPB, CoRTN | RLS90, STL86, SP48, CoRTN | RLS90 | RLS90, STL86, SP48, CoRTN |
| Clasificación vial/Número | No | Método español/6 | REDEVU/5 | REDEVU/5 (x2) |
| Espaciado de Receptores (m) | 10 x 10 | 10 x 10 | 40 x 40 | 10 X 10 |
| Altura modelación mapas (m) | 4 | 4 | 1.5 | 1.5 |
| Error máximo (dB) | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.5 |

*: Proyecto actual.

** : Distintos por conurbación

5.6.3. Análisis de modelos de predicción de ruido de tránsito vehicular

Como una actividad adicional para este proyecto, se realiza un análisis de los comportamientos de los principales modelos de predicción de ruido de tránsito, según estudios previos. La actividad se realiza para Valdivia y Temuco – Padre Las Casas.

Comparación con modelos.

A continuación se realiza un análisis preliminar para ver el comportamiento de los diferentes modelos de ruido de tránsito vehicular considerados. Para la ciudad de Valdivia se consideraron 116 puntos medidos en la segunda campaña de terreno. Para la conurbación de Temuco-Padre Las Casas se consideraron 101 puntos medidos. Todos ellos excluyeron la presencia de vehículos anormalmente ruidosos (escapes modificados, vehículos en mal estado, etc.), presencia de otras fuentes emisoras de ruido y reflexiones indeseadas (distancia a la fachada más próxima menor a 3,5 metros). Las mediciones realizadas contemplaron un tiempo de muestreo de 15 minutos, en días laborales (lunes a viernes) y fueron realizadas bajo las condiciones descritas en la norma ISO 1996-2:2007 [ISO 2007]. Las variables consideradas en los distintos modelos para estimar el nivel de ruido son:

- I. Densidad de tráfico vehicular (Vehículos/hora)
- II. Porcentaje de vehículos pesados respecto de los vehículos totales
- III. Velocidad promedio de circulación (Km/hora)
- IV. Distancia Fuente-Receptor (m)
- V. Superficie de rodado
- VI. Sección carretera

La comparación se realiza a través de un análisis de diferencias absolutas con el objetivo de establecer el error promedio de la muestra, según la siguiente ecuación. Además, se incluye el porcentaje de valores o puntos de medición que presentan una diferencia entre modelo y medición menor a 1 dBA y 3 dBA Adicionalmente se realizó un análisis de regresión para ver como ajustaba el modelo respecto de los valores observados.

Consideraciones Previas

Por otra parte los modelos utilizados en la comparativa se ajustaron de manera que pudieran incorporar las características locales de las superficies de rodado, y de la clasificación del tipo de vehículo. Además se consideró la velocidad de circulación promedio (40 Km/h) e indicada en unos estudios elaborados para SECTRA para ambas conurbaciones, no estableciendo diferencias entre vehículos livianos y pesados. Respecto al flujo vehicular se debe señalar que los modelos utilizados entregan el valor del LA_{eq} de una hora, por lo que se ha supuesto que el flujo vehicular de una hora de medición es cuatro veces el flujo registrado en los 15 minutos respectivos medidos.

Valdivia

A continuación, se presentan los resultados obtenidos entre los niveles proyectados y los niveles observados en la ciudad de Valdivia.

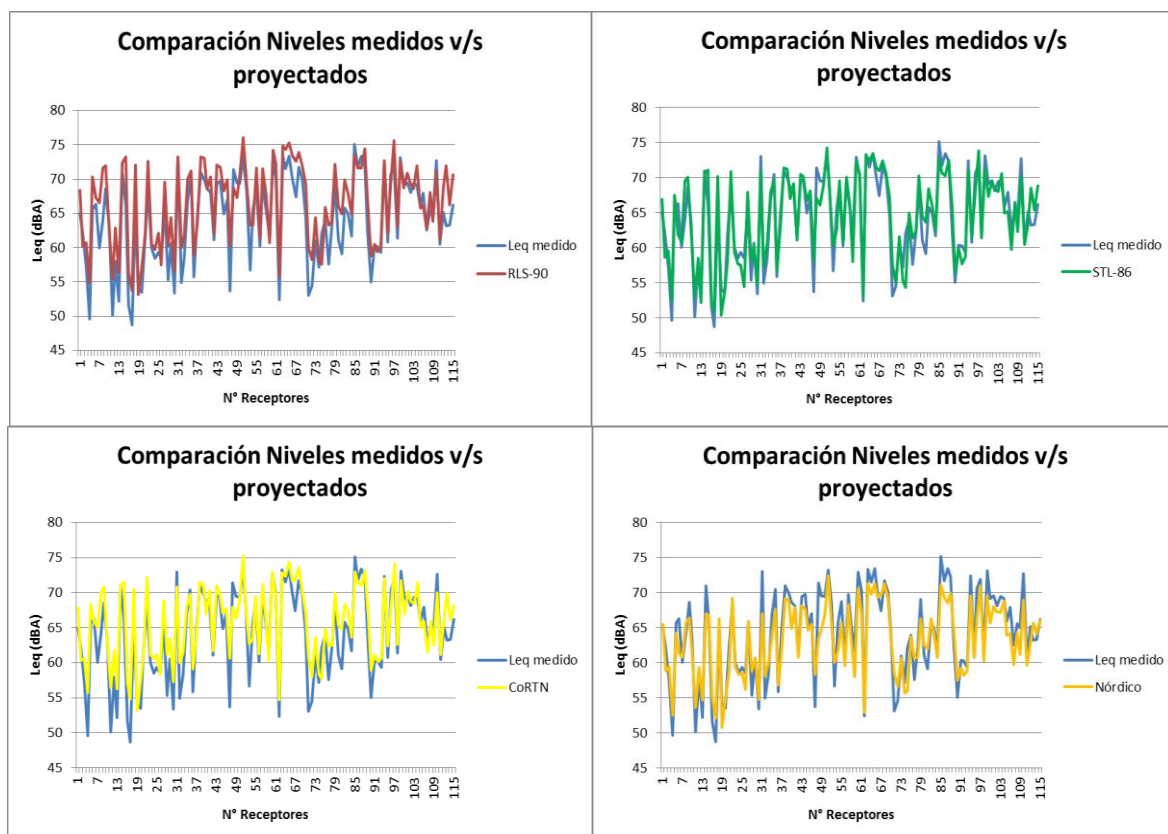


Fig. 82. Curva de los niveles observados y proyectados para los distintos modelos en la ciudad de Valdivia.

En forma general, para los modelos de ruido de tráfico rodado utilizados se puede visualizar que el método Nórdico subestima los niveles medidos. Los métodos alemán RLS-90 e inglés CoRTN sobreestiman en la mayoría de los casos los niveles medidos. El método suizo (STL-86) no muestra una tendencia clara con respecto a la curva de valores medidos. La sobreestimación sistemática en el caso del RLS-90 es atribuible al factor de corrección asociado a tipo de carpeta. Estos valores se han definido para pavimentos diferentes a los observados en ciudades del sur de Chile, por lo que de considerarse en futuras modelaciones, habría que efectuar una adaptación que ajuste mejor a los valores observados.

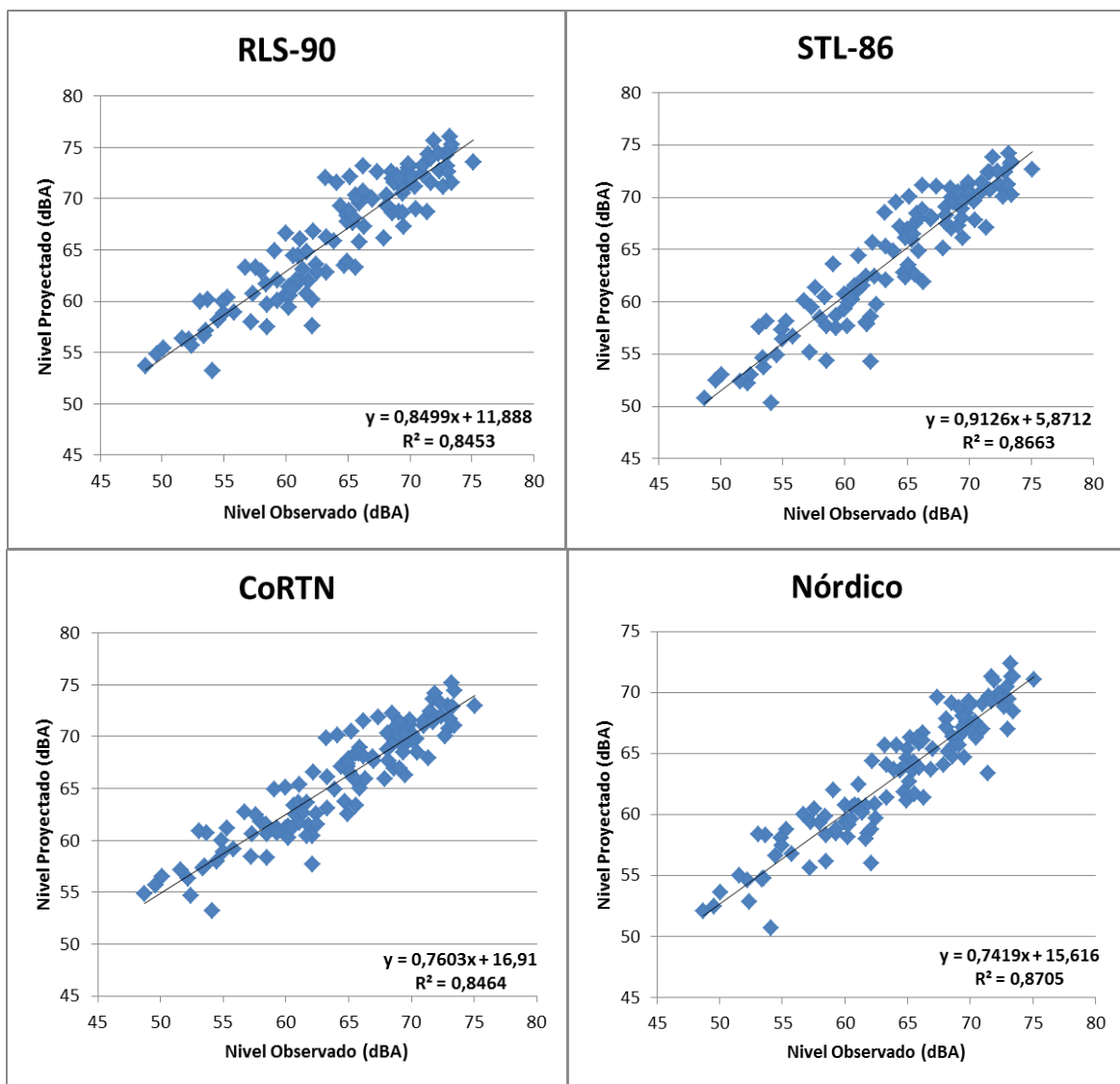


Fig.83. Curva de dispersión entre los niveles observados y proyectados para los distintos modelos en la ciudad de Valdivia.

Los cuatro modelos entregan valores cercanos a los observados, con una correlación lineal (r) superior al 90% en todos los casos. El desempeño de los modelos muestra interceptos inferiores a 17 dB y pendientes relativamente cercanas a 1. El modelo suizo (STL-86) presenta los valores más cercanos a la curva ideal (recta) con un intercepto cercano a 5 dB y pendiente cercana a 1. Los modelos que muestran un mejor ajuste en Valdivia son el Nórdico y suizo (STL-86) ambos con un coeficiente de correlación de 0,93.

A continuación se entrega mediante una tabla, el resumen del comportamiento de los modelos utilizados en esta comparativa.

Tabla 72. Resultados obtenidos en la ciudad de Valdivia.

| | Valdivia | | | |
|------------------------------|-----------------|---------------|--------------|----------------|
| | RLS-90 | STL-86 | CoRTN | Nórdico |
| Promedio Error Absoluto (dB) | 2,78 | 1,83 | 2,34 | 2,15 |
| % Puntos <1 dB | 17,4% | 34,8% | 27,8% | 26,09% |
| % Puntos <3 dB | 58,3% | 80,9% | 71,3% | 71,30% |
| % Puntos sobreestimación | 80,0% | 59,1% | 70,4% | 28,70% |
| % Puntos subestimación | 19,1% | 37,4% | 27,8% | 68,70% |
| Coficiente R pearson | 0,92 | 0,93 | 0,92 | 0,93 |

Al observar la tabla resumen de los resultados obtenidos en la ciudad de Valdivia, se puede distinguir que el modelo suizo presenta un porcentaje sobre el 80% en diferencias absolutas menores a 3 dB entre el valor observado y proyectado, pero no se logra establecer un criterio que indique con claridad, cual es el modelo más adecuado, debido a que todos los modelos ajustan bien, pero los modelos RLS-90 y CoRTN son los únicos que tienden a sobreestimar (sobre el 70%) los niveles medidos, lo cual puede resultar beneficioso a la hora de utilizar alguno de estos modelos para predecir el nivel de ruido que se genera producto del tránsito de vehículos por una vía, y así tener un factor de seguridad al momento de incorporar alguna medida de control de ruido.

Temuco-Padre Las Casas

A continuación, se presentan los resultados obtenidos entre los niveles proyectados y los niveles observados en la conurbación Temuco-Padre Las Casas.

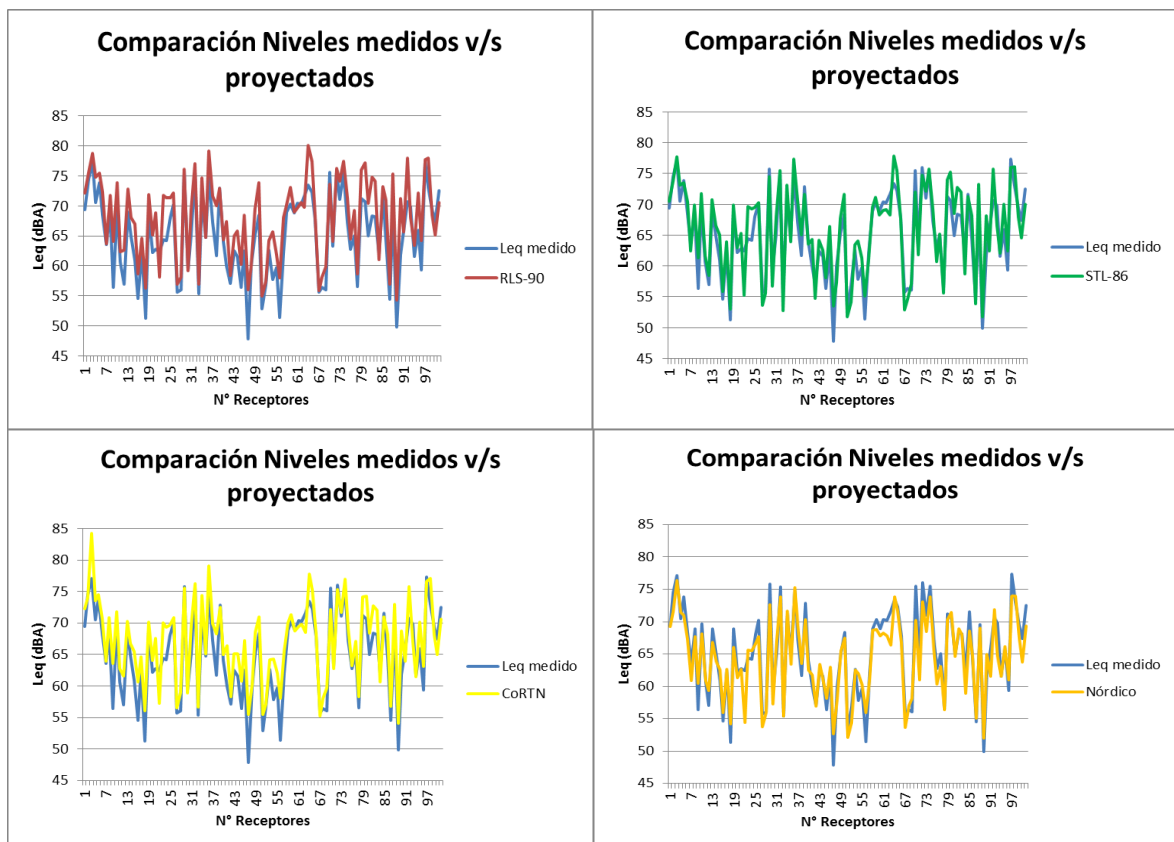


Fig. 84. Curva de los niveles observados y proyectados para los distintos modelos en la conurbación de Temuco-Padre Las Casas.

En forma general, para los modelos de ruido de tráfico rodado utilizados se puede visualizar que el método Nórdico subestima los niveles medidos. Los métodos alemán (RLS-90) e inglés (SP48), tienden a sobreestimar los niveles observados, en cambio el modelo STL-86 no se logra observar una tendencia clara al respecto.

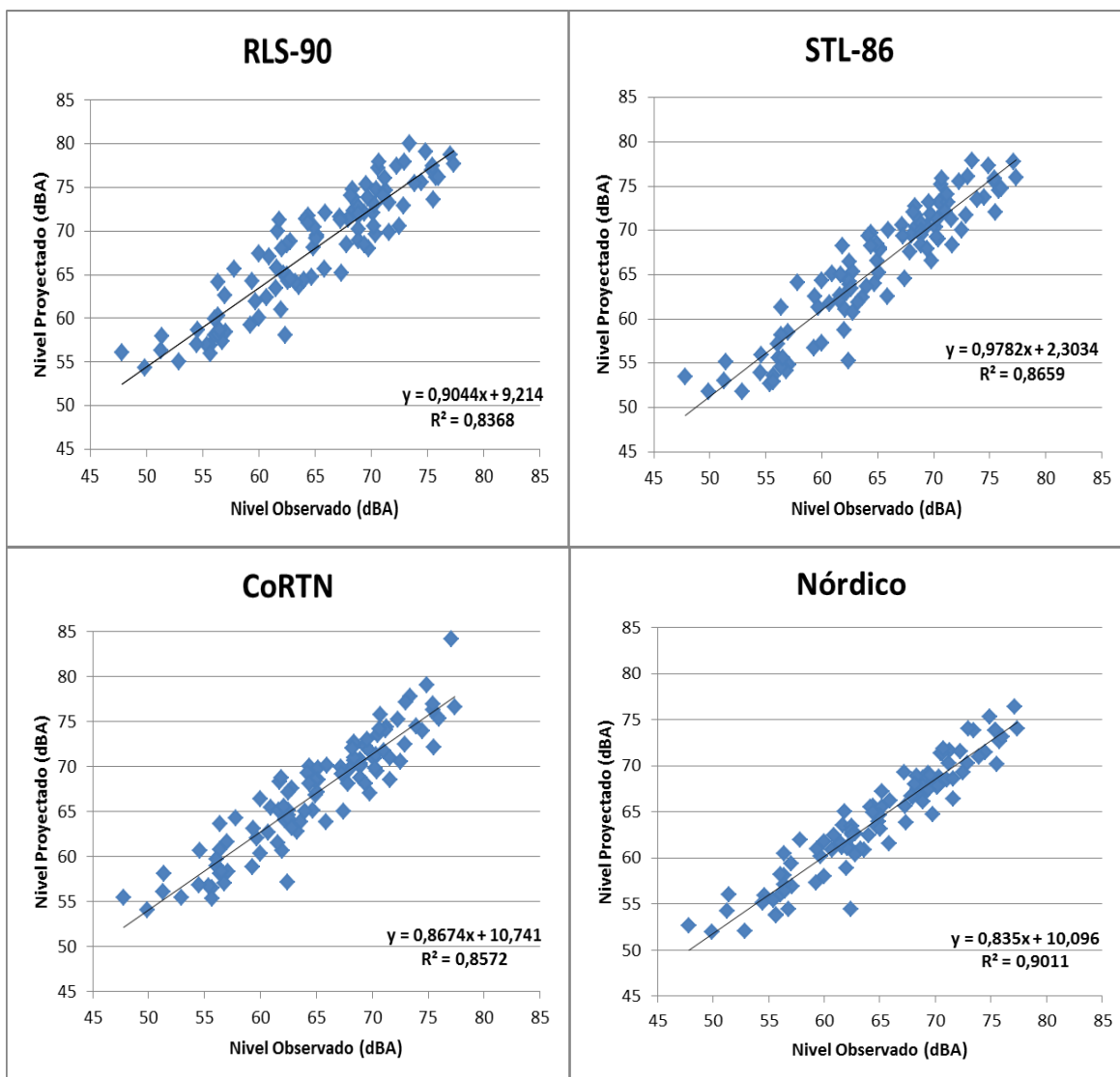


Fig. 85. Curva de dispersión entre los niveles observados y proyectados para los distintos modelos en la conurbación Temuco-Padre Las Casas

Los cuatro modelos entregan valores cercanos a los observados, con una correlación lineal (r) superior al 90% en todos los casos. El desempeño de los modelos presenta interceptos inferiores a 11 dB y pendientes cercanas a 1. El modelo suizo (STL-86) presenta los valores más cercanos a la curva ideal (recta) con un intercepto cercano a 2 dB y pendiente muy cercana a 1. Los modelos que muestran un mejor ajuste en la conurbación son el Nórdico (0,95), el suizo (0,93) y el inglés (0,93) con un coeficiente de correlación de cercanos a 1.

A continuación se entrega mediante una tabla, el resumen del comportamiento de los modelos utilizados en esta comparativa.

Tabla 73. Resultados obtenidos en la conurbación Temuco-Padre Las Casas. Fuente: Elaboración Propia.

| | Temuco/PLC | | | |
|------------------------------|-------------------|---------------|--------------|----------------|
| | RLS-90 | STL-86 | CoRTN | Nórdico |
| Promedio Error Absoluto (dB) | 3,33 | 2,28 | 2,70 | 1,76 |
| % Puntos <1 dB | 18,6% | 19,6% | 23,5% | 34,31% |
| % Puntos <3 dB | 51,0% | 69,6% | 60,8% | 60,78% |
| % Puntos sobreestimación | 85,3% | 61,8% | 77,5% | 37,25% |
| % Puntos subestimación | 11,8% | 38,2% | 22,5% | 61,76% |
| Coefficiente R pearson | 0,91 | 0,93 | 0,93 | 0,95 |

Al observar la tabla resumen de los resultados obtenidos en la conurbación Temuco-Padre Las Casas, no se logra establecer un criterio que indique con claridad, cual es el mejor modelo debido a que todos los modelos ajustan bien, sin embargo los modelos RLS-90 y CoRTN son los únicos que tienden a sobreestimar (sobre el 75%) los niveles medidos, lo cual puede resultar beneficioso a la hora de utilizar alguno de estos modelos para predecir el nivel de ruido que se genera producto del tránsito de vehículos por una vía, y así tener un factor de seguridad al momento de incorporar alguna medida de control de ruido.

Coquimbo-La Serena

A continuación, se presentan los resultados obtenidos entre los niveles proyectados y los niveles observados en la conurbación Coquimbo-La Serena.

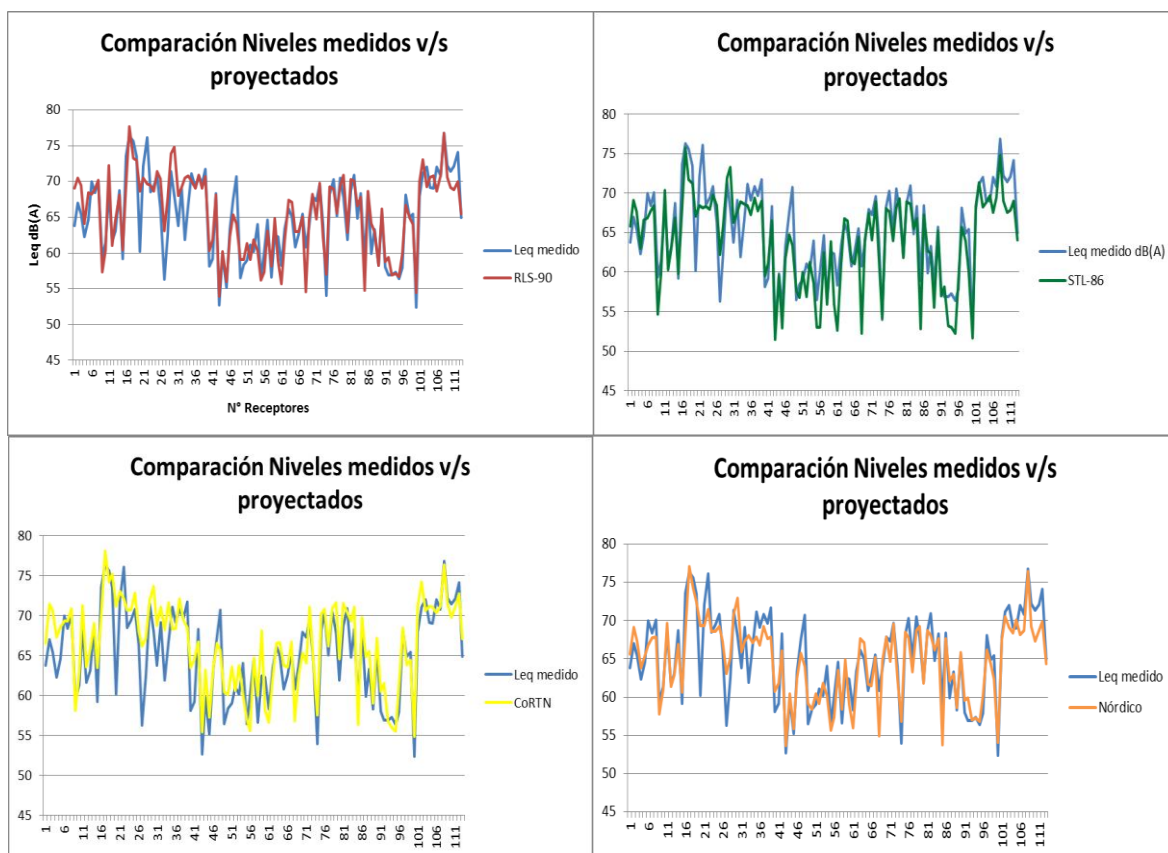


Fig. 86. Curva de los niveles observados y proyectados para los distintos modelos en la conurbación de Coquimbo-La Serena.

En forma general, para los modelos de ruido de tráfico rodado utilizados se puede visualizar que el método Nórdico subestima los niveles medidos. Los métodos alemán (RLS-90) e inglés (SP48), tienden a sobreestimar los niveles observados, en cambio el modelo STL-86 no se logra observar una tendencia clara al respecto.

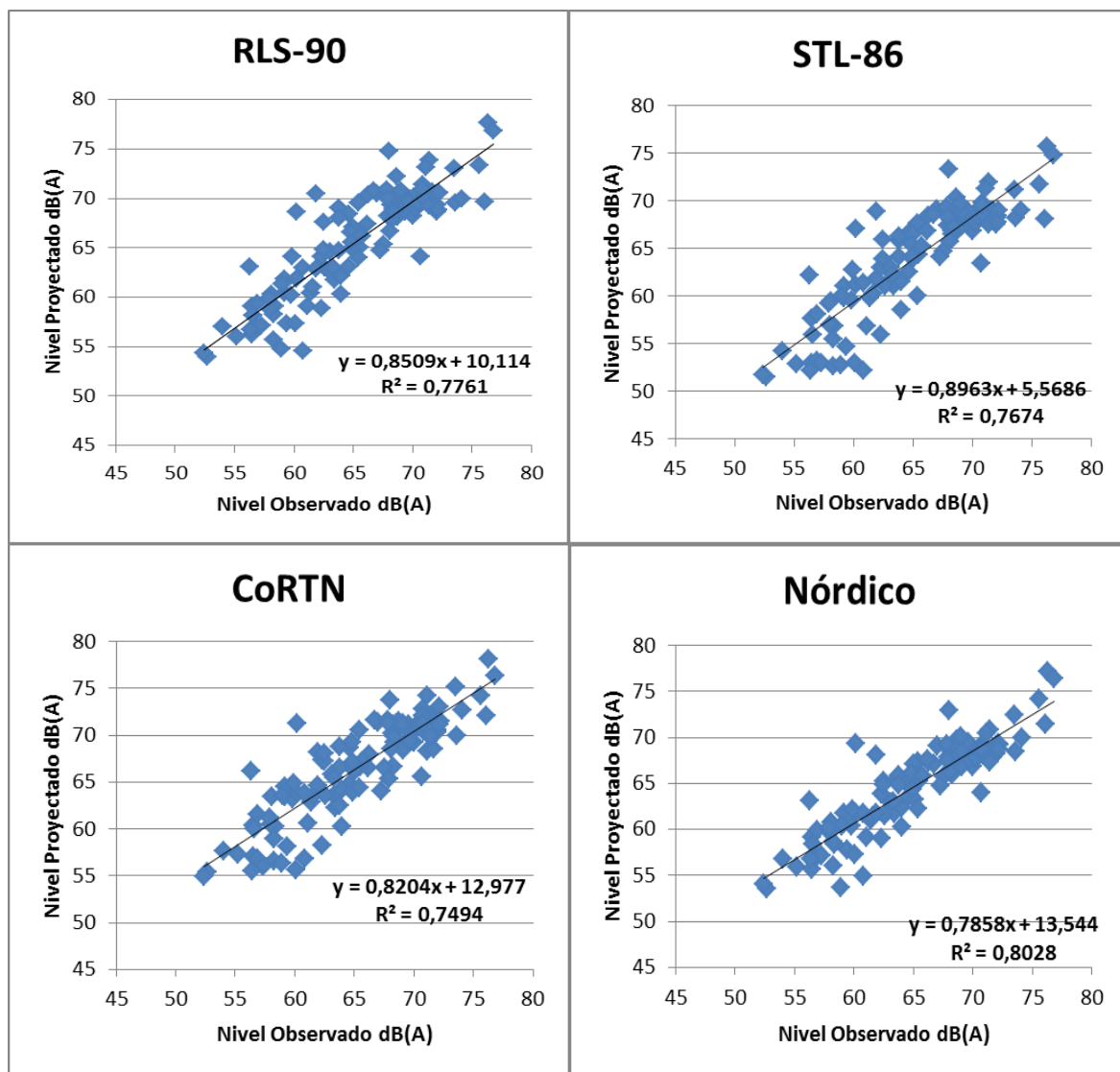


Fig. 87. Curva de dispersión entre los niveles observados y proyectados para los distintos modelos en la conurbación Coquimbo-La Serena.

Los cuatro modelos entregan valores cercanos a los observados, con una correlación lineal (r) superior al 85% en todos los casos. El desempeño de los modelos presenta interceptos inferiores a 14 dB y pendientes cercanas a 1. El modelo suizo (STL-86) presenta los valores más cercanos a la curva ideal (recta) con un intercepto cercano a 5 dB y pendiente cercana a 1. El modelo que muestra un mejor ajuste en la conurbación es el Nórdico (0,9), seguido de los demás, suizo (0,88), alemán (0,88) e inglés (0,87) con coeficientes de correlación cercanos a 1.

A continuación se entrega mediante una tabla, el resumen del comportamiento de los modelos utilizados en esta comparativa.

Tabla 74. Resultados obtenidos en la conurbación Coquimbo-La Serena. Fuente: Elaboración Propia.

| | Coquimbo/La Serena | | | |
|------------------------------|--------------------|--------|-------|---------|
| | RLS-90 | STL-86 | CoRTN | Nórdico |
| Promedio Error Absoluto (dB) | 2,03 | 2,38 | 2,48 | 1,93 |
| % Puntos <1 dB | 35,4% | 24,4% | 22,0% | 34,15% |
| % Puntos <3 dB | 84,1% | 74,4% | 68,3% | 68,29% |
| % Puntos sobreestimación | 52,4% | 26,8% | 62,2% | 36,59% |
| % Puntos subestimación | 42,7% | 73,2% | 37,8% | 60,98% |
| Coficiente R pearson | 0,88 | 0,88 | 0,87 | 0,90 |

Al observar la tabla resumen de los resultados obtenidos en la conurbación Coquimbo-La Serena, no se logra establecer un criterio que indique con claridad, cual es el mejor modelo debido a que todos los modelos ajustan bien, sin embargo los modelos RLS-90 y CoRTN son los únicos que tienden a sobreestimar (sobre el 50%) los niveles medidos, lo cual puede resultar beneficioso a la hora de utilizar alguno de estos modelos para predecir el nivel de ruido que se genera producto del tránsito de vehículos por una vía, y así tener un factor de seguridad al momento de incorporar alguna medida de control de ruido.

Conclusión

El análisis para todas las ciudades arroja que todos los modelos presentan diferencias razonables entre las modelaciones y mediciones. En este sentido, es conveniente recordar que los modelos considerados en este análisis corresponden a aquellos que son menos exigentes en variables a considerar en los cálculos. Lo anterior, vista la disponibilidad de información que existe para realizar modelaciones acústicas en el país.

En este contexto, no existe una clara ventaja de un modelo por sobre el otro. Sin embargo, si se considera como elemento relevante la tendencia a sobreestimar los valores modelados, éste puede ser un factor de seguridad de interés a la hora de escoger un modelo, en cuyo caso los modelos RLS-90 y CoRTN son los que parecen mejores candidatos para ser utilizados.

En general, como ya se ha comentado antes, los modelos y su efectividad estarán siempre a consideraciones de mediciones en terreno que permitan una verificación y validez de los resultados.

Capítulo 6. MAPAS DE RUIDO RED FERROVIARIA



6. MAPAS DE RUIDO RED FERROVIARIA

6.1. Temuco – Padre Las Casas

6.1.1. Mapa de ruido de trenes de Temuco – Padre Las Casas

El ruido de ferrocarriles corresponde a una fuente de ruido por sí misma, y distinta al ruido de vehículos (autos, camiones, etc.). Posee otras variables de entrada además que el flujo. Se ha incluido esta fuente sonora de acuerdo a lo indicado en los TdR, para las conurbaciones que entreguen el servicio a la comunidad. De acuerdo a lo observado en terreno en la conurbación 1 (Valdivia) no se entrega, por el momento, el servicio. Caso contrario ocurre para la conurbación 2 (Temuco/Padre Las Casas), donde existe un tramo que recorre desde la estación de Temuco hasta la estación de Victoria, ciudad ubicada a unos 65 kms de la capital regional, pasando por 6 paradas intermedias.

Automotor Diesel TLD-504

Se han utilizado los siguientes parámetros asociados:

- Red ferroviaria (capa shape), proporcionada por SECTRA. La data de esta información es del año 2012.
- Frecuencia y velocidades comerciales de circulación del tren, según información entregada por la Contraparte Regional y el Sr. Cristián Azócar, jefe estación Temuco.



Fig. 88. Automotor Diésel de 2 cuerpos.

Tabla 75. Horario y frecuencia de trenes.

| Horario Tren | Desde (Estación) | Hasta (Estación) | Frecuencia |
|--------------|------------------|------------------|---------------------------------------|
| 06:30 | Victoria | Temuco | Lunes-Viernes |
| 8:05 | Temuco | Claret | Lunes-Viernes |
| 8:25 | Claret | Temuco | Lunes-Viernes |
| 9:30 | Temuco | Victoria | Lunes-Viernes |
| 11:40 | Victoria | Temuco | Lunes-Viernes-Sábado-Domingo-Festivos |
| 15:20 | Temuco | Claret | Lunes-Viernes |
| 15:40 | Claret | Temuco | Lunes-Viernes |
| 16:00 | Temuco | Claret | Lunes-Viernes |
| 16:20 | Claret | Temuco | Lunes-Viernes |
| 16:45 | Temuco | Victoria | Lunes-Viernes-Sábado-Domingo-Festivos |
| 18:20 | Victoria | Temuco | Lunes-Viernes-Sábado-Domingo-Festivos |
| 20:00 | Temuco | Victoria | Lunes-Viernes-Sábado-Domingo-Festivos |

El número de trenes diario se toma a partir de la información indicada anteriormente, lo que se traduce en 12 trenes por día. Con respecto a la velocidad de circulación se toma en consideración la velocidad máxima permitida (50 Km/h).

Con respecto al largo de los trenes, se utiliza el largo observado en terreno (46 metros por coche). Dado que el tren que circula regularmente es de 2 coches, el largo utilizado es 92 metros. En esta etapa para fuentes relacionadas con trenes se utiliza el modelo alemán Schall 03. La razón de escoger este modelo se basa en que los modelos de ferrocarriles integrados en el software trabajan con base de datos (clases) de niveles de ruido de diferentes tipos de trenes y además ya fue utilizado en la Fase IV [MMA 2011].

Para este caso de ruido de tren se utiliza como información el flujo diario y velocidad determinada a partir de información entregada por la Contraparte Regional y observada en terreno. En el software fue utilizada la categoría (clase) del tipo expreso.

Se realizaron mediciones en cercanías de la línea férrea, a una distancia de 7 y 25 metros, del paso de los trenes. La medición de niveles de ruido considerada fue el registro de niveles 25 metros. Este último valor es utilizado para comparar los niveles medidos y modelados. El proceso de comparación toma como referencia información extraída a partir de documento técnico del fabricante del software (Technical Note TN0305e) [Datakustic 2009]. De un conjunto de mediciones realizadas, se ha considerado como representativa la única medición donde el tren no utilizó su bocina como medio de seguridad ante la cercanía de intersecciones. El Leq obtenido fue de 75,27 dB(A) y la duración del registro alcanzó aproximadamente los 8 s (paso del tren, descartando ruido ambiente producto de la ausencia de esta fuente), y coordenadas del punto 713631m E; 5713254m S.

Para efectos de comparar la medición y la modelación, fue necesario registrar el tiempo de duración de la medición de ruido a raíz del paso del tren. Con este dato es posible establecer un número ficticio de trenes que circularían de manera continua con tal de mantener el nivel de ruido constante, con el fin de comparar el valor registrado en el lugar y el nivel modelado bajo esta condición.

El número N de trenes por día que es ingresado al software corresponde a la siguiente expresión:

$$N=(16 \times 3600)/T$$

Donde T son los segundos correspondientes al tiempo de duración del registro sonoro del tren.

El tiempo de medición de paso de Automotor de 2 cuerpos fue de 8 segundos, así el número equivalente día de trenes corresponde a N= 7200. Este valor y otros datos, como la longitud del tren y, se ingresaron al modelo utilizando la categoría correspondiente a Expreso, según modelo de emisión alemán Schall 03.

El software entregó un valor modelado para esta situación de 73,3 dB(A), y la medición registrada para este mismo escenario fue de 75,27 dB(A) a 25 m del paso del tren. Se observa que las variaciones entre niveles medidos y modelados alcanzan diferenciadas menores a 2 dB(A), por lo cual se debe utilizar la corrección (Dfz) para esta nueva categoría de tren Expreso ajustado. Dfz corresponde a la diferencia entre el Lcalc – Lmedido.



Fig. 89. Ejemplo de posición para la medición de niveles de ruido en torno a una línea de ferrocarril, mediante modelo Schall 03.

Tabla 76. Resumen parámetros ingresados al software, modelo Schall 03.

| Tipo Tren | Flujo/día | Velocidad (Km/h) | Longitud (m) | Corrección Dfz (dB) |
|-----------|-----------|------------------|--------------|---------------------|
| Expreso | 12 | 50 | 92 | 2 |

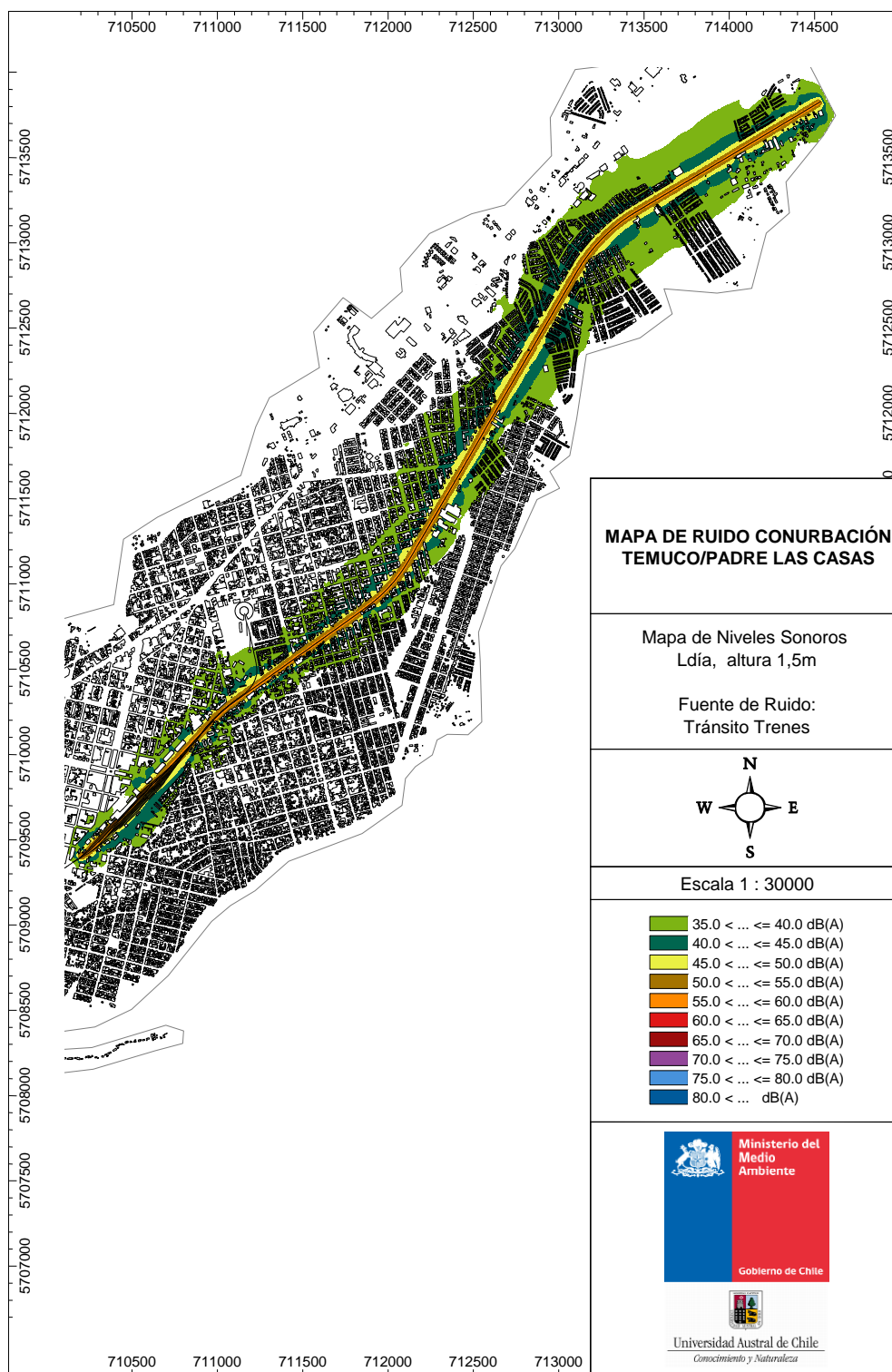


Fig. 90 Mapa de Ruido de trenes de la Ciudad de Temuco – Padre Las Casas

6.2. La Serena – Coquimbo

6.2.1. Mapa de ruido de trenes de La Serena - Coquimbo

Locomotora Diesel Eléctrica General Motors GR-12 (1962) con carros metaleros tipo Tolva, Socometal y HB.

Se han utilizado los siguientes parámetros asociados:

- Red ferroviaria, dibujada a partir de imágenes escaladas obtenidas mediante Google Earth.
- Frecuencia y velocidades de circulación del tren, según información entregada por la CAP, a través de la SEREMI de Medio Ambiente.



Fig. 91. Locomotora Modelo General Motor, Tipo GR-12, diesel eléctrica con carros Metaleros, Tipo Tolva, Socometal y HB.

El número de trenes diario se toma a partir de la información indicada anteriormente, lo que se traduce en 11 trenes por día. Con respecto a la velocidad de circulación se toma en consideración la velocidad máxima permitida (40 Km/h).

Con respecto al largo de los trenes, se utiliza el largo observado en terreno (5,5 metros por carro + 17 metros locomotora). El tren que circula está compuesto por un máximo de 24 carros, con tracción de locomotora, salvo sector Cantera Coquimbo, donde se acopla una segunda locomotora (sistema múltiple). Éstos circulan por una vía simple unidireccional no electrificada con rieles de 100 lb/yds. 18 mts. de largo, uniones eclisadas, de sujeción con Clavos y tirafondos, salvo en el sector poblacional Cantera, donde los rieles están unidos por proceso de Soldaduras Aluminotérmica formando barras de 54 mts. El largo utilizado es 150 metros. En esta etapa para fuentes relacionadas

con trenes se utiliza el modelo alemán Schall 03. La razón de escoger este modelo se basa en que el modelo incorpora la clase correspondiente a GN Tren de Carga (Corto) y además ya fue utilizado en la Fase IV [MMA 2011].

Para la modelación se realizó un ejercicio teórico, utilizando una de las clases de trenes que posee la norma técnica, Shall 03, que se utilizó para obtener un mapa de ruido de un sector poblacional de Coquimbo. La clase de tren utilizada corresponde a GN Tren de Carga (Corto), para la cual se ingresaron las variables solicitadas por el modelo, de acuerdo a la información enviada por la CAP, a través de la SEREMI de Medio Ambiente.

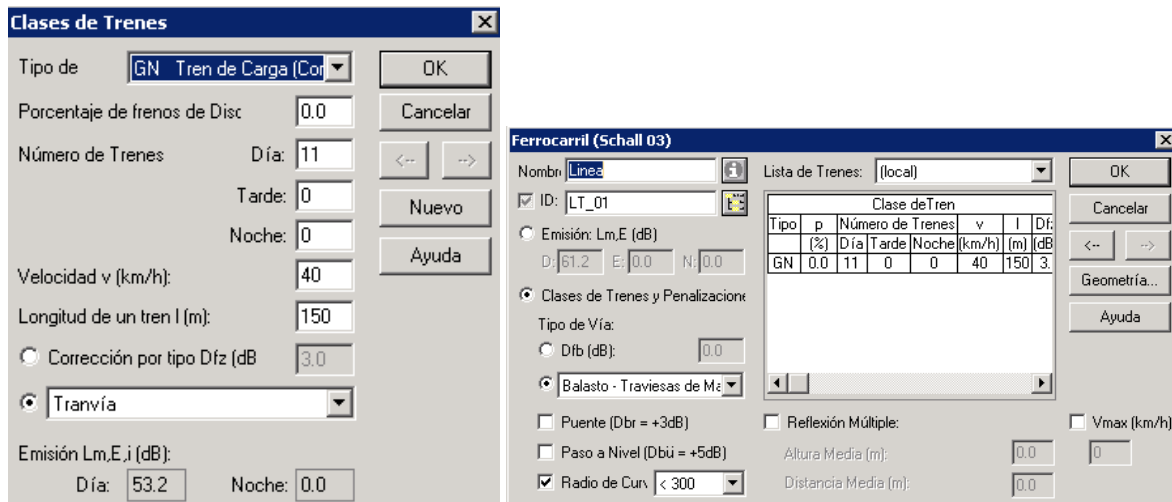


Fig. 92. Configuración para ejercicio de modelación de trenes.

Además la vía férrea CAP con una longitud de 38,6 Km cuenta con cinco Puentes estructurales, un Paso bajo Nivel y dieciocho Pasos a Niveles, de los cuales cuatro son semaforizados y otros nueve poseen señalética oficial, correspondiente a Disco Pare.

Tabla 77. Horario y frecuencia de trenes.

| Tramo Horario Tren | Desde (Estación) | Hasta (Estación) | Frecuencia |
|--------------------|------------------|------------------|-----------------------------------|
| 08:00 – 16:00 | Mina El Romeral | Puerto Guayacán | Lunes-Sábado cada 1,5 hrs./sector |
| 16:00 – 24:00 | Mina El Romeral | Puerto Guayacán | Lunes-Sábado cada 1,5 hrs./sector |

Tabla 78. Resumen parámetros ingresados al software, modelo Schall 03.

| Tipo Tren | Flujo/día | Velocidad (Km/h) | Longitud (m) | Corrección Dfz (dB) |
|--------------------------|-----------|------------------|--------------|---------------------|
| GN Tren de Carga (Corto) | 11 | 40 | 150 | 3 |

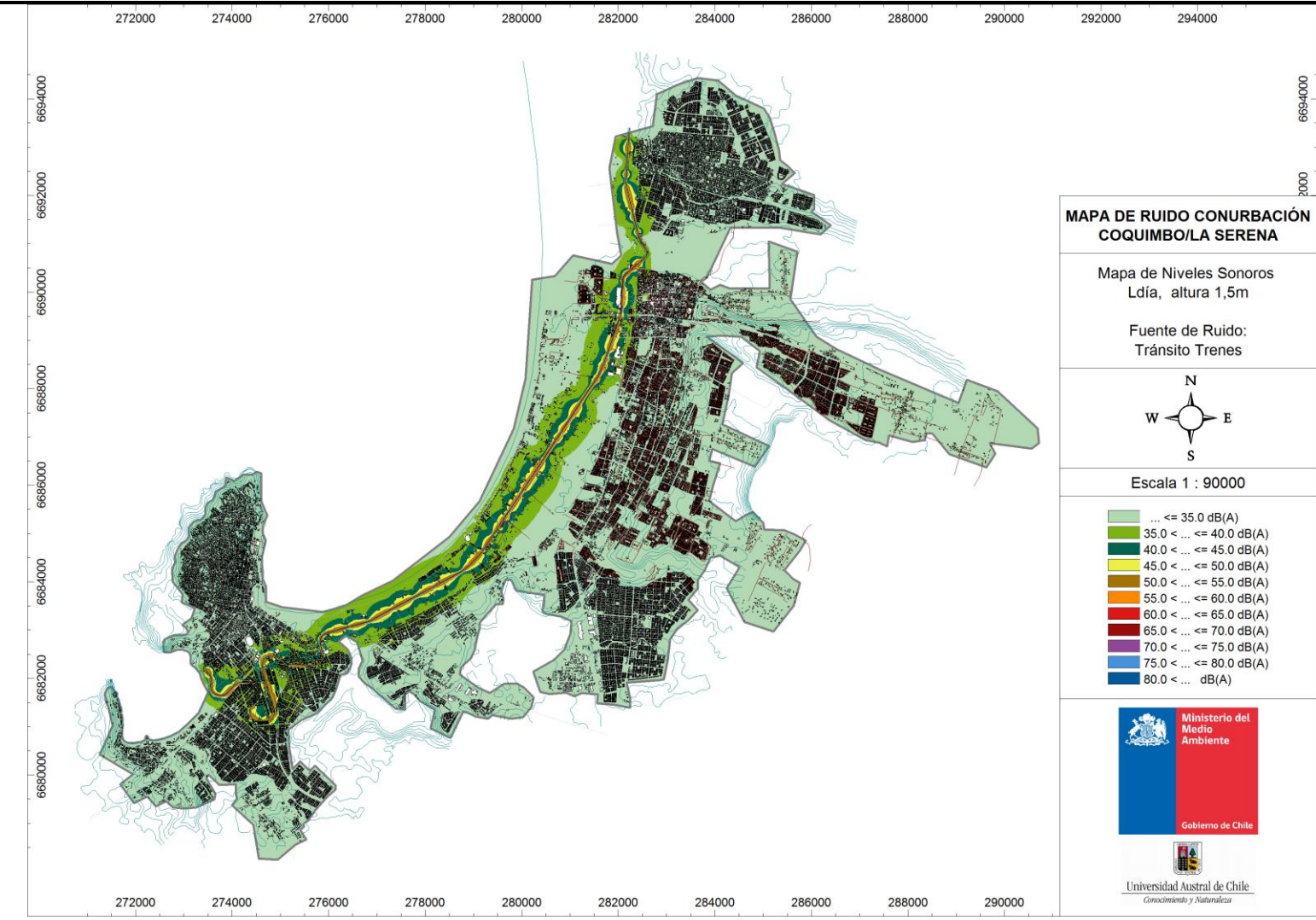


Fig. 93 Mapa de Ruido de trenes de la Ciudad de La Serena - Coquimbo

**Capítulo 7.
PLANES DE ACCIÓN –
MEDIDAS DE GESTIÓN PARA
ABORDAR EL RUIDO
AMBIENTAL**



AcústicaUACH
www.acusticauach.cl

7. PLANES DE ACCIÓN – MEDIDAS DE GESTIÓN PARA ABORDAR EL RUIDO AMBIENTAL

7.1. Planes de Acción en Europa

7.1.1. Alcance

La política medioambiental europea considera el ruido como un factor perjudicial para la salud y el bienestar de las personas. Mantiene una estricta estrategia de evaluación y vigilancia sobre las emisiones de las fuentes de ruido y de la exposición de la población, a raíz de la publicación del Libro Verde sobre las políticas de ruido de 1996 [EU 1996].

La Directiva de 2002 sobre el ruido ambiental [END 2002], establece claramente obligaciones para todos los Estados miembros para evaluar el ruido de las infraestructuras de transporte y en las zonas urbanas mediante la elaboración de mapas de ruido y planes de acción, con el fin de corregir los niveles de ruido excesivos o para preservar las condiciones en que el sonido ambiental es bueno. Sólo las grandes infraestructuras de transporte y las aglomeraciones con más de 100.000 habitantes, debidamente definidas en la END se consideran en esta política. Los diferentes Estados miembros tienen la posibilidad de definir el concepto de aglomeración a fin de incorporar las definiciones nacionales para las zonas urbanas o de traducir las diferencias regionales (por ejemplo, en Portugal una gran aglomeración a efectos de aplicación de END se define mayor a 100.000 habitantes y una densidad de población de al menos 2.500 habitantes/km²).

Básicamente, el END establece un programa de procedimientos obligatorios que incluyen mapas de ruido para la evaluación y diagnóstico, tanto para los técnicos y para el público en general, y la planificación de acciones como una estrategia pertinente para la gestión del medio ambiente acústico y su planificación. Esta etapa requiere de la participación de las partes interesadas, en especial de los residentes, a través de la consulta pública. El documento END incluye una serie de anexos que indican no sólo los requisitos mínimos para las fases técnicas de los mapas de ruido y planificación de las acciones, sino también para los mecanismos de información de los organismos encargados de los Estados miembros a la Comisión Europea, que es parte de todo el proceso.

El END define etapas para la realización de los mapas de ruido y planes de acción en el espacio europeo ya que uno de sus objetivos es la evaluación del estado del medio ambiente acústico en Europa para comparar las situaciones de ruido ambiental y la exposición de las poblaciones en los diferentes países. La primera etapa de los mapas de ruido debía ser completada en 2007 y los planes de acción en el año 2008. El proceso se debe repetir cada 5 años.

Cuando el END se publicó en 2002, una serie de métodos de cálculo de las emisiones de fuentes de ruido estaban disponibles en los diferentes países europeos para las principales fuentes de ruido (transporte e industria), pero ninguno ha sido adoptado en forma común. A los efectos finales, los métodos nacionales o provisionales (se recomiendan en END) serían aceptados hasta que se definirá y aprobará un método europeo armonizado común. Para los propósitos del END, los métodos nacionales o interinos (recomendados en END, 2003), serían aceptables hasta que un método armonizado común para Europa sea definido y aprobado. Para esto, los proyectos

HARMONOISE¹ e IMAGINE² se pusieron en marcha para definir los algoritmos básicos y los procedimientos de cálculo eficientes. Aunque estos proyectos definieron los conceptos básicos de un método de cálculo común, no lograron producir una metodología práctica real (mayormente por razones técnicas y políticas). El método CNOSSOS-UE [CNOSSOS 2012], fue puesto en marcha a partir del trabajo de un grupo grande de trabajo con la participación de expertos y representantes de todos los Estados miembros, que aseguraban decisiones consensuadas las cuales condujeron a un algoritmo de cálculo basado en los proyectos europeos anteriores y prácticas existentes y probadas.

El último método fue publicado en 2012 [CNOSSOS 2012] y ha sido objeto de pruebas de implementación en software existente de modelado informático. Este debería ser aprobado por la Comisión Europea en los próximos meses y adoptándose para el uso general, ya sea en la tercera ronda de los mapas de ruido (deben ser informados en 2017) o en la cuarta, dando los mecanismos necesarios para la homologación y adaptación Europea dentro del sistema legal de los Estados miembros.

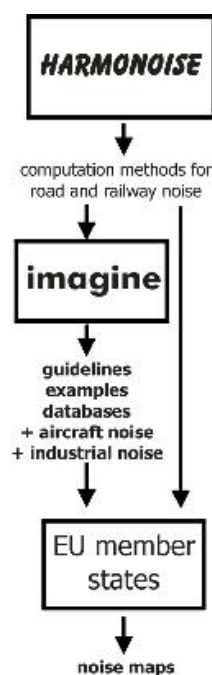


Fig. 94: Esquema que representa el proceso para armonizar y elaborar métodos precisos, confiables y mejorados para la evaluación del impacto del ruido en el ambiente.

¹ El proyecto para la armonización de métodos precisos y confiables para la directiva de la UE sobre la evaluación y gestión del ruido ambiental (HARMONOISE) se llevó a cabo entre 2001 y 2004 y su objetivo fue desarrollar métodos armonizados para el cálculo del ruido ambiental generado por carreteras y ferrocarriles, para ser adoptado por los Estados miembros de la UE.

² El proyecto para obtener métodos mejorados para la evaluación del impacto genérico del ruido en el ambiente (IMAGINE) estaba destinado a ampliar las bases de datos de las fuentes del proyecto HARMONOISE para carreteras y ferrocarriles, y para desarrollar métodos de predicción para fuentes de aviones y ruido industrial. Este se desarrolló entre 2003 y 2006, reuniendo diversos actores de la industria, el gobierno y el mundo académico.

Aunque las acciones requeridas por el END han estado en práctica en Europa desde fines de los 80 (Birmingham fue la primera ciudad europea en producir un mapa de ruido a gran escala en 1998 y Lisboa fue la segunda ciudad en completar el mapa de ruido a gran escala en 2000, habiendo producido el primer mapa de ruido enfocado al ruido del aeropuerto en 1993), los esfuerzos que se requieren a nivel europeo han sido enormes, tanto a nivel financiero como técnico, teniendo en cuenta el plazo de los resultados esperados. En 1999, la Comisión Europea estableció una red de expertos (tanto académicos como profesionales), de todos los países para ayudar a la Comisión Europea y los Estados miembros en la aplicación de los requisitos específicos de la END. Esta red comprendía inicialmente 10 grupos de trabajo diferentes (WG), que se ocuparon de diversos temas, tales como indicadores de ruido, emisión de ruidos, problemas de propagación del sonido, técnicas de cómputo y los efectos sobre la salud. Sin embargo, en el 2002 se disminuye a tres WG, centrando el trabajo en la evaluación de la exposición al ruido, en la salud y los aspectos socio-económicos, y en las fuentes que originan el ruido.

Entre 2006 y 2007, el Grupo de Trabajo para la evaluación de la exposición al ruido (WG-AEN), produjo la Guía de Buenas Prácticas para mapas estratégicos de ruido [WG-AEN 2007], que resultó ser fundamental para aclarar aspectos técnicos y prácticos que podrían traer dificultades a aquellos profesionales con menor experiencia. Teniendo en cuenta los problemas relacionados con la comunicación de los temas técnicos a la comunidad en general, este grupo produce en 2008 un documento sobre la presentación de la información cartográfica de ruido para el público [WG-AEN 2008].

En 2008, los grupos de trabajo, entonces agrupados por la Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA), se fusionaron en el Panel de Expertos en Ruido (EPoN), que trabaja hasta el día de hoy. Los más recientes resultados de este grupo son la Guía de buenas prácticas sobre la exposición al ruido y posibles efectos en la salud, publicados en 2010 [EC 2010] y la Guía de buenas prácticas para las zonas tranquilas, emitida en 2014 [EEA 2014a].

Las prácticas en los distintos países y las recomendaciones de los WG indican que los mapas de ruido y la planificación de acciones deben ir de la mano, ya que las acciones se definen de acuerdo a los diagnósticos (a través de los mapas), que revelan no sólo las situaciones existentes, sino también los escenarios futuros (pronóstico).

La EEA ha creado recientemente el Observatorio del Ruido y el Servicio de Información para Europa (por sus siglas NOISE), que es una base de datos en línea [NOISE 2014], para la exposición al ruido de la población Europea. Esta base de datos tiene como objetivo ofrecer una primera visión global del ruido en el continente. Aunque los datos son aún incompletos, los resultados para 2014 revelan que:

- cerca de 125 millones de europeos (más del 30% de la población total), están expuestos a niveles de ruido de tráfico que exceden los $55 L_{den}$ dB(A);
- alrededor de 37 millones de europeos están expuestos a niveles que superan los $65 L_{den}$ dB(A);
- aproximadamente 14 millones de europeos están expuestos a niveles de ruido ferroviario que exceden los $55 L_{den}$ dB(A).

El trabajo de gestión medioambiental europea sobre el ruido se orientó hacia un marco jurídico basado en una directiva (END), que significa que todos los países sigan procedimientos similares pero, a través de la transposición a su propio sistema jurídico, pueden introducir variaciones locales menores. Además, todo esto respaldado por el trabajo de asesoría de un importante cuerpo técnico de expertos de todos los países que garantice que las decisiones consensuales pueden ser satisfechas sobre una base técnica y científica fundamentada.

7.1.2. Situación actual

7.1.2.1. Cuestiones prácticas

Hasta ahora en Europa, dos rondas de mapas de ruido y de planes de acción han pasado (con resultados informados en 2007/2008 y 2012/2013), con la siguiente ronda prevista para 2017 (mapas de ruido) y 2018 (planes de acción). Es decir, aunque varios años han pasado desde la publicación de la END, existen diferentes puntos de vista que pueden ser considerados en su implementación. Europa es una zona muy heterogénea, con muy diferentes tipos de gobiernos nacionales. Por lo tanto, los distintos países han adoptado diferentes estrategias sobre temas de aplicación práctica, en particular sobre las responsabilidades financieras o técnicas.

En la mayoría de los casos, los mapas de ruido han sido desarrollados por las autoridades locales de cada aglomeración y las autoridades de transporte. En el Reino Unido, sin embargo, el esfuerzo de elaborar los mapas de ruido se llevó a cabo en todo el territorio por el Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales (DEFRA). Aunque esto parece interesante en el sentido de que la carga financiera asociada con la cartografía del ruido a gran escala no fue asumida por los presupuestos de las autoridades locales, algunas controversias aparecieron más tarde, al diseñar los planes de acción ya que ninguna responsabilidad se había asociado a las autoridades locales en la etapa de los mapas de ruido. En Grecia, por otro lado, si bien los mapas de ruido se llevaron a cabo en el marco de un proyecto nacional, se garantizó la participación de las ciudades. En otros casos, las políticas de acción contra el ruido se elaboraron a nivel regional, como en los casos de Alemania y de Gales. Aunque esta política no reduce las responsabilidades de los gobiernos locales, las estrategias se definen en una escala más grande que puede ser interesante, especialmente cuando el ruido es producido principalmente por el transporte y un gran número de partes interesadas han de ser reunidos alrededor de la mesa (al menos en la etapa de consulta pública).

Un gran número de redes europeas de discusión y proyectos de investigación y desarrollo en la materia de ruido de transporte, métodos de cálculo del ruido, medidas de reducción del ruido, o sobre la acústica urbana se han puesto en marcha para discutir asuntos técnicos, para estudiar y desarrollar soluciones innovadoras comunes, o simplemente difundir los resultados y la información en Europa. Este tipo de proyectos, tales como la redes CALM (entre 2001-2004), SILVIA (Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control, 2002-2005), INQUEST (Information Network on Quiet European Road Surface Technology, 2006-2008), SILENCE (Quieter Surface Transport in Urban Areas, 2006-2008), QCITY (Quiet City Transport, 2005-2009), HUSH (Harmonization of Urban noise reduction Strategies for Homogeneous action plans, 2010-2012), QUADMAP (Quiet Areas Definition and Management in Action Plans, 2011-2015), varias redes COST (European Cooperation in Science and Technology), reunieron científicos y profesionales, instituciones académicas e industriales, autoridades y otras partes interesadas, ayudando a difundir el conocimiento y calibrar las diferentes estrategias técnicas en los diferentes países. No obstante, estas ventajas se vieron empañadas por algunos problemas debidos a la mala difusión general de los resultados o por cuestiones de derechos, dado el formato de la financiación de los proyectos, cuando se trataba de empresas privadas. Sin embargo, la comunicación entre la comunidad científica y la discusión de los resultados en foros internacionales resultaron altamente beneficiosos, dando lugar a importantes avances tecnológicos.

7.1.2.2. Políticas

Claramente, la necesidad de los planes de reducción del ruido se desprende de los datos sobre el ruido en Europa (página web NOISE [NOISE 2014]). Las acciones necesarias, sin embargo superan las simples medidas de reducción de ruido y control, requiriéndose estrategias más generales y orientadas a las fuentes.

Muchos de los proyectos de financiación Europea involucraron ya sea a técnicos en urbanismo o al gobierno local como partes interesadas. Esto permitió la discusión de las buenas prácticas, la difusión de soluciones y resultados eficientes, y la discusión de cuestiones prácticas como la relación costo-beneficio y los problemas operacionales.

La mayoría de los funcionarios de alto nivel de las ciudades (tanto técnicos como políticos), han descubierto que la creciente preocupación ambiental de los ciudadanos y las demandas para una mayor calidad de vida en las ciudades pueden ser utilizadas políticamente. Así, las decisiones sobre la mejora del entorno acústico ahora son hechas no sólo por las motivaciones técnicas, sino también por los mecanismos del sistema electoral local. Esta estrategia ha sido un tanto forzada por la Comisión Europea para considerar también otros problemas de contaminación ambiental.

En 2008, el sistema de premios europeos de ciudades verdes (European Green City Award, 2014), fue lanzado en Europa para las ciudades más grandes (inicialmente por encima de 250.000 habitantes y, más recientemente, para todas aquellas mayores a 100.000). La primera ciudad en recibir la mención de Capital Verde Europea fue Estocolmo, Suecia, en 2010, seguida de Hamburgo, Alemania (2011), Vitoria-Gasteiz, España (2012), Nantes (2013), Copenhague, Dinamarca (2104), y Bristol, Reino Unido (2015). Un panel internacional de expertos fue creado por la Comunidad Europea los cuales analizaron diferentes indicadores ambientales. Los criterios de desempeño (que eran públicos), en relación con el indicador de calidad de ruido/acústica, incluyen 1) el nivel de diagnóstico (mediciones, mapas de ruido, estadísticas acústicas), 2) las acciones (a corto y largo plazo) dirigidas tanto a la reducción de ruido y a la buena percepción del ambiente acústico por los ciudadanos, y 3) el esfuerzo financiero real dirigido a dichos planes. Este premio, de alto reconocimiento en Europa y que tiene todos los años un gran número de ciudades concursantes, alienta a los distintos ayuntamientos para desarrollar su política ambiental y para desear ser vistos como modelos por sus estrategias urbanas ambientales, donde el componente acústico es una parte importante.

7.1.3. Las infraestructuras de transporte

Aunque en Europa los mapas de ruido y los planes de acción deben llevarse a cabo tanto para grandes infraestructuras de transporte como para las ciudades, la interacción y el intercambio de información es muy necesario, ya que en algunos casos la población expuesta al ruido de las carreteras o aeropuertos vive en ciudades.

Así, por ejemplo, la Guía de Buenas Prácticas para el Mapeo de Ruido, emitido por la Agencia del Medio Ambiente de Portugal, establece que el intercambio de información entre los organismos de respuesta (autoridades locales o autoridades de transporte), es obligatorio.

Se establece que las autoridades locales no son responsables de las acciones relacionadas con las principales infraestructuras de transporte que cruzan sus territorios, pero todas las políticas deben ser coherentes.

7.1.3.1. Carreteras

El ruido del tráfico por carretera es una de las principales fuentes de ruido en las ciudades. El ruido proviene no sólo de las autopistas, sino también de la conexión del tránsito en las carreteras secundarias y calles locales de acceso. Sin embargo, el impacto del ruido de las carreteras principales se siente sobre todo en campo abierto en las aglomeraciones situadas en las cercanías.

Se han realizado importantes investigaciones sobre las superficies de rodado de bajo ruido. En los países del Norte de Europa, la atención se ha centrado principalmente en el desarrollo de superficies porosas, mientras que en la parte Sur de Europa se está realizando un gran trabajo de investigación sobre el asfalto en base a caucho modificado. Esto está relacionado, posiblemente, con el clima local ya que el asfalto poroso requiere un programa regular de limpieza, que puede ser realizado naturalmente por las frecuentes lluvias, para garantizar las características de absorción sonora adecuada. En Portugal, el uso de asfalto en base a caucho modificado es ahora un requisito obligatorio para proyectos de carreteras cuando el ruido es un problema. Esto tiene una ventaja adicional en la utilización de caucho de neumáticos reciclados. Francia e Italia también han utilizado ampliamente esta solución para fines de atenuación del ruido.

Las barreras de ruido también se han utilizado ampliamente, especialmente en campo abierto o en secciones específicas de carreteras suburbanas. A pesar de que se han empleado mucho desde la década de 1980, especialmente como recomendación de los Estudios de Impacto Ambiental, algunos temas relativos al impacto visual, la aceptación por parte de la población e incluso los costos, ha llevado a la búsqueda de soluciones más eficaces y consensuadas. Recientemente, las barreras de ruido se han utilizado en un contexto más amplio, combinando los conceptos de paisaje urbano, así como con la conservación de la energía, mediante el uso de superficies con paneles solares, cuando sea posible.

7.1.3.2. Ferrocarriles

El ruido ferroviario es uno de los principales problemas en Europa, especialmente en relación con los trenes de carga y los trenes de alta velocidad. El continente es atravesado por una serie de líneas transnacionales donde el tráfico de mercancías y pasajeros es bastante alto. Por esto, una gran cantidad de trabajo se ha dirigido al desarrollo de soluciones para reducir el ruido, ya que se reconoce como un sistema de transporte eficiente energéticamente, tanto para propósitos nacionales como internacionales.

Algunos intensos programas de investigación se establecieron para estudiar los sistemas de frenos, ruedas, rieles y otros dispositivos y mecanismos responsables de la emisión de ruido. Materiales y dispositivos aislantes de la vibración se han desarrollado para su aplicación en zonas urbanas y suburbanas, en los alrededores de las estaciones, e incluso en campo abierto cerca de territorios sensibles al ruido.

En todos los países, los planes de acción para los trenes comprenden acciones similares en relación con la reducción del ruido en la fuente, uso de barreras acústicas o en algunos casos, el refuerzo del aislamiento acústico de las fachadas.

7.1.3.2. Aeropuertos

El ruido relacionado con los aeropuertos es tal vez el problema de ruido más grave en Europa. Se entiende que no existe lugar en Europa donde no se puede oír un avión. Algunos aeropuertos tienen dimensiones muy grandes, ya que no sólo son centros de operaciones para Europa, sino también para la circulación aérea transcontinental.

El Reino Unido es el país con el mayor número de aeropuertos, siendo Heathrow uno de los más grandes del mundo. Esto representa una carga importante no sólo en la calidad del entorno acústico en un área muy extensa, sobre todo en Londres y otros municipios del sur de Londres, sino también en términos financieros para implementar acciones capaces de limitar y reducir el ruido.

El aeropuerto de Schiphol en Holanda es otro gran centro de transporte aéreo Europeo, en el cual el ruido afecta a una zona amplia del país y donde las quejas de los residentes son numerosas, aunque en un número cada vez menor con los años. De hecho, un esfuerzo importante se ha llevado a cabo por la autoridad aeroportuaria, junto con la Agencia del Medio Ambiente holandesa para limitar la exposición de la población al ruido, sobre todo de noche. Es interesante notar, sin embargo, que la mayor parte del éxito de las acciones de control de ruido en aeropuertos es consecuencia directa de los avances tecnológicos incorporados en las nuevas generaciones de aviones.

La mayoría de los aeropuertos en Europa adoptan un toque de queda nocturno, por razones de ruido. Algunos cierran completamente sus operaciones entre la medianoche y las 06 am. En otros casos, como en el aeropuerto de Lisboa, se permite un número de vuelos cada año en función de la extensión de las curvas de ruido nocturno del año anterior, considerando los valores límites nocturnos.

Los planes de acción en aeropuertos también consideran medidas relativas a los movimientos y procedimientos aéreos, especialmente para el despegue y aterrizaje de los aviones. Por ejemplo, los perfiles de aeronaves para el aterrizaje considerando Aproximaciones de Descenso Continuo (CDA), o para despegues personalizados (dependiendo del peso del avión), pueden proporcionar una considerable reducción del ruido a una cierta distancia del aeropuerto, dentro de los límites de seguridad.

Las medidas en los aeropuertos están siempre limitadas por un criterio más importante: la seguridad. Sin embargo, para cada tipo de aeronave, la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO), publica una serie de perfiles de vuelo que se pueden adoptar con seguridad.

Otras medidas, como la inversión del empuje en el aterrizaje también están prohibidas por razones de ruido en muchos aeropuertos, lo que no tiene impacto en la operación o en los costos.

Los aeropuertos tienen otras actividades relacionadas con los aviones tales como la reparación, mantenimiento, o el rodaje, durante las cuales el ruido puede afectar a las comunidades locales. Estas actividades también están cubiertas en los planes de acción en el caso de grandes aeropuertos.

En Europa, está siendo difícil encontrar lugares adecuados para las nuevas infraestructuras aeroportuarias, donde todas las características de seguridad y funcionamiento se puedan garantizar, así como lo suficientemente lejos de las comunidades con el fin de evitar que la contaminación del aire y, sobre todo, la contaminación acústica. De esta manera, la mayoría de las nuevas instalaciones aeroportuarias civiles han sido construidas o desarrolladas en instalaciones militares desactivadas o menos utilizadas.

7.1.4. Las ciudades

Para diciembre de 2014, la información de los planes de acción está disponible para un 40% de las ciudades europeas, las cuales reportaron datos a la Agencia Europea del Medio Ambiente en las fechas designadas en el END. Las acciones que se refieren a la utilización del suelo y la planificación urbana son las predominantes, constituyendo el 23% de todos los planes de acción relacionados con las aglomeraciones. Estos planes son seguidos por las medidas relacionadas con la gestión del tránsito (20%) y otras acciones (17%). Este último grupo incluye algunas medidas relacionadas con el aumento de la conciencia pública, evitar la generación de tránsito adicional, la promoción del transporte público, y el fomento de la bicicleta y caminar. Esta distribución de los tipos de medidas adoptadas, no sólo destaca la importancia dada por los ayuntamientos al ruido de tránsito y transporte, sino también a la respuesta a las quejas de los ciudadanos en relación con el ruido.

Una de las políticas más importantes de la política de medio ambiente de las ciudades es la gestión de quejas, con objeto de entender plenamente las preocupaciones reales de los ciudadanos y de su punto de vista sobre la calidad del medio ambiente que perciben. Al respecto, se aprecia que los problemas de ruido y movilidad son el núcleo de la mayoría de las quejas en toda Europa. Además, el ambiente acústico en las ciudades es más afectado por el ruido de los sistemas de transporte. El ruido de la construcción, el ruido de las actividades de ocio, y otras fuentes de molestia también pueden contribuir a los niveles globales de ruido, los cuales pueden ser muy perjudiciales para la calidad de vida percibida por los ciudadanos. Las políticas estratégicas suelen implicar a los actores más relevantes, es decir, los residentes, empresas de transporte, vida nocturna y asociaciones de restaurantes, no sólo para escucharlos sino también para que sean responsables de algunas de las acciones y su aplicación.

De esta manera, los planes de acción generalmente tienen un fuerte enfoque en el ruido del transporte. La gestión del transporte suele ser una parte relevante del plan, a pesar que se han reportado algunas dificultades de comunicación entre las instituciones asociadas al medio ambiente, a la planificación, y a la movilidad dentro de los ayuntamientos. Enormes habilidades para gestionar la movilidad dentro de los equipos de los ayuntamientos responsables de la creación y aplicación de los planes de acción han sido reportadas como fundamentales.

Dado que el tránsito por carretera es un problema importante, se ha adoptado medidas respecto a las reducciones de velocidad y en la mayoría de las ciudades se han creado zonas de baja velocidad (40, 30 y hasta 20 km/h en algunas zonas), dentro y cerca de zonas residenciales. En algunas zonas céntricas y zonas históricas, se han creado estrictas limitaciones de tránsito (con acceso limitado a los residentes solamente, o sólo durante algunas horas del día, o sólo para vehículos específicos), con fines de reducción del ruido. Sin embargo, cuando existen, estas medidas no siempre son bien recibidas por comerciantes locales ya que temen una disminución de las actividades económicas. Por ejemplo, en Nápoles, un fuerte movimiento en contra de esas medidas por parte de los propietarios de tiendas locales ocurrió en 2011. Pese a esto, el aumento de visitantes y negocios que siguieron una ligera corrección política dada por el consejo local, condujo a la aceptación e incluso a alabar la medida.

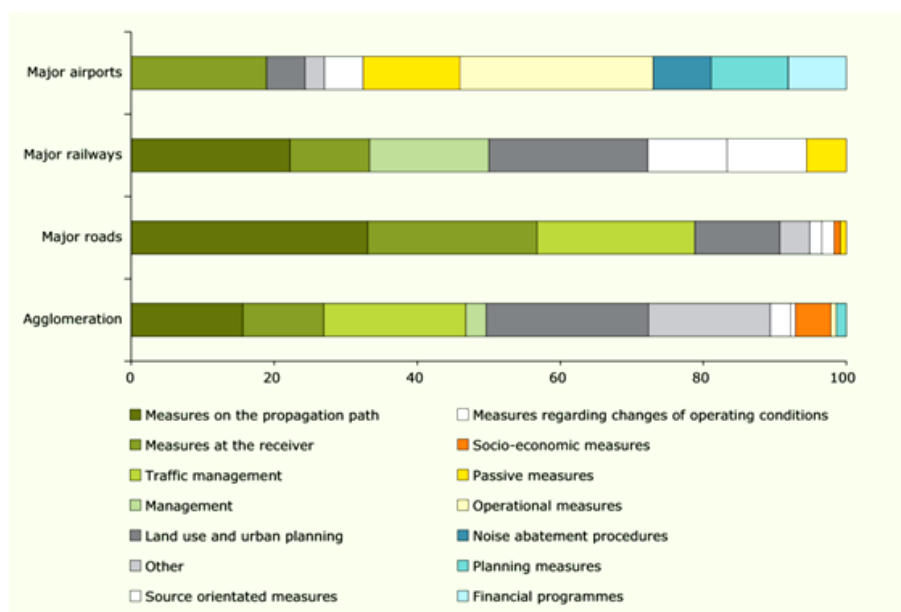


Fig. 95: Medidas de control del ruido utilizadas en Europa, respecto a cada tipo de fuente de ruido.

También han sido estimulados algunos medios alternativos de transporte en algunas ciudades, implementando ciclovías y la adopción de vehículos eléctricos. Hay una tendencia general hacia la aplicación de rutas de tranvía eléctricos, siendo la ciudad de Nantes, Francia, un ejemplo exitoso; o el uso de los autobuses eléctricos en las rutas normales, aunque esto es generalmente una política a largo plazo, debido a los costos involucrados en la sustitución de la flota de autobuses.

Los planes de acciones urbanas previstos en toda Europa se han centrado recientemente en la preservación de las zonas con una buena calidad del ambiente acústico y en la protección y la mejora de las zonas tranquilas. El END anima a los Estados miembros a establecer zonas tranquilas en sus territorios. Sin embargo, la definición de "zona tranquila" nunca ha sido consensuada, aunque la guía de buenas prácticas del EEA de 2014 presenta el estado del arte, según el cual "tranquila" se entiende en el contexto y no en términos de niveles de presión sonora.

El Plan de Acción de Dublín establece criterios para la definición de las zonas tranquilas urbanas, donde el tamaño, el uso y los niveles de ruido también durante el día (ya sea por debajo de 55 dB(A) o al menos inferior a 5 dB(A) que en sus alrededores), juegan un papel importante. Un concepto similar es seguido por el Plan de Londres. En esta ciudad, una encuesta de 2009 llevada a cabo en St. Dunstan en el East Church Garden, la gente dijo que "no se puede encontrar un lugar más tranquilo en Londres" y "es maravilloso estar aquí", aunque los niveles medidos de ruido fueron de 63,7 dB(A) en este parque.

En Almada, Portugal, las estrategias más recientes también se centraron en la creación de nuevas zonas peatonales y nuevas áreas tranquilas, en el desarrollo de parques urbanos existentes o la introducción de nuevas zonas verdes en el entorno urbano. Las zonas peatonales se suelen combinar con tránsito limitado o con calles de menor velocidad y movilidad (con ciclovías). En general, estas políticas tienen buena aceptación por parte de las poblaciones locales. En Tesalónica, Grecia, el plan de acción motivó una profunda remodelación del área céntrica, la cual se había degradado a lo largo de los años. El proyecto arquitectónico se integra con un estudio de paisaje sonoro, con el fin de

crear ambientes acústicos agradables en partes diferenciadas de acuerdo no sólo a su función, sino también a los usos actuales y futuros de los lugares.

Los planes de acción a gran escala en Europa siguen siendo una nueva área que parece estar dando resultados interesantes. Las medidas técnicas de atenuación del ruido se han complementado con una visión más amplia que incluye campañas públicas de educación y sensibilización sobre el ruido, la restauración de la planificación urbana enfocada en la calidad de vida de los ciudadanos, proporcionando lugares con mayor calidad acústica donde los ciudadanos puedan descansar y encontrar tranquilidad.

El tema financiero es otro asunto relevante. Aunque el final se requiere que los planes de acción sean revisados cada cinco años, algunas ciudades elaboran sus planes para un plazo más largo. De todas maneras, las medidas de corto y largo plazo se consideran siempre. Sin embargo, las agendas políticas vinculadas al calendario electoral de cada país a menudo entorpecen los planes más ambiciosos, afectando sugerir programas de implementación que tengan muy alto impacto.

7.2. Recomendaciones en gestión ambiental local en control de ruido.

7.2.1. Descripción General

A partir del análisis de los resultados del Estudio, se elabora una propuesta con directrices y lineamientos futuros recomendados, referente a la estrategia de la gestión local en control de ruido ambiental, incluyendo sus alcances y limitaciones. Estas propuestas estarán acordes a las facultades administrativas que posean los organismos con atribuciones sobre los territorios en estudio y en el ámbito de sus facultades, las que serán acompañadas de una articulación de los diferentes organismos que debieran participar para su correcta aplicación.

7.2.2. Alcances de la propuesta en gestión ambiental local en control de ruido

El presente estudio corresponde al quinto proyecto que financia el Ministerio del Medio Ambiente en la línea de Mapas de Ruido. En las versiones anteriores, por ejemplo, en las fases II, III y IV, se han solicitado sugerencias y análisis que puedan implementarse en gestión de ruido local.

En ese sentido, es relevante considerar, en particular, que en el presente proyecto sólo se ha modelado el tránsito vehicular (incluyendo trenes, cuando corresponde). Por lo tanto, a excepción de Valdivia (donde hay una encuesta de ruido aplicada), en esta fase no sería posible dar recomendaciones distintas a aquellas que corresponden a líneas generales y evidentemente comunes a las tres urbanizaciones.

Considerando las limitadas competencias que los municipios poseen sobre las principales vías (y las más ruidosas), como la Ruta 5, por ejemplo, no parece el enfoque más indicado para abordar la gestión en control de ruido. Es necesario, como se ha señalado en proyectos previos, abordar el problema desde los escenarios nacionales y regionales hacia los locales.

En este sentido, se sugiere reflexionar sobre la labor que está asociada a la elaboración de los mapas de ruido. En Chile, al igual que en el Reino Unido (consultar capítulo de experiencias en mapas de ruido), esta tarea se ha asumido centralizadamente: DEFRA en UK y el Ministerio del Medio Ambiente en Chile. La experiencia en el Reino Unido es que, si bien se ha coordinado de mejor manera la elaboración de los mapas de ruido a nivel nacional, al no estar involucrada (o interesada) la variable local (como por ejemplo, el municipio), estas cartografía son difícilmente incorporadas a la gestión ambiental local. En nuestro país la situación no parece distinta. Ante este riesgo, es necesario idear un mecanismo que permita comprometer la acción de los municipios y demás actores locales, en la gestión ambiental acústica, y trabajar, en este mismo sentido, los mapas de ruido. Lo anterior puede lograrse mediante varias vías, que deben analizarse con cautela. Por ejemplo, es posible mandar a los municipios que financien sus mapas de ruido, pero el costo asociado generará una resistencia que no será conveniente. Sin embargo, si se elaboran convenios con las instancias inmediatamente superiores, como el nivel regional (Intendencias y Secretarías Ministeriales correspondientes), permitiría canalizar mejor los recursos que hoy invierte el Ministerio del Medio Ambiente, e impulsaría una nueva forma de trabajar en coordinación con quienes intervienen en el control de ruido local: municipio, SERVIU, SEREMI de Vivienda y Urbanismo, SEREMI MOP, Dirección de Vialidad, etc.

Las experiencias en planes de acción (o el conjunto de propuestas en control de ruido ambiental), son muchas, pero de larga aplicación y evaluación al tratarse de medios de tránsito y transporte. Es por lo mismo que, aún en Europa, no es posible hablar de medidas obligatorias o prioritarias en esta materia. Existen buenas experiencias que se adaptan a la cultura, geografía, forma de vida, urbanismo y autoridades locales. Lo que tiene perfecta relación con la forma de entender el ruido como un contaminante de acción más localizada que otros componentes ambientales. Es por este motivo que se ha incluido al inicio de este capítulo un análisis de la experiencia europea en Planes de Acción.

Frente a esta realidad, se estima conveniente considerar, nuevamente, la estructura que se ha planteado en estudios previos en esta materia, y que se resume a continuación.

7.2.3. Lineamientos estratégicos para abordar el control del ruido en las ciudades

De acuerdo a lo indicado en la Estrategia para la Gestión del Control de Ruido Ambiental (2010 - 2014) [MMA 2011a] en nuestro país “hay una completa ausencia de información de los niveles de ruido presentes en las ciudades”, y una falta de conocimiento de cómo este contaminante se encuentra en las distintas áreas urbanas nacionales. En este escenario, los mapas de ruido son un instrumento que tiene varias potencialidades: identificar los niveles de ruido al interior de las ciudades, identificar las zonas que tienen mayor exposición, ayudan a la difusión de la presencia de este contaminante no visible y sirven como base para la adopción de medidas de gestión para disminuir sus niveles a través de medidas estructurales y no estructurales como lo son los instrumentos de planificación urbana.

Abordar el tema de la contaminación acústica en las ciudades requiere de una gestión integral e integrada. Integral pues requiere el reconocimiento de todas las fuentes relevantes existentes en las ciudades, e integrada ya que son muchos los actores públicos y privados relacionados con actividades contaminantes, y los instrumentos que permiten su control.

Abordar integral e integradamente también requiere distintas escalas de análisis y de gestión, por eso que se proponen tres niveles: el Nacional, el Regional o Intercomunal y el Local o Comunal [MMA 2011]. La descripción que se entrega corresponde al estudio Elaboración de Mapa de Ruido del Gran Santiago Mediante Software de Modelación [MMA 2011].

1. Nivel Nacional

Este es el nivel de la definición de Políticas, Normas y Estrategias respecto de cómo abordar este contaminante. Al respecto se sugiere seguir con lo indicado en la estrategia vigente respecto de ir generando los mapas de ruidos de los principales centros urbanos del país, de manera de tener claridad respecto de donde se encuentran las situaciones más conflictivas y más urgentes de abordar.

En este nivel los actores más relevantes son el Ministerio de Medio Ambiente, el Ministerio de Salud, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, el Ministerio de Obras Públicas y el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones.

Los temas más relevantes a emprender son:

- a) Definición del programa para la implementación de los mapas de ruido, partiendo desde los núcleos urbanos relevantes como las Capitales Regionales, en los cuales se pueden hacer análisis similares a los realizados en proyectos previos, y conocer una mirada de la situación país.
- b) Determinar la fuente de financiamiento para este programa, de manera de ser incorporado como una línea de acción relevante y permanente del Ministerio de Medio Ambiente.
- c) Definición de Planes de Acciones por ciudad, a partir de lo identificado en los mapas. De esta manera, debe cautelarse de generar inmediatamente lineamientos del tipo de Planes de Prevención o Descontaminación.
- d) Aprovechando la mesa técnica definida en la Estrategia vigente, se puede avanzar en la definición de los Términos de Referencia para la contratación de los Mapas de Ruido, de manera que este instrumento sea lo más integral e integrado posible.
- e) El Ministerio de Vivienda y Urbanismo debe abordar varios aspectos en materia normativa, pero también en la elaboración de los instrumentos de Planificación Urbana. Es conveniente que exista una definición de su parte para abordar el tema del ruido en la elaboración y en el análisis ambiental de sus Planes, y la realización o la incorporación de los mapas de ruido como parte del Diagnóstico.
- f) El Ministerio de Obras Públicas puede establecer indicaciones de diseño para aquellas infraestructuras que pueden ser concentradoras de emisión de ruido (carreteras, aeropuertos y otras) que se localicen en áreas urbanas. Debería avanzar en que se consideren los mapas de ruidos para diseñar medidas complementarias, como barreras de ruido u otras protecciones para evitar esa contaminación.

2. Nivel Regional o Intercomunal

Este es el nivel de ejecución de los Mapas de Ruido de ciudades que involucran varias comunas. Se requiere la participación activa de los mismos actores antes indicados, pero a nivel regional, es decir, los SEREMIS coordinados por la SEREMI y el Ministerio de Medio Ambiente, a quienes se suman los representantes de los Municipios, del Gobierno Regional y la SEREMI de Transporte. Ellos pueden conformar la Mesa de Gestión Regional para abordar la contaminación por ruido.

Las principales tareas a abordar son:

- a) Priorizar las ciudades en donde elaborar los mapas de ruido. Revisar y complementar los Términos de Referencia para su contratación,
- b) Definir fuentes de financiamiento regional, especialmente fondos FNDR para los estudios que podrían ser parte del Diagnóstico del Plan Regional de Ordenamiento Territorial, o de algún otro

- instrumento de Planificación Urbana (Plan Regional e Desarrollo Urbano, Plan Intercomunal o Plan Comunal).
- c) Proveer de información básica a los consultores que ejecuten el mapa de ruido (red vial, edificación, límite de manzanas, flujos viales, tipología de la red vial, etc.)
 - d) Ser contraparte en la revisión del estudio.
 - e) Elaborar un plan de gestión del ruido a partir de los resultados que entreguen los mapas de ruido.
 - f) Difundir los mapas de ruido en la ciudadanía, y la propuesta de gestión regional para disminuir el ruido. Como en todos los problemas ambientales, la educación e información de la ciudadanía juega un rol fundamental en la búsqueda de soluciones. Con mayor razón al considerar el carácter subjetivo asociado a la molestia por ruido. Para la contaminación acústica la información a la comunidad juega un papel protagónico, donde es el Estado quien debe proporcionar los datos confiables y las directrices que son las adecuadas para su control. Si el Estado no asume este rol, la información llegará por otras vías (vía Internet, por ejemplo, con cientos de grupos de ONG que combaten el ruido en muchos países del mundo), y la comunidad jugará un papel reactivo frente a la pasividad de las instituciones. Considerando que las soluciones son complejas y de largo plazo, es conveniente tomar la delantera en el tema, y marcar un rumbo claro en búsqueda de soluciones. Es necesario compartir con la comunidad los avances en los estudios que permiten conocer la realidad acústica ambiental que involucra a toda la sociedad día a día.

Las directrices que pudieran darse en este sentido, deberían incluir aspectos como, por ejemplo [25]:

- i. En la planificación de desarrollo urbano, se deberá considerar la influencia que los proyectos de infraestructura de transporte puedan generar por sus emisiones de ruido. Entre estos proyectos, se incluyen las vías de tráfico tales como: autopistas, autovías, vías expresas y troncales, líneas ferroviarias, aeropuertos (especialmente en el trazado de trayectorias aéreas de los aviones), y otros proyectos similares.
- ii. Se deberá privilegiar la creación de franjas de terreno de transición acústica, desde lugares menos sensibles al ruido a lugares más sensibles. Estas franjas tendrán el objetivo de proporcionar una protección acústica por medio de usos de suelo de sensibilidad intermedia al ruido, alejando las fuentes de ruido de áreas que requieren mayor protección.

Los lugares de menor sensibilidad están constituidos por proyectos de infraestructura de transporte, y aquellas zonas establecidas como Zona IV y III según el DS N°038/11 MMA. Es un lugar sensible aquel definido como Zona I del mismo decreto. Otros lugares sensibles se consideran aquellos con equipamiento de salud y educacional (como el análisis propuesto en el presente estudio para las tres conurbaciones).

El objeto de una franja de protección es delimitar los usos de suelo permitidos, los permisos de loteo y los permisos de edificación a aquellos lugares adyacentes a las vías de transporte (o sus trayectos), o que cuenten con fuentes fijas de ruidos molestos. En las franjas de transición deben cumplirse los requisitos necesarios para que exista compatibilidad acústica entre el ruido emitido por las vías (o en las trayectorias), fuentes de ruido y los receptores.

Deben evitarse lugares vecinos con grandes diferencias en cuanto a la protección y sensibilidad acústica entre ellos.

- iii. En todo proyecto de infraestructura que pueda generar ruidos a la comunidad, se deberá considerar la aptitud de uso residencial de los terrenos donde exista, o estén proyectadas, instalaciones de carácter habitacional. Particularmente, se cautelará cumplir con las exigencias establecidas en la Tabla 3 de la

NCh352/1 Of2000, Aislación acústica - Parte 1: Construcciones de uso habitacional - Requisitos mínimos y ensayos, referente al NED del lugar. Se velará por que no se supere el nivel correspondiente a la calificación de "apto con probable molestia" no sea superada para el uso habitacional en el exterior de las viviendas (65 dBA NED).

En caso de actividades calificadas como fuentes fijas u otras actividades o fuentes reguladas en forma particular, deben cumplirse los niveles y exigencias que en las respectivas normativas establezcan.

- iv. Con el fin de apoyar un apropiado desarrollo urbano de las ciudades de la Región, se deberá promover y asegurar la realización de estudios acústicos y de mapas de ruido que permitan incorporar la variable acústica en la planificación territorial y ambiental. El Gobierno Regional deberá garantizar que a más tardar tres años después de aprobado el presente Plan, se hayan elaborado y, en su caso, aprobado por las autoridades competentes mapas estratégicos de ruido, que son los instrumentos que permiten evaluar la exposición de las personas al ruido ambiental en una determinada zona. Estos mapas deben estar realizados sobre la situación del año anterior, correspondientes a todas las ciudades con más de {ej.: 100.000} habitantes y a todos los grandes ejes viales cuyo tráfico supere los {ej.: 8.000} vehículos por día, aeropuertos relevantes y ejes ferroviarios importantes presentes en su territorio.

El Gobierno Regional deberá garantizar que a más tardar cinco años después de aprobado el presente Plan, y después cada cinco años, se hayan elaborado y, en su caso, aprobado por las autoridades competentes mapas estratégicos de ruido sobre la situación del año anterior, correspondientes a todas las poblaciones urbanas y a todos los ejes viarios y ejes ferroviarios relevantes presentes en su territorio.

Los mapas estratégicos de ruido se revisarán, y en caso necesario se modificarán, al menos cada cinco años a partir de la fecha de su elaboración.

Los datos reflejados en los mapas de ruido elaborados, orientarán el desarrollo urbano en cuanto a la protección de las personas contra el ruido y sus efectos negativos, y también en privilegiar la creación de áreas más saludables y armónicas.

La información obtenida en cada mapa de ruido, así como las medidas de control de ruido ambiental destinadas a proteger la salud de las personas frente al ruido, deben ser publicadas y estar al alcance de la ciudadanía. Para tales efectos, el Gobierno Regional debe escoger los canales de información más adecuados, y velar porque la información sea clara, inteligible y fácilmente accesible.

3. Nivel comunal o local

En este nivel los actores principales son los municipios, quienes a partir de la información de los mapas de ruido de ciudades deben:

- a) Requerir análisis a escala más detallado, con estudio y cartografía más detallada, a escala que permita identificar situaciones locales de conflicto, tanto por su ubicación espacial, como por su existencia temporal (por ejemplo, "tacos" de automóviles en horas punta, obras de construcción, fuentes fijas de ruido, etc.)
- b) Serán los municipios los encargados de incorporar en el análisis y elaboración de los Planes Reguladores Comunales el análisis de la contaminación acústica a través de los mapas de ruido.
- c) Proponer medidas urbanísticas para evitar altos niveles de esta contaminación.

- d) Los municipios, apoyados por los actores indicados para el nivel regional, elaborarán un plan de medidas de prevención o descontaminación para aquellos municipios en donde los niveles de ruido detectados lo justifiquen.
- e) Es en este nivel en donde la difusión a la comunidad es aún más relevante, por la posibilidad de la efectividad de las medidas que deban ser previstas en esta materia. Las Instituciones públicas deben proporcionar los datos confiables y las directrices que son las adecuadas para su control del ruido ambiental. Tal como se ha señalado para el nivel regional, en consideración que las soluciones de control de ruido ambiental son complejas y de largo plazo, es conveniente que sea el Estado quien establezca las líneas de trabajo para la búsqueda de soluciones.
- f) Deben aplicarse encuestas a la comunidad que permitan complementar la información de los mapas de ruido y entreguen información relevante en la búsqueda de soluciones a los problemas ambientales. Así, a esta escala local es necesario implementar estudios frecuentes (incluso periódicos) que aporten con información de la percepción de las personas sobre el ruido ambiental, como por ejemplo: las molestias que ruido ambiental ocasiona, las fuentes de ruido más importantes, las actividades con son alteradas por la presencia de los niveles ruido, y la opinión sobre las medidas que sean posibles de implementar. Esta información orientará los planes de control de ruido que surjan a partir de los mapas de ruido, fortaleciendo su fundamento y facilitando su implementación.
- g) Les corresponderá fiscalizar que las acciones y proyectos que se ejecuten en el territorio estén de acuerdo a los instrumentos de planificación urbana (los que consideraran para su ejecución los mapas de ruido).

Esta mirada estratégica en distintos niveles implica no una visión rígida desde arriba hacia abajo, en donde el nivel nacional da la directriz para que los niveles regionales y comunales se guíen. Se requiere, al igual que en todos los procesos de planificación y gestión en el territorio, la complementación de las miradas nacionales, regionales y locales. Por esta razón son necesarios mecanismos de consultas, de entrega de información y de establecimiento de medidas integradas, ya que muchas veces las medidas propuestas están en instrumentos de planificación de mayor escala, o bien pudieran requerir normas superiores que no se pueden abordar en el nivel local o regional. Para asegurar esta integración se requiere de mecanismos formales de información a los distintos niveles de los resultados de los mapas de ruidos, e instancias de discusión y consulta al momento de elaborar los planes de acción.

7.2.4. Ejemplo de medidas de control de ruido ambiental local

En este apartado, se estima pertinente considerar, por ejemplo, el siguiente listado de actividades que se presumen molestas por realizarse en cierto horario y/o condición [MMA 2010]:

Tabla 79. Ejemplo de situaciones presuntamente molestas a incluir y regular en una ordenanza municipal de ruido.

| Prohibiciones y condiciones que definen la prohibición | Acciones Molestas y Fuentes de Ruido Específicas |
|--|--|
| Ruidos Molestos - Acciones | <ul style="list-style-type: none"> ○ generación de música ○ propaganda a viva voz ○ utilización de parlantes ○ extracción de desperdicios ○ empleo de cualquier equipo que produzca ruido |

| Prohibiciones y condiciones que definen la prohibición | Acciones Molestas y Fuentes de Ruido Específicas |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> ○ utilización de instrumentos musicales ○ actividad de canto ○ actividad de teatro o similar ○ acción de tipo deportiva, cultural, artística, religiosa |
| Ruidos Molestos - vehículos motorizados – zonas sensibles | <ul style="list-style-type: none"> ○ vehículos que producen sonidos molestos ○ utilización de escape libre, o sin silenciador ○ arrastre de piezas ○ golpes de la carga ○ carrocería en estado que genera ruido (defectuosa) ○ empleo de tolvas ○ realización de carga y descarga ○ realización de embalaje, apertura u otra manipulación de cajas, estanques y similares |
| Ruidos Molestos - con dispositivos de aviso | <ul style="list-style-type: none"> ○ empleo de alarmas sonoras ○ manejo de dispositivos de aviso que no tienen el carácter de emergencia ○ uso de sistemas de llamado ○ utilización de bocina |
| Ruidos Molestos - acciones - autorizados por escrito por la autoridad. | <ul style="list-style-type: none"> ○ actividad de construcción ○ actividad de demolición ○ actividad de excavación ○ actividad de extracción ○ instalación de faenas ○ funcionamiento de ferias de diversiones ○ actividad de fondas ○ funcionamiento de circos ○ eventos que utilicen sistemas de amplificación ○ utilización de explosivos ○ empleo de armas de fuego ○ uso de fuegos artificiales, petardos, cohetes ○ funcionamiento de ferias libres |
| Ruidos Molestos - lugares de descanso | <ul style="list-style-type: none"> ○ empleo de vehículos de carácter recreativo ○ uso de vehículos todo terreno ○ utilización de motos ○ acción de modelos a escala de vehículos motorizados ○ funcionamiento de equipos de amplificación |

Sería deseable que la ordenanza municipal contemplara el mecanismo de realización de las denuncias. A modo de ejemplo [MMA 2010]:

La recepción de una denuncia ante la municipalidad podrá iniciarse en forma personal, telefónica, fax o vía correo electrónico, y quedar registrados al menos los siguientes datos:

- a) *Individualización completa del denunciante.*
- b) *Identificación del presunto responsable: Dirección, y en lo posible, Razón Social, Nombre, Teléfono u otros datos que faciliten su comunicación.*
- c) *Fecha(s) y hora(s) en que ocurrió la molestia.*
- d) *Descripción de la actividad afectada, tipo de ruido, horas de ocurrencia.*

- e) *Declaración que proporcionará todas las facilidades necesarias para aplicar el procedimiento que corresponda a la denuncia que ha efectuado.*

Recibida una denuncia de estas características, la municipalidad la pondrá en conocimiento del denunciado, dentro de {15} días como máximo.

Por otro lado, es posible encontrar en la bibliografía, una serie de acciones sugeridas para la gestión ambiental en control de ruido. En la tabla siguiente hay un listado en tres ámbitos: medidas legales, medidas de ingeniería, y educación e información, lo que es una buena muestra de las acciones posibles en la materia.

Tabla 80. Actuaciones sugeridas para la gestión ambiental en control de ruido [SEA 2009].

| Tipo de medidas | Ejemplos |
|---|--|
| Medidas Legales | |
| Control de emisiones | Valores límites de emisión: <ul style="list-style-type: none"> ○ Automóviles, motos y ciclomotores ○ Equipos de construcción y de uso exterior ○ Plantas industriales |
| Control de la transmisión del sonido | Medidas de apantallamiento de ruido |
| Cartografía y zonificación acústica en el entorno de carreteras, ferrocarriles, aeropuertos, e industrias y aglomeraciones. | Programas de medida y modelización del ruido |
| Control de inmisiones | Limitación de los niveles de exposición: <ul style="list-style-type: none"> ○ Valores límite de inmisión nacionales ○ Campañas de medida y modelización ○ Regulación de situaciones complejas. Planes zonales. ○ Regulación de las actividades recreativas |
| Límites de velocidad | Áreas residenciales y zonas hospitalarias |
| Aplicación de normativas | Planes de acción preventivos y correctivos |
| Requerimientos acústicos mínimos a los edificios | Código técnico para el aislamiento acústico de edificios |
| Medidas de Ingeniería | |
| Reducción de emisiones por modificación de la fuente | Capas de rodadura silenciosas Perfil de los neumáticos Cambios en las propiedades de los motores |
| Aplicación de nuevas tecnologías (MTD's) | Vehículos Material ferroviario Aeronaves Maquinaria de construcción y uso en el exterior |
| Reducción de la transmisión | Encapsulamiento de maquinaria Apantallamiento acústico |
| Orientación de los edificios | Diseño y estructuración para usos tranquilos Uso de edificios para apantallamiento acústico |
| Gestión del tráfico rodado | Límites de velocidad Regulación por medios electrónicos |
| Protección pasiva | Aislamiento de viviendas Diseño de fachadas |

| Tipo de medidas | Ejemplos |
|---|---|
| Planificación territorial y urbanística | Zonificación acústica Separación de usos incompatibles Implantación de zonas de servidumbre acústica en el entorno de infraestructura de transporte Corredores by-pass para el tráfico pesado Protección de áreas tranquilas |
| Educación e Información | |
| Concienciación del público | Información al público sobre: <ul style="list-style-type: none"> ○ Efectos del ruido sobre la salud ○ Presentación de quejas ○ Niveles de exposición al ruido ○ Participación en los Planes de Acción |
| Elaboración de mapas de exposición al ruido | Publicación de los resultados |
| Formación de expertos en evaluación y gestión del ruido | Programas educativos en la Universidad y Escuelas |
| Potenciar programas de investigación y desarrollo | Generación de fondos de información sobre las necesidades de investigación científica |
| Potenciar cambios de comportamiento | Reducción de la velocidad de conducción Uso de bocinas Uso de altavoces para publicidad Uso de sirenas y alarmas |

Para este conjunto de acciones de gestión en control de ruido ambiental, es necesario incorporarles la perspectiva del marco nacional legislativo vigente, con el fin de analizar la viabilidad de incorporar tales estrategias de trabajo. Por ejemplo, en Chile la determinación de los límites de emisión ambiental están fuera del alcance municipal, por ser potestad del Ministerio del Medio Ambiente. Sin embargo, otras medidas pueden adaptarse a la realidad, interés y capacidad disponible en el municipio en esta materia [MMA 2010].

El ámbito más potente de acción del municipio está en la cercanía con la ciudadanía, pues habitualmente es la primera instancia de consulta o queja por parte de la comunidad. Así, toda acción educativa y mediadora, pueden ser las acciones más inmediatas y efectivas. Los ejemplos de la tabla 29 en educación e información son actuaciones al alcance del gobierno local, incluso aquellas que aparentemente pueden involucrar ámbitos ministeriales, como el caso de la educación. El municipio, a través de los colegios de su dependencia puede llevar a cabo campañas de información y formación a la comunidad escolar, crear pequeños fondos de investigación escolar concursables sobre el entorno sonoro en la ciudad, sus características y problemas.

Acciones sobre la planificación territorial, pueden considerarse como esfuerzos extremadamente efectivos a largo plazo. Tales acciones deben incorporarse a la discusión del diseño de ciudad y comuna que se quiere alcanzar. No es posible ni responsable indicar que debe disminuir el tránsito de autobuses por las calles de la comuna, ni menos que deba disminuir importantemente el tránsito vehicular en la misma. Las características de la comuna presentan desafíos más complejos, como diseñar el flujo vehicular de manera que disminuya su impacto ambiental hasta el mínimo, sin dejar de cumplir su función. Las medidas que típicamente son recomendadas a reducir el impacto del ruido de tránsito deben analizarse con mayor profundidad, caso a caso y según la proyección de la comuna: reducción de velocidad, adecuación de la carpeta de rodado según el tráfico, reducción del espacio destinado al vehículo (y más

espacio para el peatón), prohibición horario de acceso de vehículos ruidosos, regulación del tráfico, vehículos de servicio más silenciosos (recogida de basura, de vidrios, microbuses, reparto mercadería) [SEA 2009].

Será conveniente que el municipio pueda focalizar más acciones preventivas sobre las fuentes más denunciadas que califican como fuentes fijas, tales como las obras de construcción o actividad de templos religiosos.

El Ayuntamiento de Madrid cuenta con un Plan de Acción en Materia de Contaminación Acústica, aprobado en diciembre de 2009. Éste incluye en su Tomo III un interesante y completo “Catálogo de Soluciones” para resolver las situaciones problemáticas que pueden servir de muestra.

Tabla 81. Catálogo de soluciones del Plan de Acción en Materia de Contaminación Acústica [MADRID 2009].

| Línea de Actuación | Actuaciones |
|---|--|
| 1. Sensibilización y Educación Contra el Ruido Actuaciones | 1.1 Encuestas a los ciudadanos 1.2 Realización de campañas de comunicación y sensibilización 1.3 Instalación de monitores de información 1.4 Campañas educativas en colegios de primaria 1.5 Fomento de una conducción más silenciosa |
| 2. Movilidad Sostenible | 2.1 Promover medios de transporte más silenciosos 2.2 Renovación del parque automovilístico 2.3 Fomento del intercambio modal mediante aparcamientos disuasorios 2.4 Renovación de la flota de vehículos municipales 2.5 Acceso restringido a vehículos de transporte de mercancías 2.6 Redistribución de líneas de autobuses 2.7 Categorización de viales según su velocidad 2.8 Zona treinta en las proximidades de los edificios educativos y hospitalarios 2.9 Control de velocidad 2.10 Sustitución de superficies viales 2.11 Señales variables 2.12 Rotondas 2.13 Control del parque de vehículos y herramientas de limpieza 2.14 Controlar la emisión de vehículos privados 2.15 Alternativas de recogida de residuos 2.16 Instalación de puntos de carga eléctrica en los parkings 2.17 Protección de las áreas de influencia de las bases de vehículos de emergencia 2.18 Control acústico de la maquinaria empleada en obras en la vía pública |
| 3. Actuaciones de Control de Ruido Provocado por Ocio Nocturno | 3.1 Técnicos especializados en ruido 3.2 Potenciar las patrullas conjuntas 3.3 Mapa de ocio nocturno 3.4 Localización de zonas de conflicto por ocio nocturno 3.5 Medidas específicas de rehabilitación acústica en entornos saturados de ocio |
| 4. Actuaciones sobre el Paisaje Urbano | 4.1 Cambio en el eje de trayectoria de los viales 4.2 Ampliación de aceras mediante el estrechamiento de calzadas 4.3 Sustituir el adoquinado 4.4 Apantallamientos acústicos 4.5 Creación de un plan de aislamiento acústico |

| Línea de Actuación | Actuaciones |
|------------------------------|--|
| 5. Ordenación del Territorio | 5.1 Distribución de habitaciones compatible con el ruido 5.2 Ordenación estratégica de usos del suelo 5.3 Delimitación de zonas residenciales sensibles 5.4 Medidas especiales para la protección de espacios naturales |

Otro grupo de sugerencias a ser consideradas en materia de control de ruido ambiental a nivel local, se presenta en la tabla 30 un breve análisis de medidas que contribuyen a reducir los niveles de ruido en los puntos de conflicto según el proyecto SILENCE [SILENCE 2009]. Siguiendo la misma lógica que el presente proyecto y el documento referenciado, se identifican las medidas que podrían implementarse en el ámbito local. Otras medidas conocidas y que exceden el ámbito de acción de las autoridades locales (por ej. neumáticos silenciosos), no se incluyen.

Tabla 82. Análisis de medidas contra el ruido ambiental del Proyecto SILENCE [SILENCE 2009].

| Medida Contra el Ruido Proyecto SILENCE | Breve explicación de la medida |
|---|--|
| 1. Superficies viales de baja emisión | Disminuir el ruido de interacción neumático/carretera. Aquí los factores relevantes en la emisión acústica son la textura de la superficie, el patrón de textura, y el grado de porosidad de la estructura de la superficie. Se ha observado una reducción inicial del ruido de hasta 3 dB en relación con el hormigón de asfalto denso. |
| 2. Mantenimiento de las superficies viales | Las irregularidades y discontinuidades suponen una amenaza para el rendimiento de todas las viales en lo que respecta al ruido. Por eso es necesario siempre un buen mantenimiento, a fin de que el nivel de ruido sea el mínimo posible, sobre todo en puntos que se identifiquen más conflictivos. Por ejemplo, los antiguos badenes irregulares de adoquines rugosos o una serie de plataformas reductoras de velocidad (a 30 y 50 km/h) pueden reducir de 8 a 10 dBA. |
| 3. Rieles más silenciosos para los tranvías | El ruido de rodadura es la principal fuente emisora de ruido en los tranvías durante. Se ha comprobado que existen 'puntos conflictivos de ruido' cuando se usan vías en placa flotante para reducir la transmisión del ruido a los edificios próximos. La diferencia entre vías gravemente onduladas y vías uniformes es de hasta 20 dB. |
| 4. Depósitos de trenes y tranvías | El funcionamiento de un garaje genera diferentes tipos de ruido que causan distintos tipos de molestia. Pueden adoptarse medidas de distribución, como mantener las fuentes emisoras lejos de los vecinos y construir edificios alrededor del depósito para que actúen como barreras, y otras medidas en los procesos, como reducir el número de movimientos o buscar alternativas a las bocinas, y otras medidas asociadas a la conducta de los usuarios, como aplicar la potencia mínima en funcionamiento y en parada, o acelerar gradualmente. |
| 5. Túneles y pantallas acústicas | Las barreras o pantallas acústicas son un medio eficaz para reducir el ruido a lo largo de las carreteras o líneas de ferrocarril. La barrera debe tener una altura y longitud adecuada. La efectividad de una barrera puede llegar a 15 dBA, y en edificios cercanos a las carreteras la reducción puede alcanzar entre 5 a 10 dBA. Las barreras tienen problemas en su alto costo y la intervención visual que hacer del entorno. Los túneles también son alternativas que ciertos casos deben considerarse como una pantalla cerrada de la vía. |
| 6. Aislamiento de los edificios | La insonorización ventanas y paredes exteriores de un edificio, debe ser considerada la última opción de control de ruido ambiental. Las ventanas aisladas sólo reducen el ruido cuando están cerradas, y debe resolverse con un sistema de ventilación especial o fachadas de vidrio adicional con ventilación independiente. Actualmente se considera necesario cuando el sonido exterior supera los 55 dB durante el día y los 45 dB LAeq por la |

| Medida Contra el Ruido Proyecto SILENCE | Breve explicación de la medida |
|--|---|
| | noche. Las ventanas dobles pueden proporcionar unos 30 dBA y hasta 40 dBA de aislamiento. Los costos por vivienda son elevados. |
| 7. Tranvías y trenes más silenciosos | En comparación con los tranvías viejos (se puede considerar que la vida útil de los tranvías es de 30 años), los tranvías modernos generan aproximadamente 10 dB menos. Los costos son relevantes, pero pueden incorporarse en el momento de la renovación de los trenes. |
| 8. Renovación de la flota del transporte público | Los tranvías y autobuses modernos en general emiten mucho menos ruido que las unidades de parque móvil antiguo. Por tanto, la renovación de la flota puede contribuir en gran medida a la reducción del ruido. La idea es que al renovar las flotas, las autoridades establezcan acuerdos con los operadores de transporte e incluir criterios relativos al ruido en las licitaciones. |
| 9. Vehículos de recogida de basura más silenciosos | En muchas ciudades la recogida de basura se realiza por la noche o a primera hora de la mañana para reducir la congestión de tráfico, es decir, en horas de bajo ruido de fondo y mayor sensibilidad al ruido por parte de los vecinos. Se ha observado una reducción de hasta 25 dB(A) en vehículos que han adoptado medidas de reducción de ruido. |
| 10. Identificación de vehículos ruidosos | Los vehículos dotados de silenciadores ilegales pueden generar una emisión de ruido excesiva, sobre todo las motocicletas. Es necesario realizar controles en los talleres para reducir el impacto acústico. La reducción por este control en motocicletas es de 5 a 10 dB(A). |
| 11. Reparto de mercancías más silencioso en horario nocturno | Para evitar problemas de congestión, es posible que sea preferible realizar el reparto en horario nocturno. El uso de equipos de carga y descarga y vehículos de baja emisión, junto con la formación del personal, puede hacer que las operaciones se efectúen de una forma silenciosa y por tanto tolerable durante la noche. |
| 12. Gestión del tránsito: relaciones básicas ruido- tránsito | El cambio en el volumen de tránsito afecta a los niveles de ruido. Si los parámetros de composición del tránsito, velocidad y conducción permanecen invariables, el carácter logarítmico de la escala de dB implica que una reducción del 50% en el volumen de tránsito genera una reducción de 3 dB en los niveles de ruido. Sin embargo, la reducción del volumen de tránsito puede generar un aumento de la velocidad, por lo que se deben adoptar medidas complementarias. Otro factor relevante es la composición del tránsito. Un vehículo pesado puede generar un gran impacto en horario nocturno, por lo tanto la gestión de rutas y horarios también es relevante. Otros factores relevantes de considerar son la velocidad y el estilo de conducción. Por esto mismo, la gestión del tránsito debe verse como un proceso integrado y complejo, y no como medidas aisladas de reducción de flujo o velocidades. |
| 13. Reducción e imposición de los límites de velocidad | Las reducciones de velocidad por medio de señales varían de un sitio a otro, y por tanto los efectos sobre el ruido también variarán. Cabe esperar reducciones de hasta 3 dB LAeq. La imposición de estas medidas deben estar apropiadamente planificadas, de modo de buscar, además, el cumplimiento de las mismas. |
| 14. Badenes y plataformas | Un modo eficaz y muy común de reducir la velocidad, y por esto posiblemente los niveles de ruido, son las desviaciones verticales en forma de badenes o plataformas. Sin embargo, su diseño debe ser elegido con cuidado, de manera de no entorpecer el flujo vehicular, pues algunos conductores no se preocupan por la presencia de estos elementos, lo que generaría un aumento en el nivel de ruido. |
| 15. Chicanas | Entendidas por sinuosidades y curvas que permiten la reducción de la velocidad. También pueden ser generadas a partir de discontinuidades en el trazado de la calzada a través del |

| Medida Contra el Ruido Proyecto SILENCE | Breve explicación de la medida |
|---|--|
| | <p>ensanche de las aceras y área para el peatón o la incorporación de bandejones, jardineras, árboles, topes, luminaria, ciclo-vías y áreas de estacionamiento. Pueden ubicarse en uno o en ambos carriles. Los conductores tienen que frenar para comprobar el tránsito que viene antes de introducirse en el área de la chicana. Para este tipo de modificaciones es necesario estudiar todos los factores que intervienen en su eficacia y diseño. Cuanto más tránsito hay en la vía con este tipo de chicanas, con más frecuencia tendrán que acelerar y desacelerar los vehículos, lo que puede aumentar el nivel de ruido y el tipo de sonido transformándose en más perceptible y más molesto.</p> |
| 16. Rediseño del espacio de las calles | <p>Para los conductores, la claridad y dominio sobre el recorrido de una vía determina la seguridad y velocidad con que por ella se transita. Lo anterior tiene que ver por ejemplo con la posibilidad de supervisar una gran parte de la calle, la anchura de la misma, el espacio destinado a los distintos medios de transporte, etc. Algunas de las posibles medidas son el estrechamiento de los carriles destinando más espacio a los peatones, los ciclistas o el aparcamiento, la plantación de árboles para crear la sensación de calle estrecha, el estrechamiento de carriles en las intersecciones, carriles-bici y senderos para peatones, etc. Según el volumen de tránsito y su composición, habrá que calcular los niveles en cada caso antes de implementar ninguna medida.</p> |
| 17. Diseño de los cruces | <p>El diseño de un cruce (rotondas, intersecciones ordinarias con o sin semáforos) influye sobre las emisiones acústicas. Varios estudios indican que el efecto de sustituir intersecciones ordinarias con o sin señalización por rotondas. Las reducciones obtenidas en las rotondas en comparación con los cruces dependerán del tránsito y de la ubicación tanto del cruce como de la rotonda. Las mini-rotondas si tienen un diseño adecuado, pueden reducir el ruido como consecuencia de la disminución de la velocidad y de un estilo de conducción más constante. A partir de estos datos, parece que el ruido (LAeq) se puede reducir en un máximo de 4 dB.</p> |
| 18. Ondas verdes para aliviar el tránsito | <p>Las ondas verdes son definidas como aquellas vías en las cuales existe una secuencia de señales coordinadas en algunas intersecciones, para que el tráfico fluya en una dirección sin tener que detenerse en los semáforos rojos. Este hecho facilita una conducción más suave y por tanto, es probable también que las emisiones acústicas sean más bajas. Sin embargo, el potencial de esta medida depende mucho del estado de la red de carreteras locales y del diseño de los programas de onda verde vigentes. Así, los niveles LAeq pueden disminuir 4 dB en las intersecciones, pero también que pueden aumentar hasta 3 dB entre una intersección y otra como consecuencia del aumento de la velocidad y del incremento del flujo de tránsito.</p> |
| 19. Reducir el volumen de tránsito | <p>La reducción del volumen de tránsito puede contribuir a disminuir el ruido también. Sin embargo, es necesario reducir drásticamente el volumen de tránsito para obtener una reducción considerable del ruido (e.g. una reducción del 50% para que el ruido baje 3 dB). Por otro lado, es necesario analizar detenidamente que un peaje urbano, por ejemplo, y otras medidas para reducir el volumen de tránsito disminuyan los niveles de ruido si la reducción del flujo y congestión genera un aumento de la velocidad en los vehículos.</p> |
| 20. Prohibiciones sobre los camiones | <p>La prohibición de circulación de camiones (durante un horario definido, permitiendo únicamente la carga/descarga en horario matinal por ciertas carreteras o en zonas más amplias apenas influirá la mayoría de las veces en los niveles LAeq, pero probablemente reducirá el número de peak sonoros y por tanto las alteraciones en el sueño y la molestia de las personas que viven junto a las carreteras. Tanto los efectos por el día como los efectos</p> |

| Medida Contra el Ruido Proyecto SILENCE | Breve explicación de la medida |
|--|---|
| | por la noche dependen de las condiciones del tránsito local. En algunos países se prohíbe a los camiones circular de noche, y los muestran efectos sobre los niveles LAeq durante la noche (22.00-05.00) de hasta 7,2 dB. Otros estudios con modelaciones entregan resultados en reducción de 6 dB aproximadamente en los niveles Lden. |

7.2.5. Medidas especiales para Valdivia

En el caso de la ciudad de Valdivia, se pueden algunos elementos de análisis obtenidos a partir de la encuesta OnLine realizada en este proyecto.

Respecto a la opinión de la ciudadanía de Valdivia sobre las medidas de control de ruido ambiental y la prioridad que debe dar la autoridad a las medidas para controlar el ruido ambiental, el 60% manifiesta que la mayor prioridad la deben tener el proteger las áreas tranquilas y educar a las personas sobre los efectos del ruido, le siguen de mejorar el entorno sonoro de las áreas verdes y medir el ruido en la ciudad, seguido de mayor fiscalización, el prohibir la música en las calles es la alternativa que presentó la prioridad más baja.

Un análisis de esta opinión, acompañado de insumos como las denuncias por ruidos molesto en la ciudad, permitiría diseñar, por ejemplo una ordenanza municipal específicamente para Valdivia. Académicamente este ejercicio se ha realizado, y puede constituir un buen punto de partida [Pacheco 2013].

Capítulo 8.
APOORTE DEL SECTOR
TRANSPORTE AL RUIDO
URBANO DE UNA CIUDAD



8. APOORTE DEL SECTOR TRANSPORTE AL RUIDO AMBIENTAL DE UNA CIUDAD

Se realizó un análisis para definir las variables a considerar en la formulación de descriptores de ruido o indicadores específicos, que permitan entregar elemento para avanzar en evaluar el impacto ambiental del ruido generado por los sistemas de transporte en una conurbación (por ejemplo, usos de suelo, población impactada, tipo de transporte, percepción de la población, etc.); y puedan aportar a evaluar alternativas de modificación en los sistemas de transporte, a nivel de proyecto (por ejemplo, impacto ambiental, costo/efectividad, población y usos de suelo afectada (o) beneficiada(os), tipo de transporte, etc.)

Se analiza la problemática ruido-transporte-ciudad, y se proponen indicadores y líneas de trabajo que se requieran para lograr mejorar el desarrollo de éstos.

8.1. El ruido de transporte

La relación entre transporte y ruido urbano tiene básicamente dos componentes: a) la demanda de viajes que generan las actividades urbanas, localizadas en distintas ubicaciones geográficas, y b) la oferta de vías y medios de transporte que satisfacen dicha demanda.

En la medida que el crecimiento urbano incrementa las distancias de viaje, el transporte motorizado aumenta en forma de mayores flujos y mayores tiempos de viaje. Estos incrementos son mayores que el aumento de superficie urbana, por lo que la intensidad de transporte (vehículo-km per capita) y el número de fuentes por hectárea aumentan, generando mayores niveles de ruido.

El origen y destino de los viajes son edificaciones de distintos usos (habitacional, educacional, sanitarias, laborales, ocio, etc.), cuya localización en el territorio y la disponibilidad de vías determina los flujos. A su vez, la propia edificación bloquea la propagación de los sonidos, generando fuertes variaciones espaciales en las distintas fachadas.

El diseño urbano debe resolver el dilema siguiente: menores densidades que generan viajes más largos, es decir, menores niveles de ruido distribuidos en extensas áreas; o mayores densidades que generan flujos más concentrados, es decir, mayores niveles de ruido en menor área con más habitantes expuestos.

En cuanto a los espacios interiores de las edificaciones, la calidad y uso de su envolvente genera diferentes grados de protección frente al ruido del transporte exterior. Por lo tanto, una construcción adecuada puede mitigar los efectos del ruido generado por el transporte, al menos en el interior de los edificios. Este es un aspecto muy relevante al diseñar medidas de control de ruido ambiental.

Por otra parte, los hábitos horarios de la población determinan ciclos característicos de fluctuaciones en los niveles de ruido y en las necesidades de silencio. En resumen, la relación transporte-ruido es una interacción compleja, pero que está determinada por factores característicos de cada ciudad. Sin embargo, es posible realizar una planificación apropiada al decidir sobre nuevas edificaciones y/o nuevas vías, además de determinar las acciones para mitigar o revertir las situaciones existentes.

Las principales variables que es necesario conocer para entender la relación transporte-ruido son:

- a) Demanda de viajes: ubicación y densidad de población en uso residencial, puestos de trabajo, servicios, recreación, etc.
- b) Cantidad y distribución de viajes que pueden ser no motorizados
- c) Cantidad, distribución y ciclo horario de viajes motorizados
- d) Vías que soportan flujos importantes
- e) Velocidad y condiciones de los flujos
- f) Características de emisión de ruido de los distintos medios motorizados
- g) Topografía y materialidad del casco urbano y sus vías

Las decisiones que afecten a cualquiera de estas variables incidirán positiva o negativamente en la exposición al ruido urbano, en términos físicos, entendiéndose como exposición la presencia simultánea de personas y ruido en cada punto de la ciudad. Por lo tanto, si se espera a futuro evitar incrementos en los impactos del ruido urbano, así como reducir los actuales impactos excesivos, es necesario que exista una política de ruido que oriente la gestión de todas las acciones que incidan sobre dichas decisiones, ya sean del sector transporte como de otros sectores de la gestión pública. Dado que los cambios en los niveles de ruido ocurren en una escala de tiempo de varias décadas, es necesario que dicha política sea consistente y persistente para lograr evitar o revertir impactos a mediano y largo plazo.

En Europa existen políticas generales para toda la UE y políticas por países, algunas en aplicación por bastantes años. Los resultados han sido muy diversos, pero el seguimiento de las diferentes acciones en el extranjero nos permite optimizar los métodos e instrumentos de gestión. En Chile no existe aún en el formato de una política nacional oficial en gestión en control de ruido ambiental o un plan de gestión estratégica del ruido ambiental, pero se han elaborado diversos estudios que paulatinamente conforman una base de datos para confirmar en varias ciudades las características del ruido urbano que ya se han verificado en Santiago.

La falta de información suficiente y de una plataforma común de gestión de la información ambiental constituye una debilidad. Sin embargo, al mismo tiempo presenta una oportunidad, ya que la obtención sistemática de información histórica puede optimizarse en base a la experiencia positiva y negativa de otros países, y que permitirá centrar los recursos y fortalecer la utilidad de la base de datos.

En particular, se requiere definir una relación dosis-respuesta para el agente ruido de transporte, en sus distintas formas de exposición de la población, al menos, en uso residencial diurno, uso residencial nocturno, áreas verdes, uso educacional, uso sanitario, entre otros.

La determinación de la dosis implica definir rangos horarios, lo cual aún no se logra en Chile, ya que se mantienen los intervalos históricos de día y noche sin otra fundamentación que una decisión administrativa. Tampoco se ha definido un método estándar para evaluar la incidencia de ruido sobre fachadas, ni menos una estimación razonable de la atenuación exterior-interior que aportan las fachadas. Las grandes diferencias climáticas, topográficas y culturales a lo largo de Chile dificultan establecer un método único para definir los indicadores esenciales.

Todo lo anterior plantea un desafío a corto plazo para definir métodos de obtención y procesamiento de datos, considerando tanto la experiencia extranjera como las singularidades locales.

8.2. Necesidad de una métrica

Los resultados de observaciones, mediciones, censos y otras fuentes de información constituyen la base que permite cuantificar las evidencias de exposición al ruido de las personas. Esta información “dura” se combina con modelos, correcciones y proyecciones para estimar los indicadores de exposición al ruido, por ejemplo, el porcentaje de personas afectadas por diferentes niveles de ruido, para cada área urbana. Este proceso requiere una métrica bien definida, ya que su aplicación se utiliza para comparar diferentes áreas, diferentes grupos humanos, diferentes períodos de tiempo, etc. El resultado es la distribución de las fracciones expuestas a niveles en estratos de 5 ó 10 dB, como por ejemplo las principales conurbaciones de España y en Europa [Arana et al., 2014]

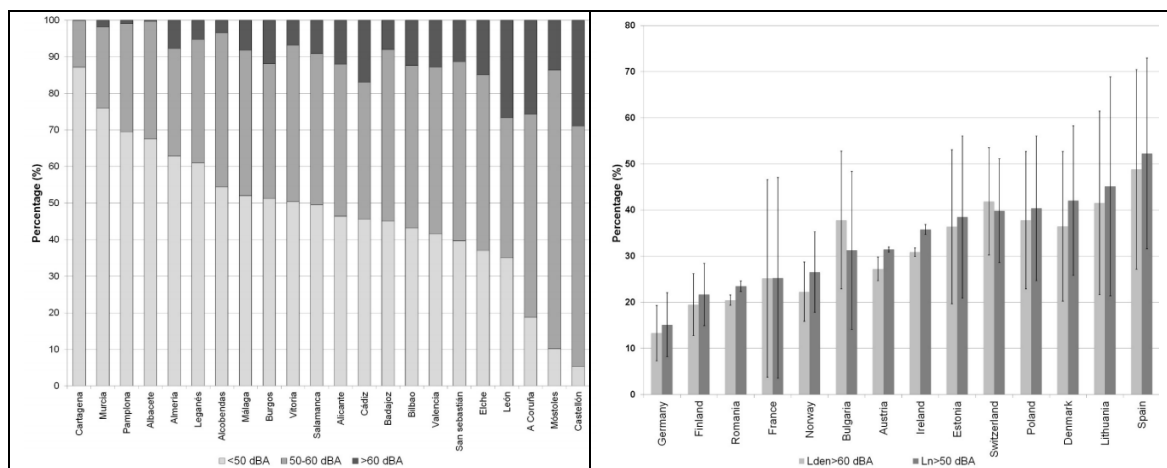


Fig. 96 Fracción expuesta vs LDEN para conurbaciones españolas y países europeos [Arana et al. 2014]

Este proceso de estimar la fracción expuesta a niveles de ruido no está exento de dificultades de métrica, ya que hasta la fecha existe discrepancia en los métodos, especialmente en los intervalos horarios día-noche, en la definición de fachadas expuestas y en la definición de las alturas de evaluación. Se ha reportado que existen insuficientes evidencias en los estudios dosis-efecto que el indicador L_{night} refleje correctamente la exposición nocturna. Probablemente al promediar un largo periodo de 8 horas se subestiman los efectos. Además, estas evidencias no toman en cuenta las diferencias entre la fachada más expuesta y la fachada de dormitorios. Propone investigar la relación entre los trastornos del sueño y L_{night} , incluyendo la pertinencia de usar otros indicadores como SEL, L_{peak} , L_{max} . [Milieu Ltd 2010]

Una vez conocida la exposición al ruido de una población, se requiere cuantificar los efectos en al menos 3 fases: a) dosis-respuesta, que mide la fracción de personas expuestas que evidencia una respuesta observable, b) los impactos agregados sobre el bienestar, la salud, productividad y otros y c) la valoración económica de dichos impactos.

Una cadena de modelos y datos que se requieren para analizar toda la información considera:

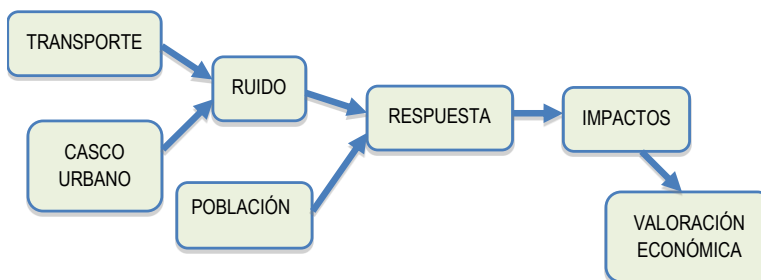


Fig. 97 Secuencia de información requerida para modelar cuantitativamente los impactos del ruido de transporte

Para determinar los impactos efectivamente percibidos por los habitantes urbanos es necesario evaluar los valores de la exposición física al ruido en términos subjetivos, a través de escalas o curvas de conversión que hayan sido obtenidas en condiciones (territorios, fuentes y usuarios) representativas localmente. Dichos impactos se pueden manifestar como diversos efectos epidemiológicos y económicos adversos, como por ejemplo:

1. Pérdidas de productividad debido a menor concentración o a fatiga por un descanso incompleto
2. Problemas de comunicación, aprendizaje más lento
3. Efectos sobre la salud por falta de sueño, estrés, enfermedades mentales
4. Problemas auditivos: hipoacusia, tinnitus
5. Depreciación de las propiedades
6. Abandono de espacios públicos (áreas verdes, por ejemplo)
7. Degradación del bienestar psicológico

En la medida que se disponga de información sobre la magnitud de estos impactos, será posible hacer evaluaciones cuantitativas de las acciones correctivas, inversiones urbanas o planes de desarrollo, en función de costos evitados. Es relevante el hecho que las acciones orientadas a disminuir los niveles de ruido, también generarán beneficios en otros impactos del transporte, tales como emisiones atmosféricas, accidentes, entre otros. Al mismo tiempo, algunos de los efectos del ruido como el estrés son causados también por otros agentes, por lo que su cuantificación debe ser correctamente estimada.

Por lo tanto, para disponer de una métrica consistente y robusta para evaluar los impactos del ruido, es necesario conocer, al menos, las siguientes relaciones:

1. Relación entre los niveles (dosis) de ruido y la respuesta subjetiva en las personas
2. Relación entre los niveles de ruido y los efectos en la salud de las personas
3. Valoración económica de los efectos negativos en función de los niveles de ruido

En general, los efectos auditivos del ruido en las personas se manejan en el campo de la salud ocupacional y se excluyen de los estudios urbanos. En el caso del presente análisis se adopta este criterio y se hace referencia sólo a los efectos no auditivos sobre la salud. Se excluyen también los efectos sobre el medio natural.

Como criterios ideales de una métrica, se pueden mencionar los siguientes:

1. Las fuentes de ruido y la condición de exposición están claramente definidas
2. Se conoce el número de personas expuestas a diferentes niveles

3. Los indicadores permiten comparación con otros agentes que generan los mismos efectos
4. La métrica es reconocida internacionalmente

8.3. Relación dosis-respuesta subjetiva

La forma de cuantificar la respuesta subjetiva ante el ruido es habitualmente mediante una curva que relaciona un indicador del nivel físico del ruido con el porcentaje de personas expuestas que manifiesta percibir el efecto negativo. De esta manera, los datos de nivel de ruido pueden convertirse a indicadores de impacto, expresados en número de personas que son afectadas y su distribución espacial.

Por ejemplo, las siguientes curvas relacionan el indicador físico L_{den} (Day-Evening-Night Level) con el porcentaje de personas que se manifiestan “molestas”, para diferentes medios de transporte, según el WG2 de la European Commission [EU 2002]. Las curvas punteadas corresponden al intervalo de confianza de 95%. Se observa que los impactos de diferentes fuentes son diferentes para los mismos niveles de ruido.

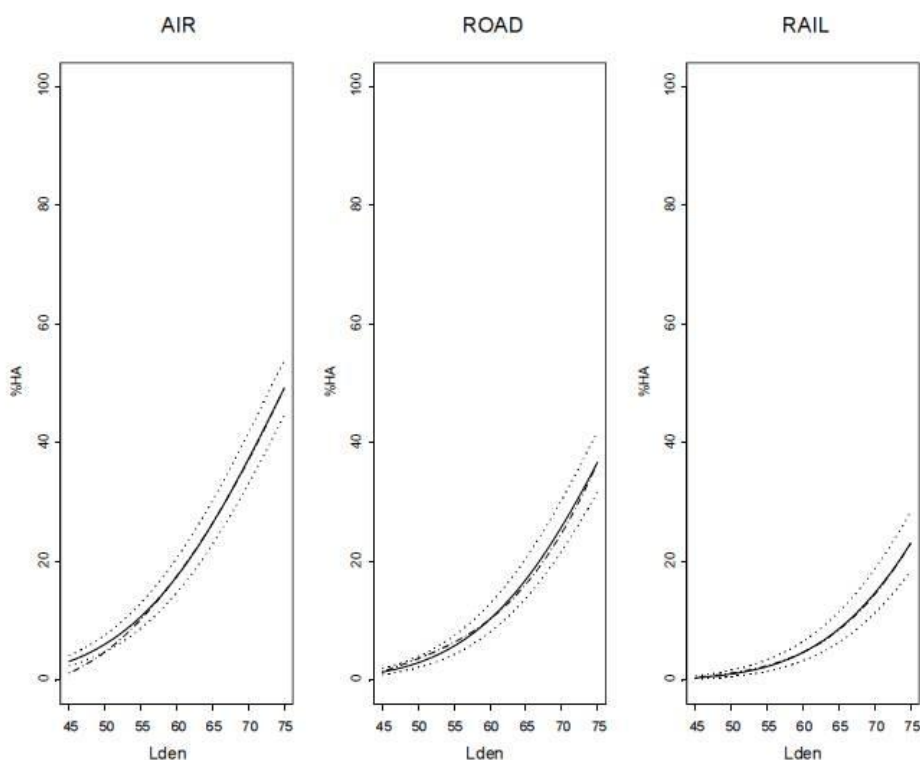


Fig. 98 Indicador L_{den} versus porcentaje de personas que se manifiestan [EU 2002]

De acuerdo a la EAA (European Environment Agency) [EEA 2010] para diferentes fuentes los porcentajes de personas “altamente molestas” difiere como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla. 83 Población altamente molesta según fuente, para rangos bajos de nivel de ruido [EEA 2010]

| Percentages of highly annoyed | | | | | |
|--------------------------------------|------|------|-----------------------------------|----------|-------------|
| L_{den} | Road | Rail | Aircraft (revised estimate) | Industry | Windturbine |
| 55 dB | 6 % | 4 % | 27 % | 5 % | 26 % |
| 50 dB | 4 % | 2 % | 18 % | 3 % | 13 % |
| 45 dB | 1 % | 0 % | 12 % | 1 % | 6 % |

Las diferencias significativas en los porcentajes de personas altamente molestas muestran que, a pesar de utilizar un indicador ampliamente reconocido con el L_{den} , persisten diferencias subjetivas debido al contenido espectral, variación temporal, significado u otras características particulares del ruido de cada fuente.

Se recomienda utilizar dos curvas base con umbrales de 37 y 42 dB para estimar las fracciones “molesta” y “altamente molesta” a partir de los indicadores de exposición [Miedema et al, 2001]. Las curvas que proponen quedan definidas por los polinomios siguientes:

$$\% \text{ molesta} = 1,795 \cdot 10^{-4} (L_{den} - 37) + 2,11 \cdot 10^{-2} (L_{den} - 37) + 0,5252 (L_{den} - 37)$$

$$\% \text{ altamente molesta} = 9,868 \cdot 10^{-4} (L_{den} - 42) - 1,436 \cdot 10^{-2} (L_{den} - 42) + 0,5118 (L_{den} - 42)$$

8.4. Relación ruido-efectos en la salud

La salud se define por la OMS como el estado de bienestar físico, mental y social y no meramente la ausencia de enfermedad. Se ilustra este concepto por [Babisch 2002], en una pirámide de efectos, algunos de los cuales son percibidos por las personas, pero otros implican factores de riesgo que no son percibidos hasta desarrollar síntomas clínicos que conducen a enfermedades o incluso la muerte.

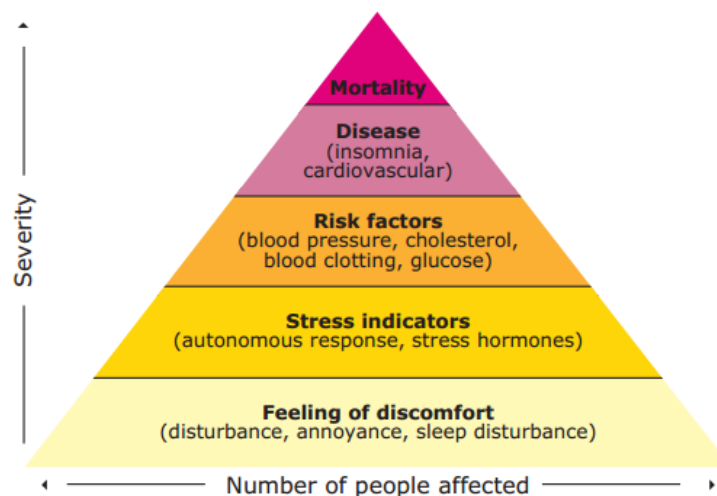


Fig. 99 Pirámide de efectos del ruido y relación severidad-población afectada [Babisch 2002]

Desde el punto de vista epidemiológico, la variable principal es el número de personas afectadas por cada categoría, por lo que disponer de información cuantitativa es primordial para la toma de decisiones estratégicas.

La EAA recomienda considerar los siguientes umbrales para los indicadores respectivos, a partir de los cuales se pueden esperar efectos adversos.

Tabla 84 Valores umbrales recomendados según efectos en la salud de las personas [EEA 2010]

| Effect | Dimension | Acoustic indicator * | Threshold ** | Time domain |
|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------|----------------|
| Annoyance, disturbance | Psychosocial, quality of life | L_{den} | 42 | Chronic |
| Self-reported sleep disturbance | Quality of life, somatic health | L_{night} | 42 | Chronic |
| Learning, memory | Performance | L_{eq} | 50 | Acute, chronic |
| Stress hormones | Stress Indicator | L_{max} L_{eq} | NA | Acute, chronic |
| Sleep (polysomnographic) | Arousal, motility, sleep quality | $L_{max, indoors}$ | 32 | Acute chronic |
| Reported awakening | Sleep | $SEL_{indoors}$ | 53 | Acute |
| Reported health | Wellbeing clinical health | L_{den} | 50 | Chronic |
| Hypertension | Physiology somatic health | L_{den} | 50 | Chronic |
| Ischaemic heart diseases | Clinical health | L_{den} | 60 | Chronic |

Cada uno de estos efectos está asociado a una curva probable de incremento con el nivel de ruido, la cual permite evaluar el impacto de diferentes exposiciones al ruido. Por ejemplo, la probabilidad de interrumpir el sueño se muestra en la curva siguiente [EEA 2010]. En este caso el indicador es $L_{AS,max}$ (nivel máximo, poderación A, integración Slow). La línea de segmentos indica la probabilidad basal sin ruido.

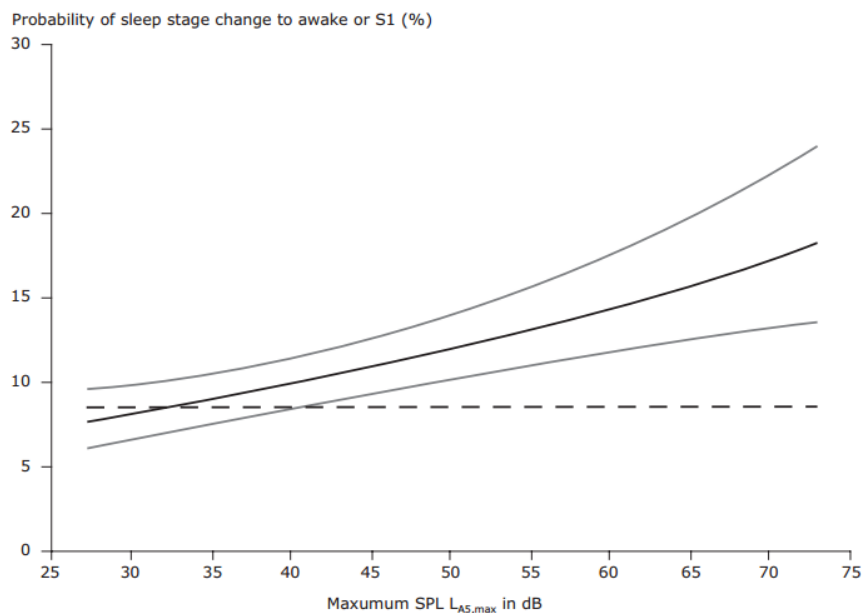


Fig. 100 Probabilidad de afectar el sueño en función de $L_{AS,max}$ [EEA 2010]

En orden a comparar diferentes efectos y/o diferentes agentes es necesario disponer de una métrica común. El indicador más utilizado especialmente en Europa y recomendado por la OMS, es el DALY (Disability Adjusted Life Years), que mide la carga de una enfermedad (burden disease) en una población dada, imputable a un cierto agente o contaminante.

El concepto de DALY se basa en la evidencia que el ruido (entre otros agentes) puede causar cierto grado de discapacidad a cierta edad y muerte prematura. Por lo tanto, este indicador reúne en conjunto los indicadores de morbilidad, de mortalidad y de esperanza de vida, que a su vez reflejan la variación de cantidad y calidad de vida causada por una enfermedad o trastorno en particular.

El valor en DALYs se define como la suma de años de potencial vida saludable perdidos debido a mortalidad prematura y los años de vida saludable perdidos por discapacidad. Es decir, 1 DALY equivale a la pérdida de 1 año de vida plena o a la pérdida de n años con capacidad disminuida en un factor, que no puede disfrutarse plenamente. El número de DALYs para cierta enfermedad o trastorno se calcula por la relación:

$$DALY = AB * D * S$$

en que:

AB (Carga atribuible) = AR (Riesgo atribuible) * P (Prevalencia) * F (Fracción expuesta),

D = Duración del estado alterado de salud

S = Severidad, que refleja la reducción de capacidad debido a la enfermedad, medido como un factor de ponderación (DW, disability weight) desde 0 (saludable) hasta 1 (muerte).

La carga atribuible es el número de personas que desarrolla la enfermedad o trastorno como resultado de la exposición al agente. Los valores de severidad se estiman por juicio experto de especialistas y están en el rango 0,01 a 0,12 para molestia y 0,04 a 0,10 para alteración del sueño.

Por ejemplo, respecto de las alteraciones severas del sueño, para 285 millones de habitantes de Europa que residen en ciudades de más de 50.000 habitantes, el análisis epidemiológico del impacto en DALYs se obtiene como sigue, para 3 posibles factores de severidad. [WHO 2011]

Tabla 85 Fracciones expuestas, personas afectadas y pérdidas en DALYs por alteraciones del sueño para diferentes rangos de L_{night} [WHO 2011]

| Exposure category L_{night} (dB(A)) | Percentage of population exposed ^a | Percentage of people highly sleep-disturbed ^b | Number of cases per million ^b | DALYs lost in the urban population ^c | | |
|---|---|--|--|---|-----------|-----------|
| | | | | DW = 0.04 | DW = 0.07 | DW = 0.10 |
| < 45 | 44 ^d | NA | NA | NA | NA | NA |
| 45–49 | 20 ^d | 4.5 | 8 906 | 101 526 | 177 670 | 253 814 |
| 50–54 | 20 | 6.6 | 13 266 | 151 230 | 264 652 | 378 074 |
| 55–59 | 10 | 9.6 | 9 556 | 108 937 | 190 640 | 272 342 |
| 60–64 | 5 | 13.2 | 6 611 | 75 365 | 131 888 | 188 412 |
| 65–69 | 1 | 17.6 | 1 763 | 20 099 | 35 174 | 50 248 |
| Total | 100 | | 40 102 | 457 156 | 800 023 | 1 142 890 |

Sobre la base de esta metodología, la OMS ha estimado que en Europa cada año se pierden por causa del ruido de tránsito al menos 1 millón de años de vida saludable, incluyendo 61.000 años por enfermedades cardíacas, 45.000 por pérdidas cognitivas de niños, 903.000 por alteración del sueño, 22.000 por tinnitus y 654.000 por molestia. [WHO 2011]

8.5. Valoración económica de los impactos

Para efectos de valorar económicamente los impactos del ruido, no existe una metodología única que sea común a los distintos países en que se aplica. De acuerdo a los recursos de información disponibles, en cada caso los distintos métodos presentan ventajas o desventajas. El método más usado es el de los precios hedónicos. También son frecuentes estudios utilizando el método de la valoración contingente y el método de costos evitados.

El método de precios hedónicos se utiliza para evaluar el valor monetario atribuido por el mercado a hogares expuestos a niveles de ruido exterior que causan molestia o perturbación del sueño. Hogares similares ubicados en vecindarios con diferente nivel de ruido tienen un valor comercial diferente, lo que puede ser observado independientemente de la percepción del usuario. El indicador utilizado es NSDI (Noise Sensitive Depreciation Index) que es el porcentaje del valor de la propiedad que se deprecia cuando el nivel de ruido exterior aumenta en 1 dB por sobre un nivel base de 50 dB. Existen numerosos estudios con muy diversos resultados, generalmente en el rango 0,2% a 1,5% por dB y un valor típico de 0,5%. Por ejemplo, el publicado por Belhaj y Fridell [Belhaj et al. 2007] que arroja los siguientes resultados.

Tabla 86 NSDI estimado por varios estudios en Europa [Belhaj et al. 2007]

| Source | Country | NSDI hedonist % of property price / dB |
|---------------------------|-------------|--|
| Vainio (1995) | Finland | 0.36 |
| Haolomo (1992) | | 0.98 |
| Weinberger et al (1991) | Germany | 0.5- 1.3 |
| Colins et al (1994) | UK | 0.65 - 1.28 |
| Bateman et al (1999) | UK | 0.20 |
| Soguel (1994) | Switzerland | 0.91 |
| Pommerehne (1988) | | 1.26 |
| Iten et al (1990) | | 0.9 |
| Saelensmunde et al (1994) | Norway | 0.24 - 0.54 |
| Lambert (1992) | France | 1.0 |

El método de valoración contingente evalúa, a juicio de los usuarios, su disposición a pagar un valor marginal (WTP) por residir en un hogar con menor exposición al ruido. Los indicadores que más se utilizan son el valor adicional por hogar por decibel y el valor adicional por persona molesta por decibel. Este indicador no incluye el costo social derivado de los efectos del ruido.

En Chile se ha aplicado, por ejemplo, por Sommerhoff [Sommerhoff, 2002]. De acuerdo a esta tesis, encuestados 473 hogares en la ciudad de Valdivia, la disposición a pagar para vivir en un sector silencioso se distribuye como sigue:

Tabla 87 Disposición de las personas a pagar para vivir en un sector silencioso [Sommerhoff 2002]

| CATEGORÍA | % total ciudadanos | % responden | UF/año |
|----------------------|--------------------|-------------|--------|
| No dispuesto a pagar | 19,5% | 25,5% | 0 |
| Paga 1% | 11,8% | 15,5% | 0,0732 |
| Paga 3% | 9,3% | 12,2% | 0,2304 |
| Paga 5% | 11,8% | 15,5% | 0,3816 |
| Paga 10% | 10,1% | 13,3% | 0,7680 |
| Paga 15% | 13,7% | 18,0% | 1,1496 |
| No sabe/No contesta | 23,7% | ---- | |
| TOTAL | 100% | 100% | |

En general, debiera obtenerse una curva creciente con el nivel de ruido, pero en algunos casos se puede utilizar un indicador fijo en caso de no disponer de encuestas locales, como por ejemplo, el recomendado por el Working Group HSEA 2003 de la Comisión Europea, que sugiere un valor por defecto de 25 Euros por decibel por hogar por año, para cualquier fuente en el rango 50 a 70 dBA. Este valor sería equivalente a una disposición a pagar de aprox. \$17.000.- en pesos chilenos por vivir en un lugar con nivel de ruido 1 dB menor, al tipo de cambio actual.

El método de los costos evitados evalúa el impacto como el costo de las medidas de mitigación necesarias para cumplir los estándares de calidad acústica locales. El indicador más utilizado es el COI (Cost Of Illness), que asigna costos para la sociedad en términos de mortalidad, morbilidad, gastos médicos, pérdida de productividad, entre otros. No considera costos no materiales de las personas, tales como el dolor, sufrimiento o menor calidad de vida. Un resumen comparativo de la valoración económica del ruido de tránsito en varios países europeos, con diferentes métodos, es resumido por Nijland and Van Wee [Nijland et al. 2008].

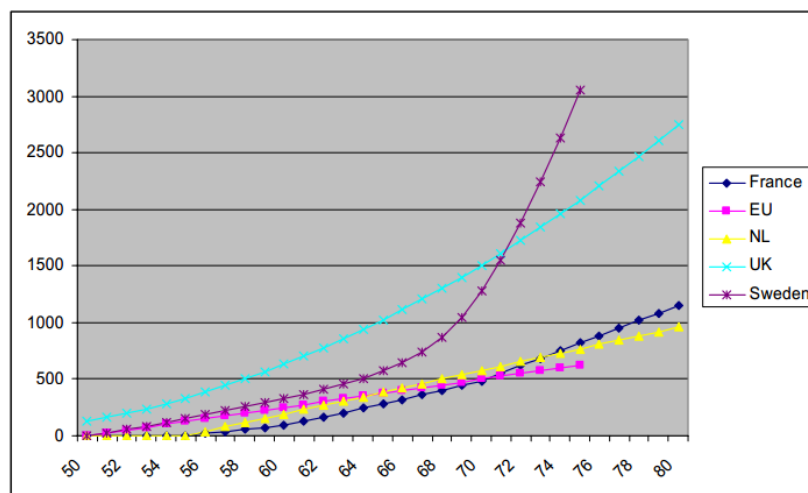


Fig. 101 Valor en Euros por nivel de ruido de tránsito por hogar para varios países europeos [Nijland et al. 2008]

A nivel país, es posible aplicar tanto métodos epidemiológicos como de valoración económica con el propósito de fundamentar prioridades y decisiones. A modo de ejemplo, se muestra un cuadro con la incidencia de algunos efectos del ruido y los costos/país-año asociados para el Reino Unido [DEFRA 2008].

Table 2: Health effects from noise (WHO 2008)

| Type of noise exposure | Impact | Proportion affected, per annum | Potential years of healthy life lost in Europe through noise-related death or disability (DALYs) ¹⁷ | Monetised UK Impact ¹⁸ (£ million per annum) |
|------------------------------|-----------------------------------|---|--|---|
| Daytime traffic | Heart disease | 3% of all heart disease cases across EU | 211,000 | £1,183 |
| Night-time background noise | Severe Sleep disturbance | 2% of all Europeans | No figure | No figure |
| 24-hour background noise | Severe Annoyance ¹⁹ | 15% of all Europeans | 278,000 | £1,571 |
| Traffic/leisure noise | Tinnitus (ringing in the ears) | 3% of all tinnitus cases (0.75% of all Europeans) | 9,300 | £52 |
| Daytime and night-time noise | Slower learning by children | 0.01% of all Europeans | 45,000 | £252 |
| Loud music | Hearing loss from 'leisure noise' | 1.8% of 7 to 19 year olds in Europe | 6,800 | £38 |

Fig 102 Algunos efectos del ruido y los costos/país-año asociados para el Reino Unido [DEFRA 2008]

8.6. Iniciativas relevantes

No cabe duda que la situación chilena requiere la mejor y más completa información para la toma de decisiones. En particular, observando el desarrollo de la normativa europea se concluye que ha sido extremadamente difícil armonizar las acciones y los métodos de análisis. La experiencia de muchos años elaborando y aplicando mapas de ruido ha conducido a que los actuales estudios se orientan a resolver la diversidad de métodos e indicadores de modo que los mapas de ruido puedan ser interpretados en forma robusta y flexible.

Para ilustrar este estado del arte, se mencionan 4 proyectos en curso relacionados con mapas de ruido: HUSH, QUADMAP, NADIA, HARMONICA. Estos proyectos comparten el objetivo de mapear los conglomerados urbanos y las principales vías de transporte en una forma homogénea, orientados a definir áreas críticas con particular atención a lugares sensibles. Sobre todo, las acciones de mitigación deben planificarse y diseñarse dentro de un plan innovativo que incluya la participación de la población y de los inversionistas.

El proyecto HUSH (Harmonization of Urban noise reduction Strategies for Homogeneous action plans) [HUSH 2015] parte de la evidencia que la armonización de las acciones de control de ruido es necesaria en todos los países que tenían legislaciones propias antes de la directiva END.

El proyecto NADIA (Noise Abatement Demonstrative and Innovative Actions and information to the public) [NADIA 2015] está enfocado en mapas de ruido e intenta demostrar la factibilidad técnica y económica de prácticas efectivas para reducir el ruido ambiental, involucrando a los inversionistas.

El proyecto QUADMAP (QUIet Areas Definition and Management in Action Plans) [QUADMAP 2012], se plantea como una solución para implementar una metodología armónica para seleccionar y evaluar zonas silenciosas, con el objeto de aumentar su usabilidad y satisfacción de los usuarios.

El Proyecto HARMONICA (HARMONised Noise Information for Citizens and Authorities) [HARMONICA 2013] se orienta a reforzar la asimilación de los temas del ambiente sonoro en el público en general y en las autoridades en particular, facilitando el acceso a información y las posibles acciones, armonizando métodos y medios para comparar diferentes territorios, por medio de un índice común fácilmente comprensible por el público.

El informe de la Comisión Europea (2011) plantea en su capítulo “Cuestiones que requieren mayor consideración” las siguientes recomendaciones para abordar una legislación sobre el ruido ambiental que sea efectiva y eficiente en toda la UE:

- a) Valores umbral u objetivo: Los Estados miembros han introducido enfoques y niveles de ambición muy diferentes, lo que impide una mayor convergencia hacia una igualdad de condiciones en el mercado interior y establece niveles de protección muy diferentes para los ciudadanos de la UE respecto de valores umbral, requisitos mínimos o recomendaciones de la UE en materia de ruido. Esos enfoques podrían servir de umbrales mínimos para impulsar la acción en este ámbito, pero no impediría que los Estados miembros fijaran requisitos más estrictos, si fuera necesario.
- b) Indicadores de ruido: Los Estados miembros están obligados a utilizar indicadores de ruido específicos L_{den} y L_{night} y a informar de la exposición de la población a un nivel de ruido igual o superior a 55 dB y 50 dB, respectivamente. No obstante, la notificación actual no tiene en cuenta que una parte considerable de la población de la UE está expuesta a niveles de contaminación acústica inferiores que, sin embargo, podrían ser nocivos para la salud. Según las últimas recomendaciones de la OMS, la gama de valores para la notificación del indicador L_{night} debería bajar a 40 dB para llevar a cabo una evaluación mucho más realista del impacto de la contaminación acústica en la UE.
- c) Control del cumplimiento: La Directiva no establece un régimen preciso de control del cumplimiento en el que los planes de acción estén directamente vinculados a las superaciones de los niveles de ruido y a posibles sanciones. Incluso en los casos en que los Estados miembros disponen de valores límite vinculantes a nivel nacional, la evaluación presentada con arreglo a los mapas de ruido muestra que los valores límite de ruido se superan con frecuencia sin consecuencias. Podría considerarse la posibilidad de clarificar los objetivos, el contenido y la ejecución de los planes de acción, teniendo en cuenta el respeto de los principios de subsidiariedad y proporcionalidad.
- d) Conceptos, requisitos y definiciones técnicas: Se ha señalado la posibilidad de introducir mejoras técnicas como, por ejemplo, la aclaración de las definiciones y las obligaciones relacionadas con las aglomeraciones, las zonas tranquilas, los grandes ejes viarios, el ruido industrial y los planes de acción. Además, sigue preocupando la cuestión de los puntos de medición, incluida la flexibilidad en cuanto a la altura de medición que ha provocado inquietud en algunos Estados miembros debido a las características específicas de sus estructuras de edificación. Por último, la presentación de los valores y resultados de la evaluación mejoraría con una mayor aclaración o armonización.
- e) Carga administrativa y adaptación de los aspectos jurídicos: El escaso margen de tiempo disponible entre la elaboración de los mapas estratégicos de ruido y la finalización de los planes de acción se considera uno de los principales obstáculos para la realización de una consulta pública adecuada.

Como ejemplo de una acción que puede tener gran impacto sobre el ruido de tránsito, se menciona la normativa sobre eficiencia de neumáticos establecida por la Regulation 1222/2009 [EC 2009] que define la información al usuario al momento de adquirir neumáticos, en cuanto al consume energético y la emisión de ruido, como se muestra en la figura siguiente.. Se estima que el beneficio agregado en 25 países de Europa por menor emisión de ruido en los primeros 12 años alcanzará entre 48 y 123 billones de Euros.

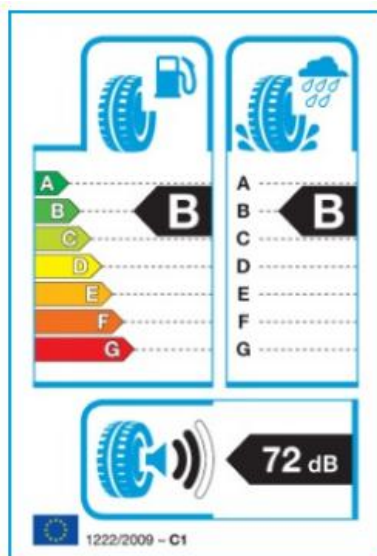


Fig 103 Etiqueta de información sobre emisión acústica de neumáticos [EC 2009]

Otra iniciativa de éxito es Noise Action Plan Support Tool (NAPST), <http://www.phoutcomes.info/>), una herramienta web que permite:

- Diseminar información a 450 autoridades sobre aprox. 8.000 vías relevantes
- Facilita el intercambio de información entre autoridades de transporte y autoridades locales
- Toda institución que tenga alguna autoridad sobre vías de transporte debe tener un usuario registrado en NAPST.
- Indicador de quejas de ruido por autoridad local por año por cada 1000 habitantes
- Indicador de fracción de población afectada por ruido de tránsito sobre 55 dB durante la noche
- Indicador de fracción de población afectada por ruido de tránsito sobre 65 dB durante el día

Esta iniciativa se enmarca en el PHOF (Public Health Outcomes Framework) que reúne un conjunto de indicadores de salud pública para cada región de Gran Bretaña y actualiza sistemáticamente la información, de modo que se advierten cambios positivos o negativos de cada indicador, claramente estandarizado, y es posible comparar poblaciones.

Un ejemplo de plan estratégico de control de ruido es la ciudad de Hamburgo, seleccionada como “capital verde” de Europa en 2011, que enfrenta el desafío de gestionar enormes volúmenes de transporte internacional.

Hamburgo adoptó una estrategia integral y participativa en 2 niveles. Primero, se preparó un plan de acción para la ciudad como un todo, generando un marco general. Segundo, se elaboraron medidas específicas de control de ruido a nivel de distrito.

Para este efecto se integraron todo tipo de medidas que tuvieran algún efecto sobre el ruido ambiental, como la gestión de tránsito, la planificación urbana, ciclovías, etc. de modo que se asegura la aceptación y compatibilidad del plan de acción de ruido sin general costos o impactos no deseados.

La promoción de modos de transporte de bajo impacto ambiental, por ejemplo, integra impactos positivos sobre el ruido y la calidad del aire. Otra acción tiende a tomar en conjunto las decisiones sobre velocidad permitida en la ciudad, buscando un equilibrio entre seguridad, ruido y calidad del aire. Se planifican las rutas de camiones pesados considerando su paso por áreas con diferente sensibilidad y densidad residencial.

8.7. Líneas de trabajo

En primer lugar, parece razonable seguir observando de cerca las iniciativas que ha desarrollado la Unión Europea respecto de las aplicaciones de los mapas de ruido y las metodologías desarrolladas. Cabe recordar que la Directiva exige a los Estados miembros que adopten la siguiente secuencia:

1. determinar la exposición al ruido ambiental mediante la elaboración de mapas de ruido,
2. adoptar planes de acción tomando como base los resultados de los mapas de ruido, y
3. poner a disposición de la población la información sobre el ruido ambiental.

La disponibilidad de mapas de ruido en Chile impulsados por el MMA, que sin duda continuará mejorando en términos de calidad y cobertura, plantea el desafío de expandir su utilización por los otros sectores involucrados, al menos, transporte, vialidad, vivienda, salud pública. En particular, existiendo reiterados estudios que identifican al ruido como el 3er problema ambiental del país, resulta inexplicable que el problema del ruido de transporte no sea considerado en los IPT (Instrumentos de Planificación Territorial) ni en la OGUC (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones), instrumentos reguladores dependientes del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

La actual política de desarrollo urbano de asociar a las vías principales de transporte mayores densidades de población, sin asociar una mayor protección de fachada, implica que necesariamente a futuro crecerá significativamente la población expuesta, una vez que las vías y las edificaciones alcancen su capacidad.

Por lo tanto, las iniciativas más urgentes de implementar son:

- a) Integrar en los métodos y lineamientos para elaborar IPTs los indicadores ruido de transporte en forma cuantitativa, de modo que las opciones de cambios sean evaluadas en términos de su impacto sobre la población existente y futura.
- b) Incorporar a la OGUC estándares mínimos de protección acústica en fachadas expuestas a ruido de transporte actual o futuro.

Asimismo, las decisiones sobre la infraestructura vial y las de gestión de tránsito no consideran explícitamente las emisiones de ruido como factor de diseño sino más bien responden a factores de congestión y seguridad vial. Esta ausencia del factor acústico en la planificación y gestión vial puede significar que se pierdan oportunidades de reducir impactos masivos sobre la calidad acústica de las áreas colindantes a vías. El rol de los indicadores de contaminación acústica por transporte es fundamental.

Un segundo grupo de iniciativas se refieren a generar mejor información e indicadores sobre la respuesta subjetiva de las personas y los impactos sobre la salud a nivel epidemiológico, causados por ruido de transporte. Las relaciones dosis-respuesta y los factores de riesgo de morbilidad y mortalidad debieran estar basados en observaciones realizadas en estudios nacionales.

Para este propósito, es necesario que los métodos y métrica sean definidos por consenso y, en lo posible, compatibles con los indicadores de exposición generados por los mapas de ruido. Esta condición requiere una fuerte

coordinación administrativa entre actores para que exista comparabilidad de resultados a través de indicadores comunes. Dado que la obtención de datos se realiza por diferentes instituciones, en diferentes lapsos de tiempo y con diferentes objetivos, a menudo los resultados de encuestas son incompatibles e impiden su comparación y la estimación de tendencias.

Se estima que el método de carga de enfermedad y el indicador DALY han probado ser robustos y directamente aplicables para definir prioridades, apoyar acciones y diseminar la información a no expertos que deben tomar decisiones, por lo que su uso resultaría recomendable.

Un tercer grupo de iniciativas se refiere a la necesidad de integrar a los ciudadanos en la toma de decisiones, de modo que las acciones no sean desvirtuadas por una falta de aceptación ciudadana. Para este efecto, es esencial desarrollar medios de información e indicadores que resuman en forma simple y clara las principales decisiones y las consecuencias de cada opción. En particular, cuando las decisiones conducen a resultados conflictivos entre sí respecto a solucionar un problema agravando otro o que un grupo es beneficiado en desmedro de otro grupo, es fundamental que las medidas a adoptar sean debidamente consultadas con la comunidad. En el caso del transporte urbano, existe una fuerte percepción de que las decisiones no consideran la información desde y hacia los usuarios.

También es importante la diseminación de información a autoridades locales y funcionarios encargados de la gestión local. Actividades de intercambio de información entre las instituciones locales encargadas de medio ambiente, transporte, vialidad, vivienda y salud pública pueden contribuir significativamente a que las acciones de control de ruido de transporte sean efectivas y que se eviten efectos adversos por falta de información. Se requiere para esto de indicadores claros, que sean compartidos por diferentes actores.

En cuanto a gestión de tránsito, las medidas que se orientan a un flujo más uniforme contribuyen a reducir significativamente las emisiones de ruido, ya que se reducen los eventos de frenada y aceleración, a la vez, se reducen las emisiones de material particulado generado por abrasión y se reduce el consumo de combustibles. La condición óptima de utilización de vías, compatible con una velocidad máxima segura, se logra con un flujo uniforme a dicha velocidad. Sin embargo, los "lomos de toro" utilizados frecuentemente para moderar la velocidad, tienen un impacto negativo sobre los niveles de ruido de hasta 6 dB, por lo cual se recomienda su reemplazo por semáforos activados por velocidad. Este es un ejemplo de medidas que consideran los problemas por separado, sin una visión integral.

Por último, un programa de financiamiento de estudios orientados al control de ruido urbano sería deseable para no utilizar los presupuestos corrientes de las instituciones. Consultas y encuestas ciudadanas para levantamiento de información, elaboración de planes de acción, capacitación, discusión e intercambio de experiencias con otros organismos, entre otras, son actividades costosas que exceden las capacidades de muchas autoridades locales, por lo que debieran recibir apoyo y guía para que lleguen a realizarse sistemáticamente.

**Capítulo 9.
ESTUDIOS
COMPLEMENTARIOS PARA
VALDIVIA**



9. ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS PARA VALDIVIA

9.1. Estudio Subjetivo de Acústica Ambiental en Valdivia (Actividad Adicional 1).

9.1.1. Descripción general

La aplicación de una encuesta sobre ruido ambiental es una interesante fuente de información para las propuestas de gestión de ruido ambiental. En esta oportunidad se aplicará la encuesta en modalidad online en la ciudad de Valdivia, a modo de experiencia piloto en Chile. En este proyecto no se contempló repetirla en otra ciudad.

Esta experiencia está orientada a complementar la información acústica obtenible a partir de las mediciones y modelaciones en los mapas de ruido, de manera de tener una visión más completa del entorno sonoro, y de orientar mejor aquellas líneas de trabajo futuro en la materia.

Uno de los objetivos de esta actividad es conocer la percepción de la población frente al ruido, donde se incluyen algunas preguntas relacionadas con las actividades adicionales de la propuesta. Un segundo objetivo es que, de resultar exitosa esta experiencia, se podrán definir lineamientos para trabajos futuros en la materia.

El diseño de la encuesta se basó en aquella aplicada en estudios anteriores por el Ministerio del Medio Ambiente [CONAMA 2010] [MMA 2010], de la experiencia en otros estudios [Suárez 2002]; [Lobos et al. 2008]; [Sommerhoff et al. 2006]; [Suárez et al. 2005]; [Sommerhoff et al. 2004]; [Suárez et al. 2002]; [Suárez et al. 2002a]. Se incluyeron nuevas preguntas relacionadas con paisaje sonoro y áreas verdes. La aplicación de la encuesta fue presencial, se contactó vía correo electrónico, ya sea por bases de datos directamente, como indirectamente vía redistribución de un email con las instrucciones.

Se realizó un pre test para validar las preguntas del instrumento, y una encuesta piloto online para chequear el sistema correcta comprensión de material de apoyo que se debe incorporar, como por ejemplo, seleccionar el sector y sub sector de residencia.

9.1.2. Metodología

La metodología de recolección contempló:

- **Marco muestral.** Para el estudio se tomó como base muestral un marco elaborado en particular para este estudio, donde la base de datos utilizada corresponderá a las viviendas y población recogida en el último censo de Población y Vivienda del 2002 para la Comuna de Valdivia.
- **Diseño y tamaño muestral.** Considerando el tipo de encuesta se incluyó una pregunta filtro del sector de residencia. La población objetivo comprende los hogares de Valdivia y las personas de 18 años y más.
- **Nivel de Cobertura.** Nivel comunal con una población 140.559 habitantes, y 40531 viviendas según censo 2002 y Reportes estadísticos distritales y comunales 2013. Biblioteca Congreso Nacional de Chile.
- **Nivel de precisión.** Se diseñó el trabajo considerando como error aceptable entre un 3 a un 7%. A partir del mismo, se estimó el número de muestras.

- **Instrumentos:** cuestionarios. Se utilizó el cuestionario confeccionado en la Fase I antes mencionado que consta de 25 preguntas donde además incluirán preguntas de áreas verdes y paisaje sonoro.
- **Contacto de los entrevistados y recolección de datos.** Bases de datos de correos electrónicos, redes profesionales, sociales municipales, etc.
- **Personal de encuesta online:** Ing. Civil Informático con experiencia en encuestas online.
- **Supervisión.** Se chequearon las respuesta durante toda la duración de le encuesta.
- **Pre test.** Presencial con el fin de revisar sobre todas las preguntas nuevas en el cuestionario, relacionadas con paisaje sonoro y áreas verdes.
- **Estudio Piloto.** Se aplicó encuesta piloto que permitió evaluar el entendimiento del cuestionario, material de apoyo etc.

Finalmente se realizó un análisis estadístico de los resultados recogidos en la encuesta.

La encuesta aplicada se encuentra en el anexo correspondiente.

9.1.3. Lineamientos de la encuesta

Las siguientes son los lineamientos del diseño de la encuesta utilizada:

- a) Tipo de Cuestionario Cuestionario autoadministrado (autocumplimentado)
- b) Técnica de recolección: Internet (plataforma “www.encuestafacil.com”). El link de la encuesta será enviado a los diferentes portales web comprometidos.
- c) Plataforma seleccionada Empresa www.encuestafacil.com, seleccionada por la variedad de tipos de preguntas y flexibilidad de edición; los métodos de recolección de las preguntas: como el link en un email y página web que son las formas que sirven a los fines del proyecto.
- Además, es posible la personalización de la URL de la encuesta, adaptándola a la imagen corporativa de la institución que envía, lo que respalda la seriedad de la encuesta.
- Por último los informes de resultados detallados y resumidos y su exportación a Excel, así como la permanencia de los resultados y de la encuesta en la plataforma ofrecen respaldo y seguridad. Esta plataforma ofrece además la funcionalidad de realizar sorteos entre los encuestados, lo que permitirá ofrecer un premio de estímulo para el llenado de la encuesta.
- d) Amplitud cuestionario: El cuestionario se ha confeccionado de acuerdo a estándar de tiempo breve de llenado y clara comprensión.
- e) Tiempo de respuesta Tiempo estimado de completado por parte de los encuestados es de 7 a 10 minutos.
- f) Encuesta Envíos de correos electrónicos.

- g) Cobertura Ciudad de Valdivia (urbana).
- Se utilizaron las bases de datos disponibles y web comprometidas:
- Base datos comunidad universitaria UACH incluyendo funcionarios y docentes, y estudiantes.
 - Base de datos de los funcionarios de la Municipalidad de Valdivia, de la SEREMI de Medio Ambiente, SEREMI de Obras Públicas, y SEREME de Salud mediante envío de correo electrónico con la información.
- Respecto a la representatividad geográfica esta solo se podrá establecer una vez que se tengan todas las encuestas, pues lo único que se puede hacer, es ir chequeando a medida que vayan llegando las respuestas es ir llevando un contador por zona. Este tipo de encuesta tiene asociado este tipo de sesgo.
- h) Método de selección Mediante la plataforma de Encuesta Fácil se limitó que la encuesta sea respondida por un solo correo electrónico (sin embargo no evita que si una persona tiene dos correos conteste dos veces las encuesta, pero reduce notablemente la duplicidad).
- i) Tasa de respuesta Se sabe, por bibliografía, que la tasa de respuesta en las encuestas online alcanza entre un 15 y 20%, para aumentar este porcentaje se ha incluyó como estrategia el incentivo de sortear entre las personas que contesten (por ejemplo. 3 Tablet).
- j) Error muestral Una ventaja de la encuestas por internet es que el **error muestral** puede ser reducido sin que suponga un aumento del coste del estudio, ya que en este tipo de encuestas es más fácil aumentar el tamaño de la muestra, estrechamente relacionado con las bases y link a sitios web.
- k) Tamaño de muestra El tamaño inicial de muestra estimado con 95% de confianza con un error de muestreo del 5% con una varianza del 50% ($p=0,5$) es de 384. Si consideramos una tasa de respuesta de 15% (situación conservadora) se deberán enviar a lo menos 2560 correos electrónicos. Como se expone en los resultados, la cantidad de respuesta fue mayor al planteado.
- l) Tipo de muestreo En principio es por cuota según zona geográfica de la ciudad de Valdivia, el objetivo de esto es conocer la percepción tanto para las áreas verdes como paisaje sonoro de la mayor cantidad de puntos distribuidos a través de la ciudad.
- m) Fecha de aplicación La aplicación se realizó en el mes de diciembre de 2014, evitando feriados, elecciones, y otras actividades que entorpezcan el clima comunicacional más propicio para los fines del estudio.

Preguntas filtro

Se han implementado las preguntas

- Si reside en la parte Urbana o Rural (Parte I)
- Se dejaran fuera del análisis quienes residen menos de un año en la ciudad de Valdivia (pregunta 2).
- Si responde alternativa nunca en la pregunta 13 (visita áreas verdes), no contesta preguntas 14, 15 y 16.

9.1.4. Análisis de resultados de la encuesta en Valdivia

Se enviaron un total de 1392 link de la encuesta online a las casillas de correo, de ellas 949 fueron abiertas y contestadas, no necesariamente hasta el final. Por su parte las encuestas válidas para análisis en SPSS fueron de 846, donde 42 de ellos no vivían en Valdivia o en área urbana, las diferencias se encuentran en las encuestas abandonadas (5) y no completadas (56).

En la siguiente tabla y figura se presenta la agrupación de las zonas de la ciudad, para efectos de los análisis correspondientes, según la pregunta 09 de la encuesta.

Tabla 88. Distribución de zonas para análisis de encuesta comuna de Valdivia.

| Zona 1 | Zona 2 | Zona 3 | Zona 4 | Zona 5 | Zona 6 | Zona 7 |
|------------|--------------------------------------|----------|---|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Las Animas | Barrios bajos Arica Guacamallo | Regional | El Bosque Yañez Zabala Los Fundadores | Collico Inés de Suarez Corvi | San Luis San Pedro Picarte | Teja Centro Costanera |

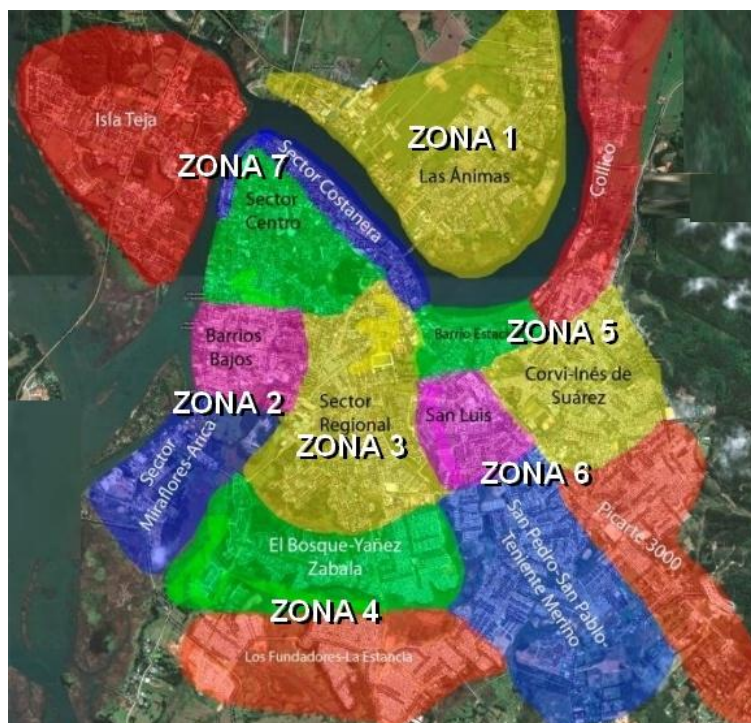


Fig.104. Distribución de zonas para efectos de análisis de la encuesta comuna de Valdivia.

9.1.4.1. Característica de la muestra.

La muestra encuestada en la comuna de Valdivia corresponde a un total de 846 personas. La figura muestra los gráficos de frecuencia para las variables sexo, estudios, actividad, edad y tiempo de residencia.

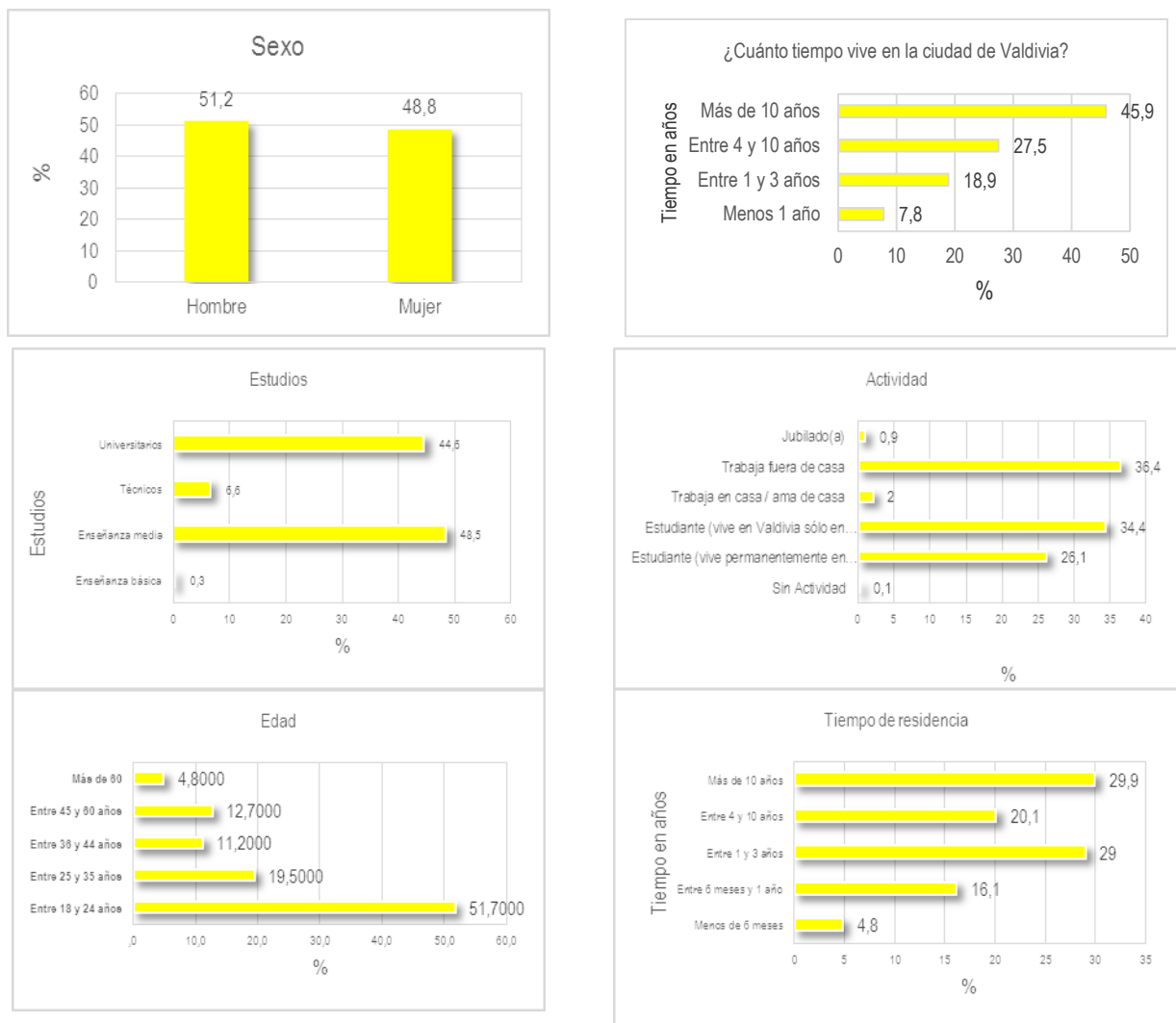


Fig. 105. Gráficos de frecuencia para género, estado civil, estudios, actividad, edad y tiempo de residencia.

De la información presentada anteriormente, se puede destacar que la muestra se configura principalmente con personas con estudios medios (48,5%), trabajan fuera de casa (36,4%), en el rango de edades comprendido entre 18 y 24 años (51,7%). El % de mujeres en la muestra que alcanza al 48,8%, donde podemos observar que el 29,9% de

las personas entrevistadas reside más de 10 años en su vivienda y un 45,9% vive hace más de 10 años en la ciudad de Valdivia.

Según lo que se aprecia en la siguiente figura, es esperable encontrar que la fuente de ruido que más impacta a la población en estudio es el tránsito vehicular, ya que un 62,5% de los encuestados declara vivir cerca de esta fuente. Por otro lado, para el resto de las fuentes es esperable que los encuestados declaren percibir menos molestia, dado que el porcentaje de personas expuestas a ellas es menor, se destaca el 28,2% que declara no vivir cerca de ninguna de estas actividades. Estos datos demuestran una mejor condición que para los habitantes de Comuna de Santiago [MMA 2010], donde el 88% de la población indicó vivir cerca del tránsito vehicular, 35% cerca de talleres o industrias, y 21% cerca de Discotecas o Pubs. Por otro lado, y de manera similar en Valdivia, un 23% indicó vivir cerca de obras de construcción.

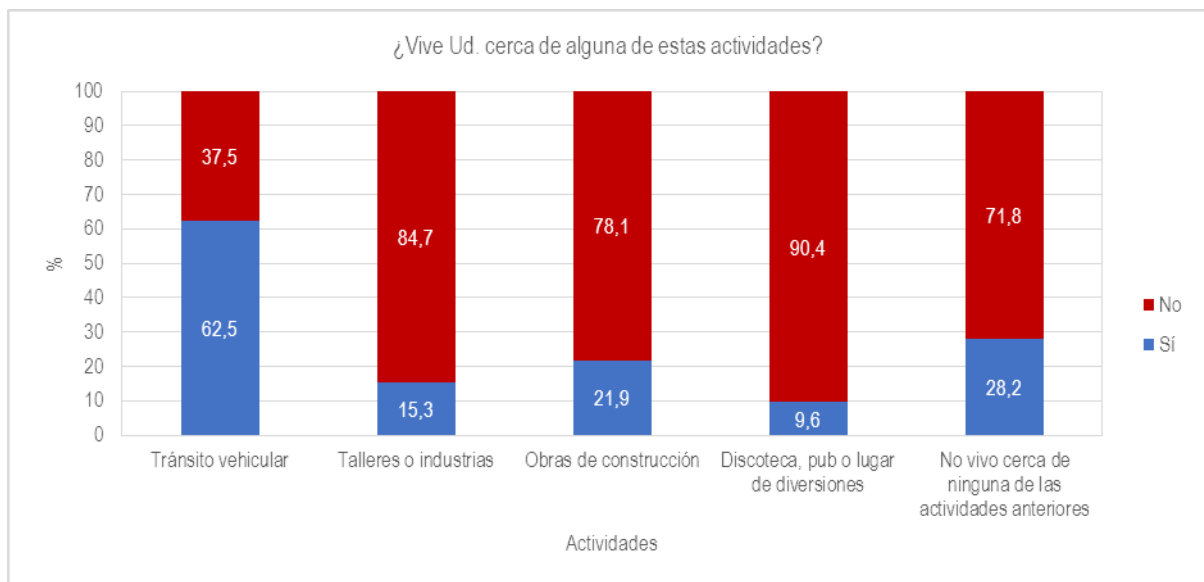


Fig.106. Distribución porcentual de las variables vive cerca de: Tránsito vehicular, Talleres o industria, Obras de construcción, talleres o industrias y lugares de diversión.

9.1.4.2. Descripción de las variables sobre sensibilidad al ruido ambiental

Observamos en la siguiente figura, que la población de la Comuna de Valdivia presenta una mediana sensibilidad al ruido, pues un 45,6% se declara medianamente sensible, y un 26,2% muy sensible. Nada sensible, un 3%, lo que demuestran una mayor sensibilidad que los habitantes de Comuna de Santiago [MMA 2010], donde el 16,5% de la población indicó ser "nada sensible".

Las personas manifiestan escuchar el ruido exterior de su vivienda en un 3,9% extremadamente audible y un 24,2% muy audible, lo que refleja una presencia relativamente baja de este factor en la vida cotidiana de los que viven en la comuna, pues no alcanza al 30% de la población. En el caso de la Comuna de Santiago, ambas categorías sumaban sobre el 42% de la población.

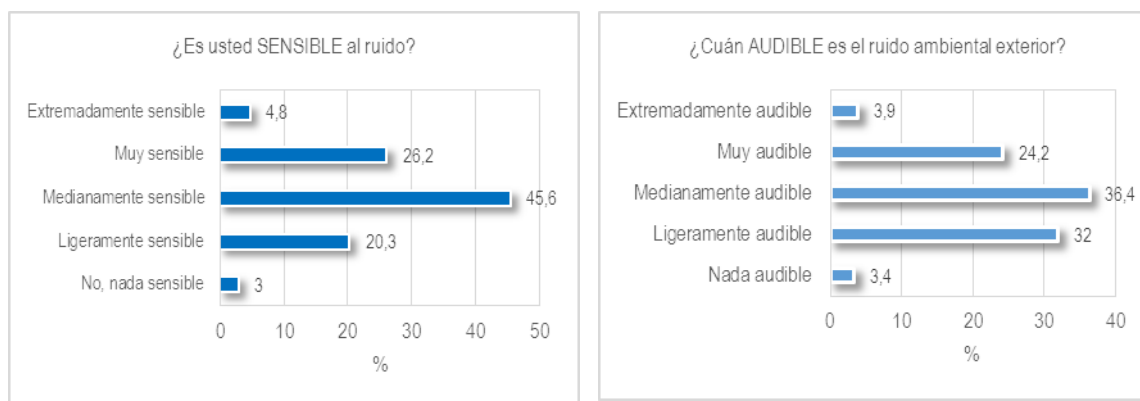


Fig 107. Frecuencia observadas para las variables: Es usted Sensibilidad al ruido y En el interior de su hogar, cuán audible es el ruido ambiental exterior cuando se encuentra en el interior de su casa.

A continuación, se presentan los resultados del análisis que permite determinar si existe dependencia entre la sensibilidad del ruido ambiental y los factores zona, género, edad, tiempo de residencia y actividad. La tabla muestra el valor calculado y la significancia asociada a la prueba de independencia Chi-cuadrado. Según estos valores se puede concluir que existe dependencia entre la sensibilidad al ruido ambiental y el género y la edad del residente (p-valor <0,01), al igual que en la Comuna de Santiago [MMA 2010]. Para la zona, actividad desarrollada y tiempo de residencia no presentaron dependencia significativa.

Tabla 89. Prueba de hipótesis Chi-cuadrado para determinar la asociación entre la variable “Es usted sensible al ruido” y los factores Género, Edad, Tiempo de Residencia y actividad.

| Factores | Estadística Chi-cuadrado | p-valor |
|----------------------|--------------------------|----------|
| Zonas | 24,07 | 0,458 ns |
| Sexo | 20,15 | 0,000 ** |
| Edad | 31,32 | 0,012* |
| Tiempo de residencia | 10,82 | 0,544 ns |
| Actividad | 30,85 | 0,057* |

** Significancia al 1%, * significancia al 5% y ns no significancia

Al observar la siguiente figura, es posible concluir que los porcentajes de sensibilidad al ruido son similares entre hombres y mujeres, a excepción de las categorías nada sensible y ligeramente sensible, en que hombres presenta % mayores que las mujeres. Las personas que residen más de 10 años presentan mayor sensibilidad al ruido. De la misma manera, la asociación existente entre la actividad se puede comprobar al observar que las categorías sin actividad y estudiante manifiestan menor sensibilidad al ruido contrario al de las personas que trabajan fuera de casa lo perciben como muy, medianamente y ligeramente sensible. Si bien la zona no presentó dependencia significativa observamos en la gráfica respectiva que las zona de El Bosque, Yañez Zabala y Los Fundadores presenta un % mayor en la categorías medianamente sensibles y muy sensibles con respecto a las demás zonas.

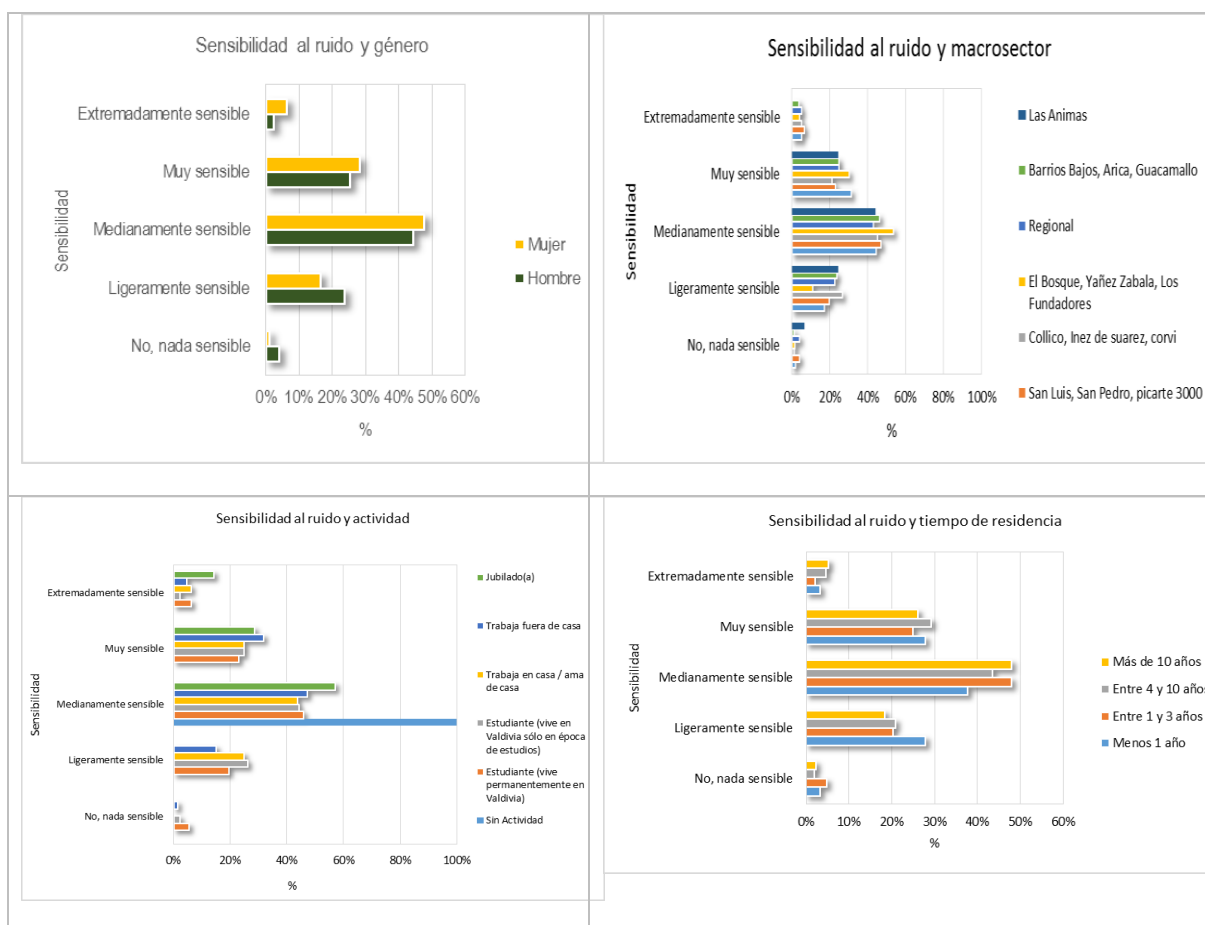


Fig. 108. Porcentaje de frecuencia observada de la variable “¿Es usted sensible al ruido?” versus los factores zona, tiempo residencia, actividad y género.

La tabla muestra el resultado del análisis de dependencia entre “en el interior de su hogar, cuán audible es el ruido ambiental exterior” y la zona, género, edad, tiempo de residencia y actividad. Al observar la significancia se aprecia que sólo el género no presenta dependencia ($p > 0,05$). La figura muestra la gráfica entre esta variable y la zona, ahí es posible apreciar que todas las zonas tienen % similares en cada categoría destacándose la zona de Guacamallo y Barrios Bajos y Arica, esto se puede deber al alto tráfico de que camiones que existe en estos sectores.

Tabla 90. Prueba de hipótesis Chi-cuadrado para determinar la asociación entre la variable “cuán audible es el ruido ambiental exterior” y los factores Género, Edad, Tiempo de Residencia y actividad.

| Factores | Chi-cuadrado | p-valor |
|----------------------|--------------|----------|
| Zona | 47,05 | 0,003** |
| Sexo | 6,31 | 0,177 ns |
| Edad | 33,21 | 0,001** |
| Tiempo de residencia | 25,29 | 0,014* |
| Actividad | 58,80 | 0,000** |

* significancia al 5%, ns no significancia

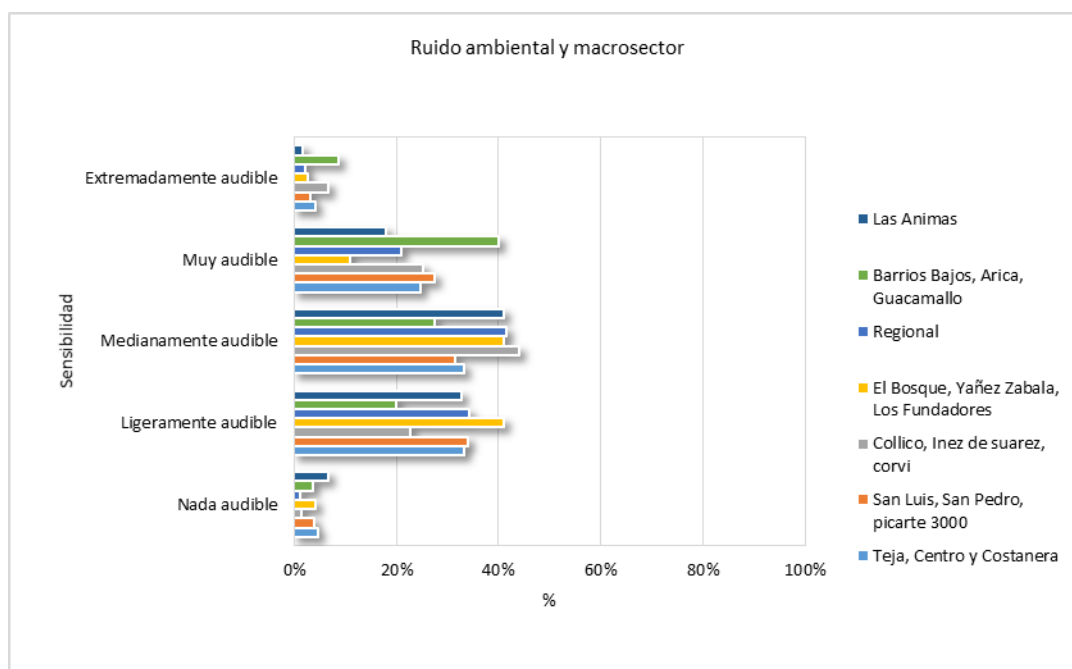


Fig. 109. Porcentaje de frecuencia observada de la variable “En el interior de su hogar, cuán audible es el ruido ambiental exterior” versus zona.

9.1.4.3. Descripción de las variables fuentes de ruido ambiental.

Se analizaron las variables ruido por tránsito vehicular, talleres e industria, obras de construcción, vecinos y ruido por lugares de diversión para el día y la noche. En las siguientes tablas se observa que los mayores promedios de molestia es causada por el tránsito vehicular tanto para el día como para la noche con 4,11 y 3,07 respectivamente, le sigue ruido por obras de construcción, ruido provocado por los vecinos, ruido provocado por talleres e industrias y lugares de diversión.

Además es posible señalar que hay un 95% de confianza de que la puntuación media para el tránsito vehicular varía entre 3,92 y 4,3, para el día y de 2,87 y 3,27 para la noche. En estas tablas se observa además que el 50% de los encuestados en el caso de Tránsito Vehicular manifestó una puntuación menor o igual a 4 para el día y 2 para la noche.

Tabla 91. Resumen estadísticas para distintas fuentes de ruido según periodo día

| Fuentes de ruido – Molestia - Día | Media | LI | LS | Mediana | S |
|-----------------------------------|-------|------|------|---------|------|
| 13d. Tránsito vehicular | 4,11 | 3,92 | 4,30 | 4 | 2,77 |
| 14d. Talleres o industrias | 2,43 | 2,22 | 2,63 | 1 | 3,00 |
| 15d. Obras de construcción | 3,52 | 3,31 | 3,74 | 3 | 3,18 |
| 16d Vecinos | 3,46 | 3,27 | 3,66 | 3 | 2,87 |
| 17d Lugares de diversión | 1,91 | 1,73 | 2,10 | 0 | 2,68 |

Tabla 92. Resumen estadísticas para distintas fuentes de ruido según periodo Noche

| Fuentes de ruido – Molestia – Noche | Media | LI | LS | Mediana | S |
|-------------------------------------|-------|------|------|---------|------|
| 13n. Tránsito vehicular | 3,07 | 2,87 | 3,27 | 2 | 2,96 |
| 14n. Talleres o industrias | 1,59 | 1,41 | 1,78 | 0 | 3,00 |
| 15n. Obras de construcción | 1,47 | 1,29 | 1,65 | 0 | 2,67 |
| 16n Vecinos | 3,34 | 3,12 | 3,55 | 2 | 3,21 |
| 17n Lugares de diversión | 2,28 | 2,07 | 2,49 | 1 | 3,09 |

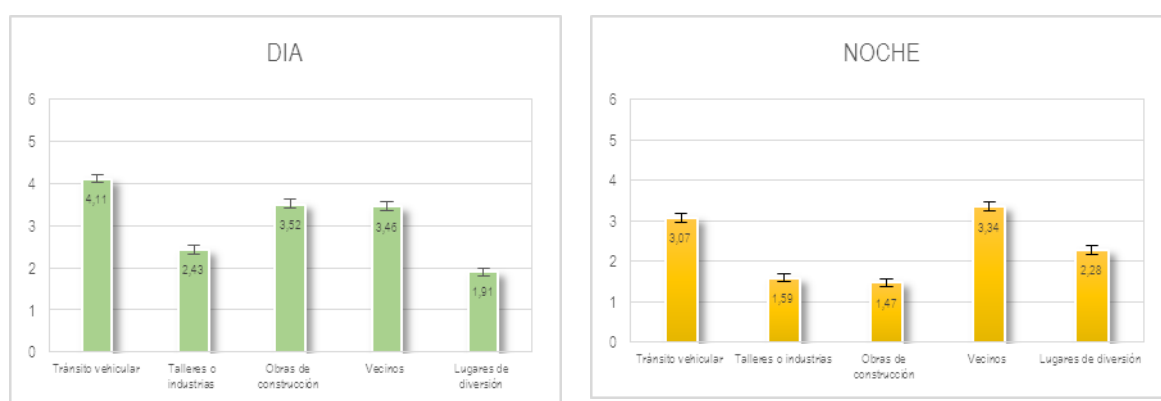


Fig. 110. Resumen estadístico para el ruido producido por el tránsito vehicular, talleres o industrias, obras de construcción, vecinos y lugares de diversión periodo día y noche (media y error estándar).

Respecto a estas mismas preguntas en la Comuna de Santiago [MMA 2010], es posible observar que durante el día en Santiago hay mayor molestia por el tránsito vehicular (4,95 sobre 4,11 en Valdivia) y lugares de diversión (1,32 sobre). Sin embargo, el Valdivia hay mayor molestia que en Santiago por el ruido de talleres (2,43 sobre 1,65 en Santiago), ruido de obras de construcción (3,52 sobre 2,5 en Santiago), ruido de talleres (2,43 sobre 1,65 en Santiago) y por el ruido de vecinos (3,46 por sobre 2,12 en Santiago).

Respecto a estas mismas preguntas en la Comuna de Santiago [MMA 2010], es posible observar que durante la noche en Santiago hay mayor molestia por el tránsito vehicular (3,56 sobre 3,07 en Valdivia). Sin embargo, el Valdivia hay mayor molestia que en Santiago por el ruido de talleres (1,59 sobre 1,09 en Santiago), ruido de obras de construcción (1,47 sobre 1,4 en Santiago), ruido de talleres (1,59 sobre 1,09 en Santiago), ruido de lugares de diversión (2,28 sobre 2,09), y por el ruido de vecinos (3,34 por sobre 2,76 en Santiago).

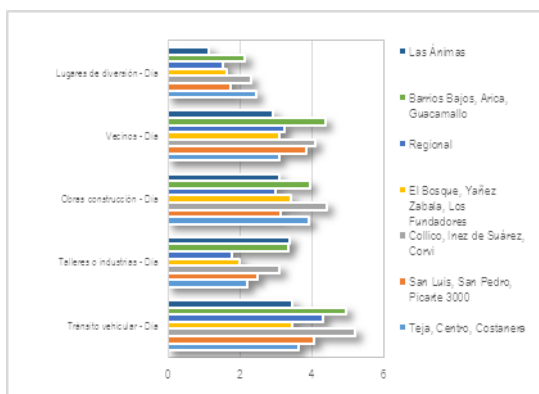
Las siguientes dos tablas muestran los puntajes medios según zonas, aquí se observa que los mayores promedios de molestia causada por el tránsito vehicular para el día y la noche se presentan en las zonas Collico, Inés de Suárez y Corvi, situación similar se produce en el factor obras de construcción para el día.

Tabla 93. Resumen estadísticas para distintas fuentes de ruido según periodo día según zona

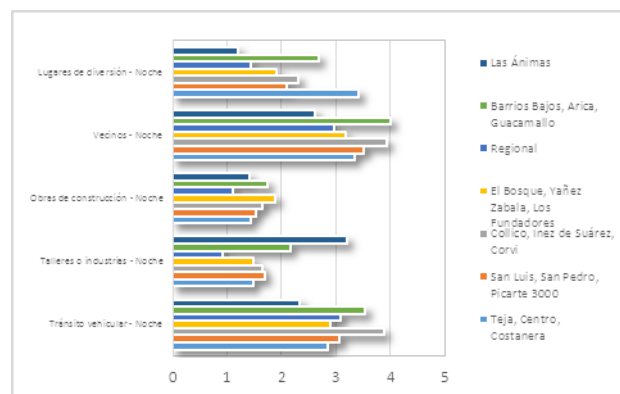
| | Zonas – Sectores macro | | | | | | |
|--|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---|----------|----------------------------------|------------|
| | Teja, Centro, Costanera | San Luis, San Pedro, Picarte 3000 | Collico, Inés de Suárez, Corvi | El Bosque, Yañez Zabala, Los Fundadores | Regional | Barrios Bajos, Arica, Guacamallo | Las Ánimas |
| 13d. Tránsito vehicular - Día | 3,64 | 4,08 | 5,22 | 3,48 | 4,32 | 4,96 | 3,48 |
| 14d Talleres o industrias - Día | 2,22 | 2,50 | 3,12 | 2,01 | 1,78 | 3,34 | 3,41 |
| 15d. Obras construcción - Día | 3,94 | 3,13 | 4,42 | 3,44 | 3,00 | 3,95 | 3,11 |
| 16d Vecinos - Día | 3,09 | 3,86 | 4,11 | 3,10 | 3,24 | 4,38 | 2,93 |
| 17d Lugares de diversión - Día | 2,46 | 1,74 | 2,32 | 1,66 | 1,52 | 2,16 | 1,16 |

Tabla 94. Resumen estadísticas para distintas fuentes de ruido según periodo noche según zona

| | Zonas – Sectores macro | | | | | | |
|---|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---|----------|----------------------------------|------------|
| | Teja, Centro, Costanera | San Luis, San Pedro, Picarte 3000 | Collico, Inés de Suárez, Corvi | El Bosque, Yañez Zabala, Los Fundadores | Regional | Barrios Bajos, Arica, Guacamallo | Las Ánimas |
| 13n. Tránsito vehicular - Noche | 2,86 | 3,07 | 3,88 | 2,89 | 3,08 | 3,54 | 2,34 |
| 14n. Talleres o industrias - Noche | 1,48 | 1,69 | 1,64 | 1,49 | 0,92 | 2,16 | 3,20 |
| 15n Obras de construcción - Noche | 1,43 | 1,53 | 1,66 | 1,89 | 1,12 | 1,74 | 1,41 |
| 16n Vecinos - Noche | 3,34 | 3,52 | 3,93 | 3,18 | 2,96 | 4,00 | 2,62 |
| 17n. Lugares de diversión - Noche | 3,42 | 2,11 | 2,31 | 1,92 | 1,44 | 2,68 | 1,20 |



Día



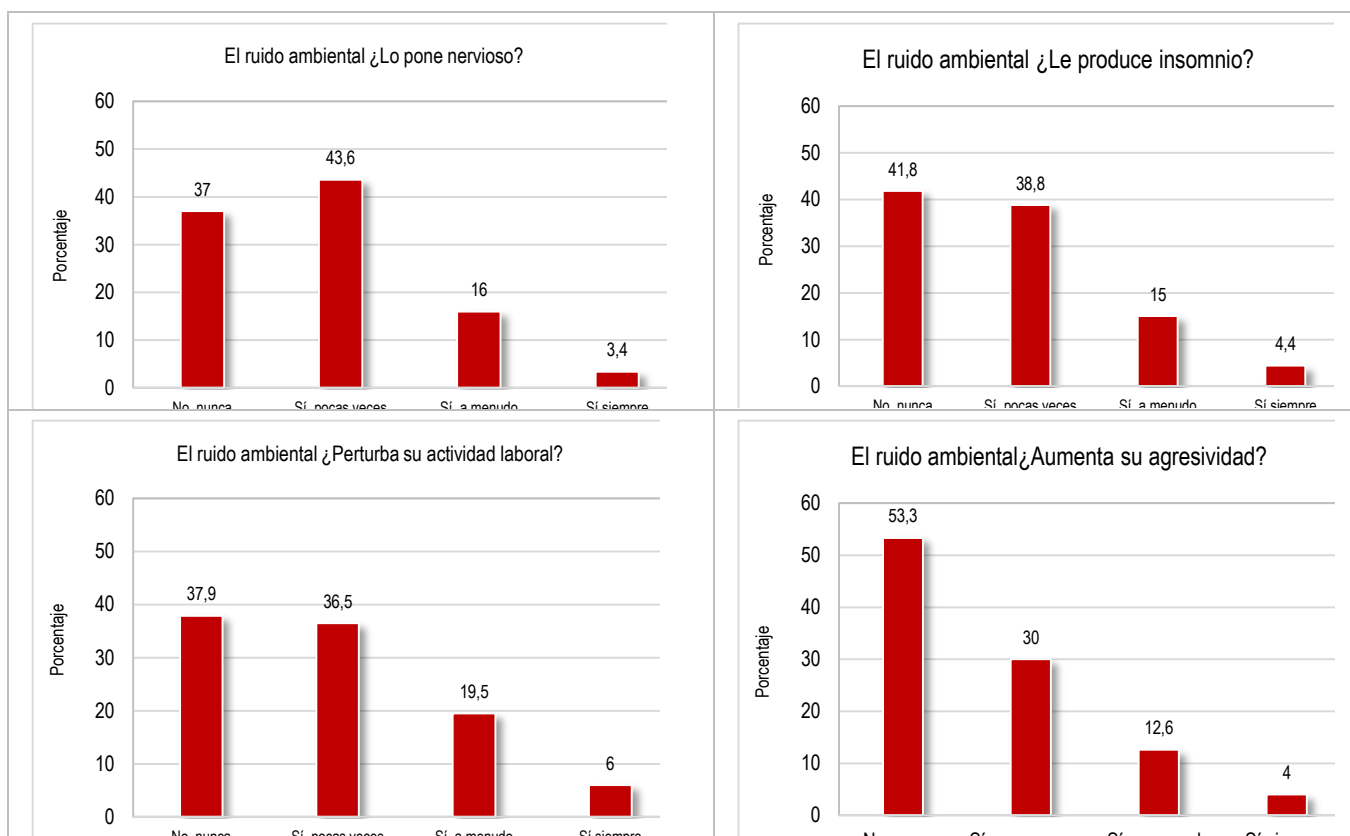
Noche

Fig. 111 Resumen estadístico para el ruido producido por el tránsito vehicular, talleres o industrias, obras de construcción, vecinos y lugares de diversión periodo día y noche según zona.

9.1.4.4. Descripción de las variables de impacto del ruido ambiental.

En cuanto a los efectos del ruido, la población de la Comuna de Valdivia identifica con claridad los efectos del ruido que les afecta. Quizás ciertas respuestas puedan revelar un problema de salud pública que deba ser analizado en futuros estudios con mayor profundidad. Por ejemplo, un 3,4% de la población indica que el ruido **siempre** le pone nervioso y un 16% que **a menudo le pone** nervioso (en suma un 19,4%); un 4,4% el ruido **siempre** le genera insomnio y un 15% que **a menudo** le produce insomnio (19,4%); y un 5,3% afirma que el ruido ambiental **siempre** le produce dolor de cabeza y un 10,9% que **a menudo** le genera dolor de cabeza (en suma 16,2%), como se aprecia en la siguiente figura.

Los vecinos de la Comuna de Santiago [MMA 2010] opinan que están notablemente más afectados por los efectos del ruido, por ejemplo, un 12,4% de la población indica que el ruido **siempre** le pone nervioso y un 19,5% que **a menudo** le pone nervioso (en suma 31,9%), un 11,5% el ruido **siempre** le genera insomnio y un 20,5% que a menudo le produce insomnio (en suma 32%) y un 11,5% afirma que el ruido ambiental **siempre** le produce dolor de cabeza y un 13,8% que a menudo le genera dolor de cabeza (en suma 25,5%).



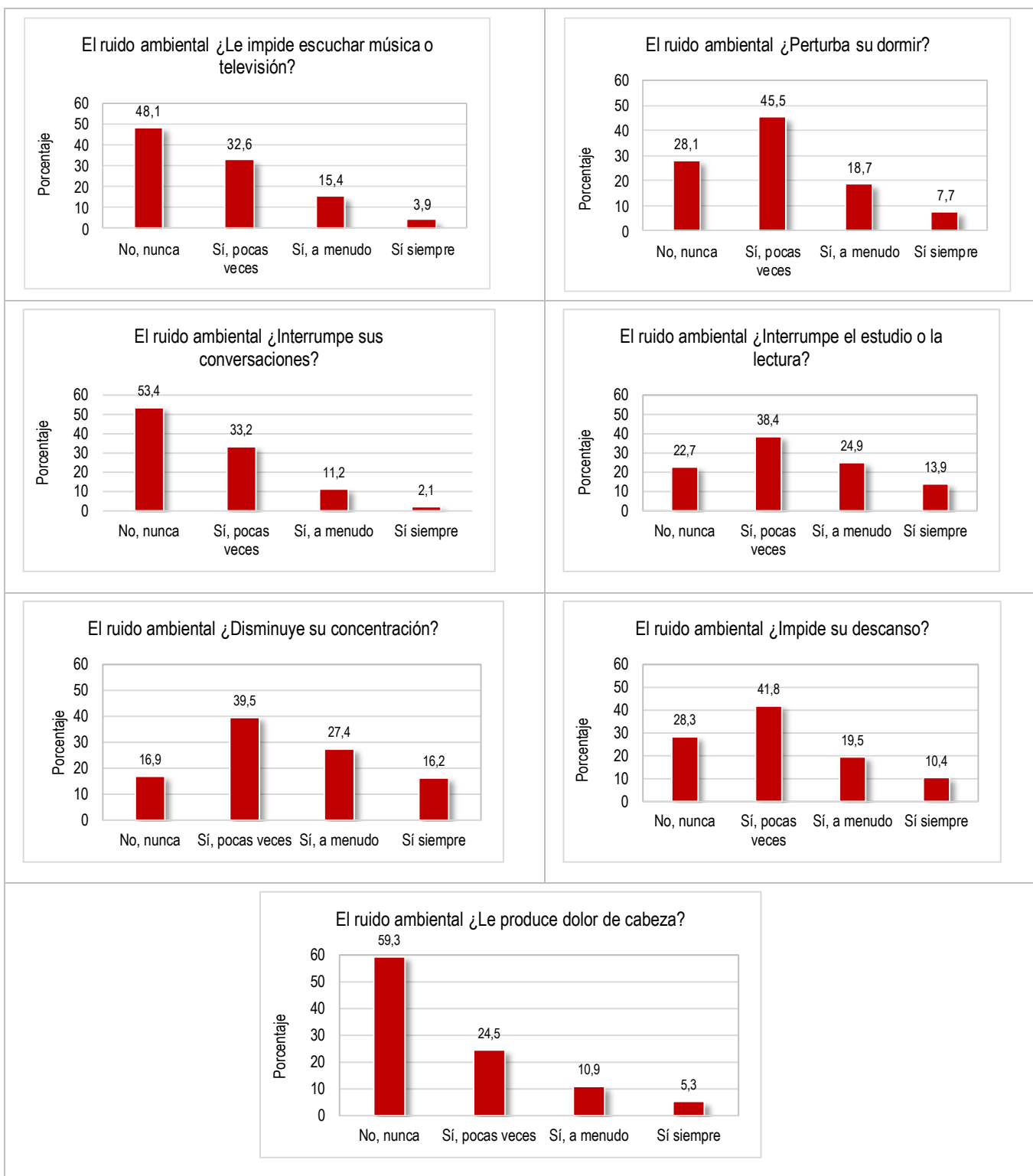


Fig. 112 Actividades impactadas por el ruido ambiental

La tabla siguiente se muestran los valores de significación asociadas a la prueba de independencia Chi-cuadrado para zona, género, edad y tiempo de residencia, para cada una de las variables de impacto producidas por ruido ambiental evaluadas. A través de ellas podemos observar dependencia entre las macrozonas y “el ruido lo pone nervioso”, *perturba su actividad laboral, impide escuchar su música o tv, perturba su dormir, interrumpe el estudio o la lectura, disminuye su concentración y le produce dolor de cabeza.*

En relación a las zonas se observa dependencia para *perturba su dormir, interrumpe el estudio o la lectura, impide su descanso y le produce dolor de cabeza y disminuye su concentración* (p-valor <0,01 y 0,05). Por su parte, el análisis respecto a la edad, presentó dependencia entre *perturba su actividad laboral, interrumpe estudio o la lectura y disminuye su concentración* (p-valor <0,01 y 0,05). Finalmente al estudiar la dependencia entre tiempo de residencia y los distintos factores encontramos dependencia significativa para, *lo pone nervioso, perturba su actividad laboral, interrumpe el estudio y la lectura y disminuye su concentración* (p-valor <0,01 y 0,05).

Tabla 95. Análisis de dependencia entre las variables de impacto producidas por el ruido ambiental y los factores zonas, edad y tiempo de residencia.

| Categoría | Zonas | Edad | Tiempo de residencia |
|------------------------------------|----------|----------|----------------------|
| Lo pone nervioso | 0,303 ns | 0,565 ns | 0,015* |
| Le produce insomnio | 0,324 ns | 0,762 ns | 0,274 ns |
| Perturba su actividad laboral | 0,288 ns | 0,013* | 0,006* |
| Aumenta su agresividad | 0,117 ns | 0,217 ns | 0,323 ns |
| Impide escuchar su música o TV | 0,501 ns | 0,059 ns | 0,331 ns |
| Perturba su dormir | 0,003* | 0,877 ns | 0,803 ns |
| Interrumpe sus conversaciones | 0,247 ns | 0,072 ns | 0,131 ns |
| Interrumpe el estudio o la lectura | 0,000** | 0,000** | 0,000** |
| Disminuye su concentración | 0,013* | 0,000** | 0,000** |
| Impide su descanso | 0,013* | 0,918 ns | 0,094 ns |
| Le produce dolor de cabeza | 0,020* | 0,000 ns | 0,297 ns |

** significancia al 1%, * significancia al 5% y ns no significancia

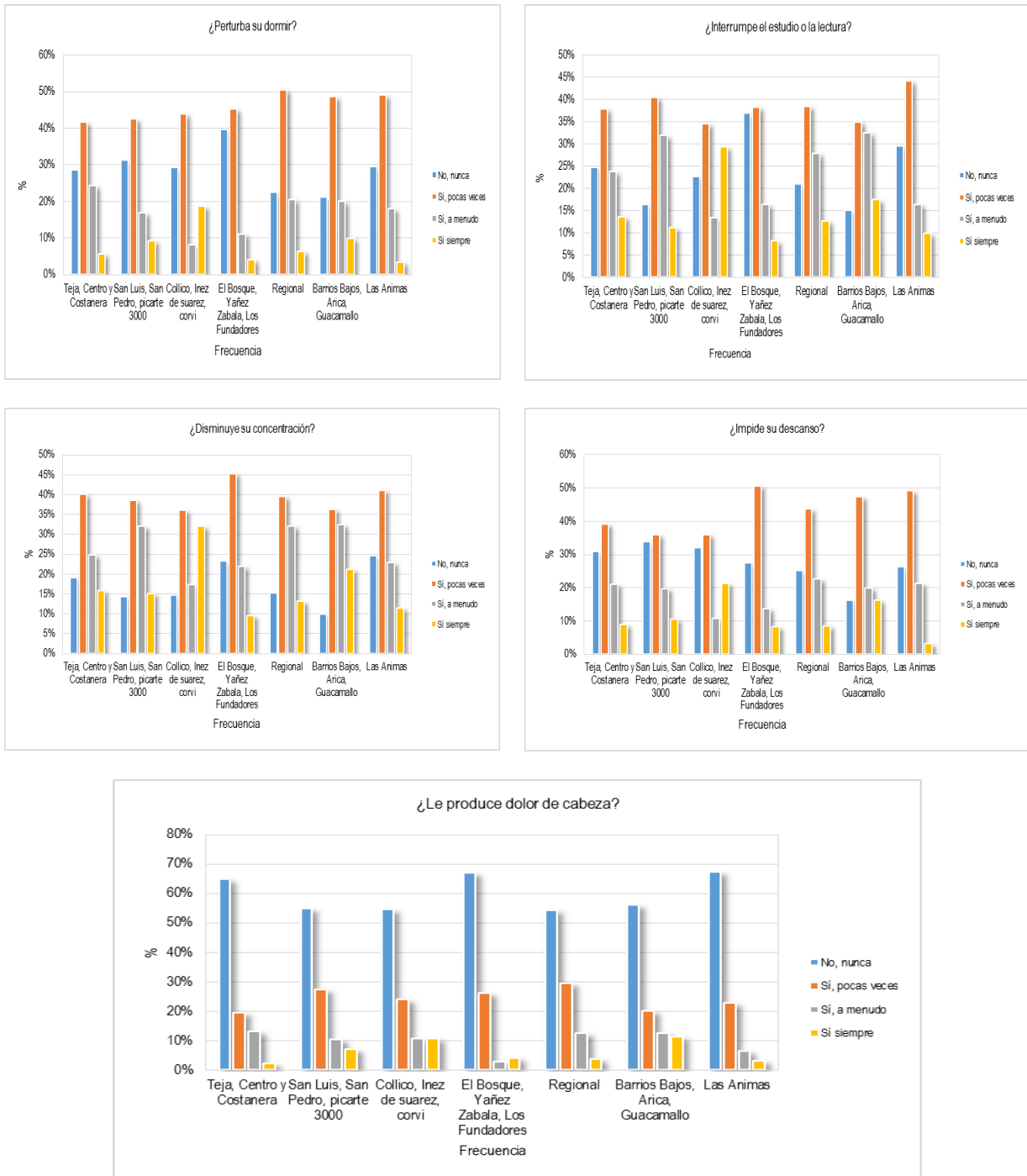


Fig. 113. Distribución de los Factores de Impacto del ruido ambiental según zona.

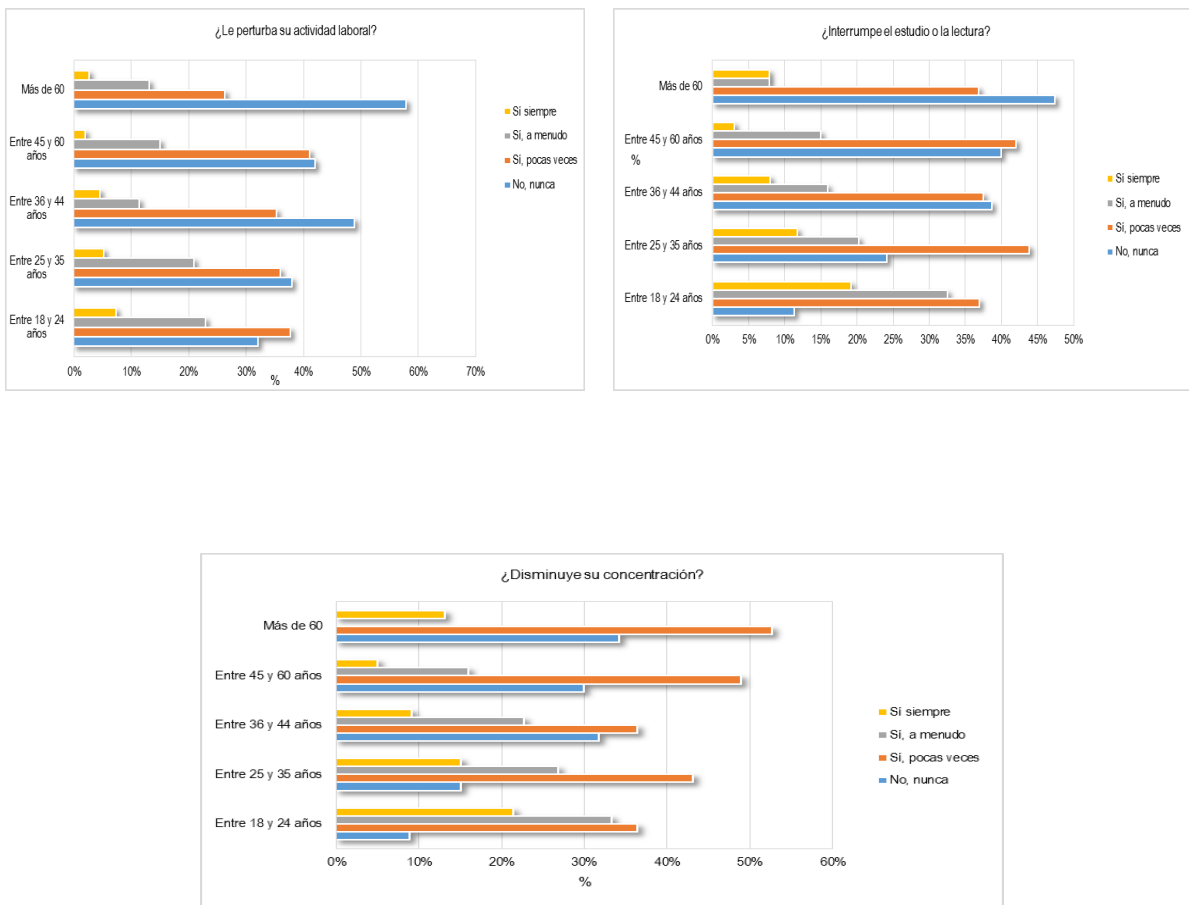


Fig. 114. Distribución de los Factores de Impacto del ruido ambiental según edad.

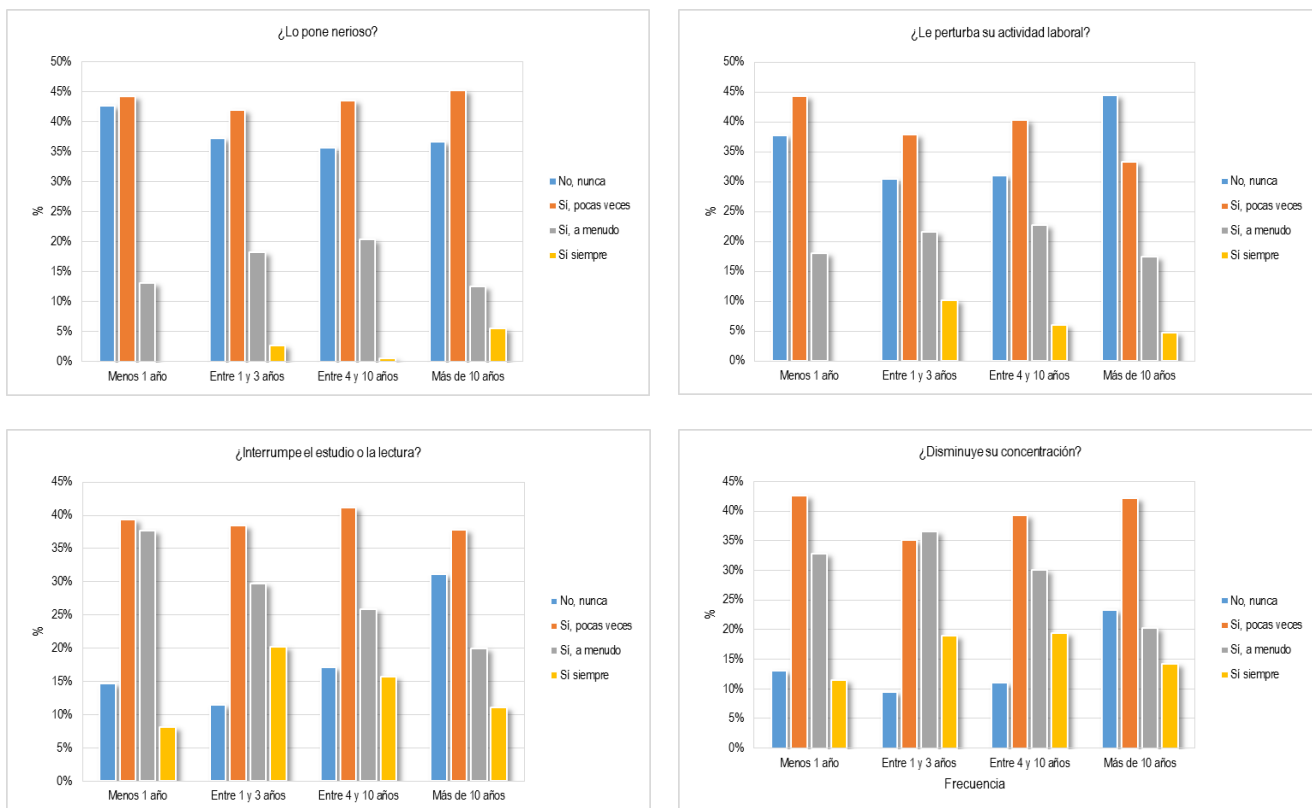


Fig 115. Distribución de los Factores de Impacto del ruido ambiental según tiempo de residencia.

9.1.4.5. Descripción de las variables de área verde y paisaje sonoro de la ciudad.

I. Lugares Públicos

Los resultados reflejados en la siguiente tabla indican que el área pública más visitada corresponde al Parque Kramer, seguido del Parque Santa Inés y de la Plaza Chile con un 16,8%; 13,4% y 11,9% respectivamente. Hay que aclarar que el porcentaje de la alternativa ninguna alcanzó al 41% aproximadamente, a estas personas se le consultó si visitaban algún otro lugar, y en la tabla siguiente muestra que entre el Jardín Botánico y el Parque Saval éstos son visitados por un 25% de los consultados.

Tabla 96. Análisis de frecuencia de lugares más visitados de áreas verdes públicas en la ciudad.

| Area Verde | Frecuencia | Porcentaje |
|-----------------------------|------------|------------|
| 1. Plaza Bernardo O'Higgins | 9 | 1,13 |
| 2. Plaza Teniente Merino | 8 | 1,01 |
| 3. Plaza Las Animas | 5 | 0,63 |
| 4. Plaza Simón Bolívar | 31 | 3,89 |
| 5. Plaza Pastene | 12 | 1,51 |
| 6. Parque Harnecker | 69 | 8,67 |
| 7. Parque Kramer | 134 | 16,83 |
| 8. Parque Santa Inés | 107 | 13,44 |
| 9. Plaza Chile | 95 | 11,93 |
| 10. Ninguna / Otras | 326 | 40,95 |

Tabla 97. Análisis de frecuencia de lugares más visitados de áreas verdes públicas en la ciudad (Categoría Otras).

| Área verde | Frecuencia | Porcentaje |
|------------------------------|------------|------------|
| Jardín Botánico UACH | 175 | 20,69 |
| Parque Saval | 33 | 3,90 |
| Jardín Botánico UACH / Saval | 18 | 2,13 |
| Parque Urbano El Bosque | 14 | 1,65 |
| Otras | 606 | 71,63 |

II. Calificación aspectos de área verdes

Con respecto a las calificaciones de algunos aspectos relacionados con áreas verdes, se analizó el espacio, Mobiliario, Tranquilidad, naturaleza, ambiente sonoro y seguridad, se observa en la siguiente tabla y su figura que las más altas calificaciones se obtienen en aspectos relacionados con el espacio, la tranquilidad y la naturaleza con 5,4, 5,1 y 5,4 respectivamente, seguidos de la seguridad con 4,8, el promedio más bajo se obtuvo en mobiliario con 3,7. También podemos observar que el 50% de los encuestados manifestó una puntuación mayor o igual a 6 en naturaleza, espacio y tranquilidad.

Tabla 98. Resumen estadísticas para distintos aspectos relacionados con áreas verdes.

| | Media | LI | LS | Mediana | S |
|-----------------|-------|------|------|---------|-------|
| Espacio | 5,38 | 5,26 | 5,50 | 6 | 1,744 |
| Mobiliario | 3,66 | 3,54 | 3,79 | 4 | 1,836 |
| Tranquilidad | 5,06 | 4,92 | 5,19 | 6 | 1,889 |
| Naturaleza | 5,44 | 5,32 | 5,56 | 6 | 1,754 |
| Ambiente sonoro | 4,10 | 3,96 | 4,23 | 4 | 1,923 |
| Seguridad | 4,76 | 4,64 | 4,88 | 5 | 1,727 |

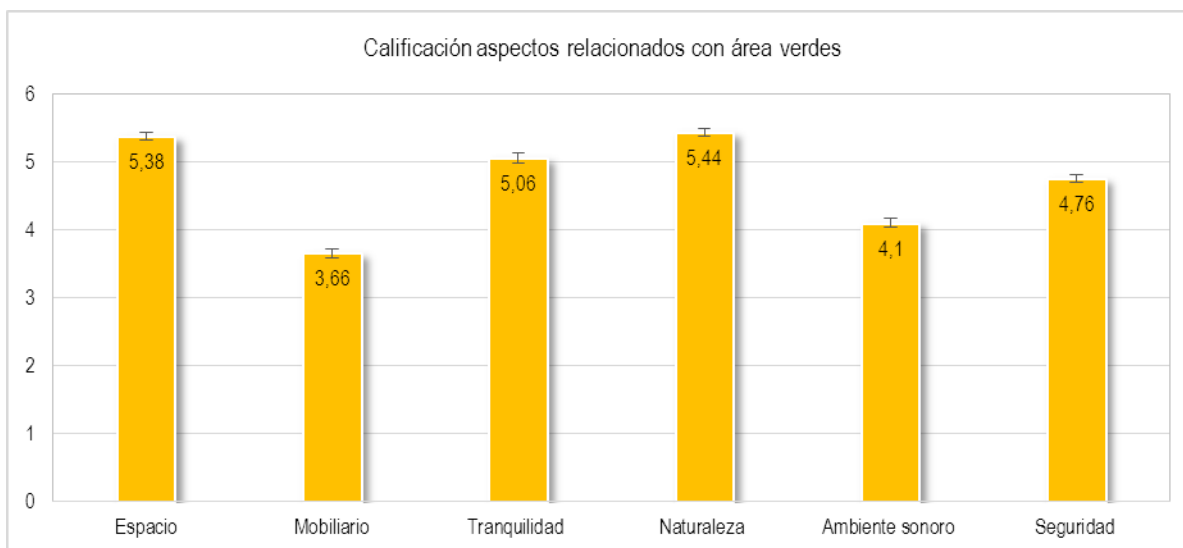


Fig. 116. Resumen estadístico para aspecto relacionados con las áreas verdes (media y error estándar).

III Paisaje sonoro

Respecto a la calificación de los sonidos escuchados en las áreas verdes, podemos observar en la siguiente figura, que tanto para las aves y el viento presenta los más altos porcentajes en las categorías agradable y muy agradable, en tanto para los niños y las personas el mayor porcentaje cayó en neutral. En relación al tránsito vehicular los mayores % caen en desagradable y no se escuchan.

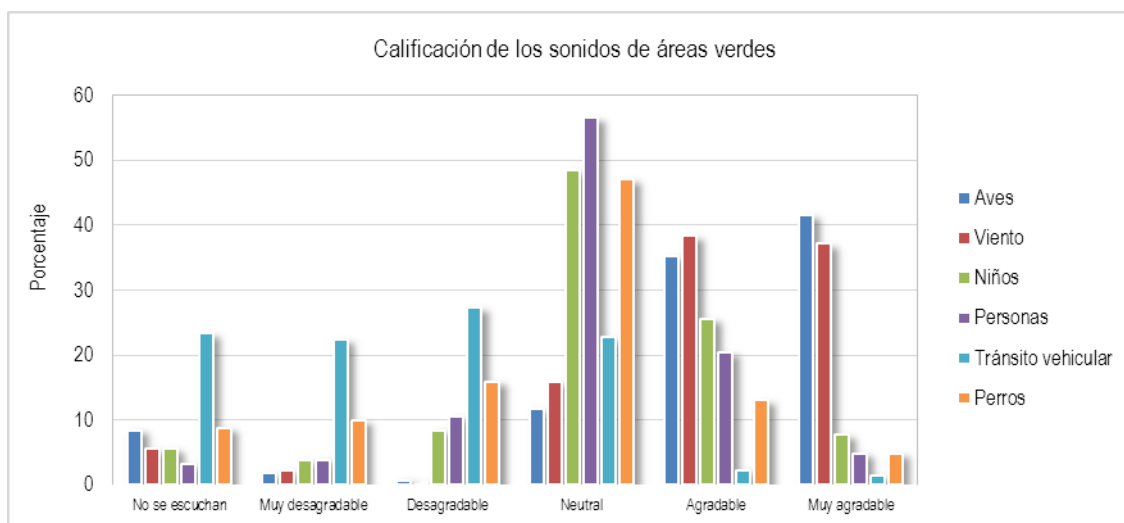


Fig. 117 Distribución de los sonidos de áreas verdes según categoría sonora.

La figura se muestra los motivos por los cuales se visitan las áreas verdes, aquí se indica que el 64,2% lo hace para caminar y el 63,1% para pasear, donde sólo el 11,8% manifestó que iba por los juegos de los niños o para estudiar y/o leer.

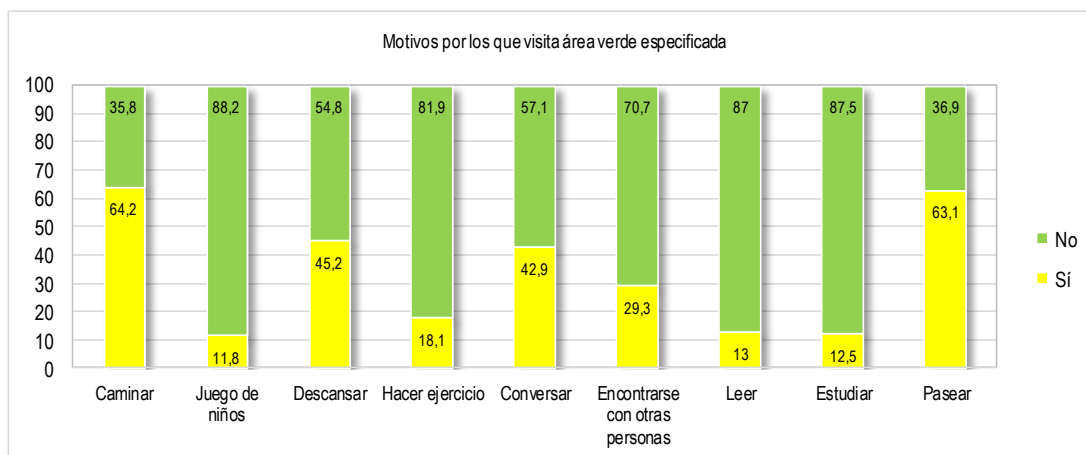


Fig.118. Distribución de frecuencias de los motivos de visitas a las áreas verdes

Respecto a los residentes que manifestaron ir por otros motivos podemos ver en la siguiente tabla las principales fueron motivos que se encuentran alrededor del área verde no dentro de ellas.

Tabla 99. Resumen alternativas para otros motivos para visitar áreas verdes.

| | Frecuencia | Porcentaje |
|-------------------------|------------|------------|
| Agua - río | 16 | 1,89 |
| Embarcaciones fluviales | 21 | 2,48 |
| Música | 25 | 2,96 |
| Construcción | 10 | 1,18 |
| Otras | 774 | 91,49 |

Finalmente la figura se muestra la percepción de los residentes frente distintos ambientes sonoros, podemos observar como los más relevantes a el sonido de la lluvia y las tormentas con más del 60% que establece que es absolutamente característico, le sigue el sonido de la feria fluvial y el canto de las aves que casi alcanza el 50% en la categoría muy característico. Los otros sonidos evaluados caen en la categoría de neutral principalmente.

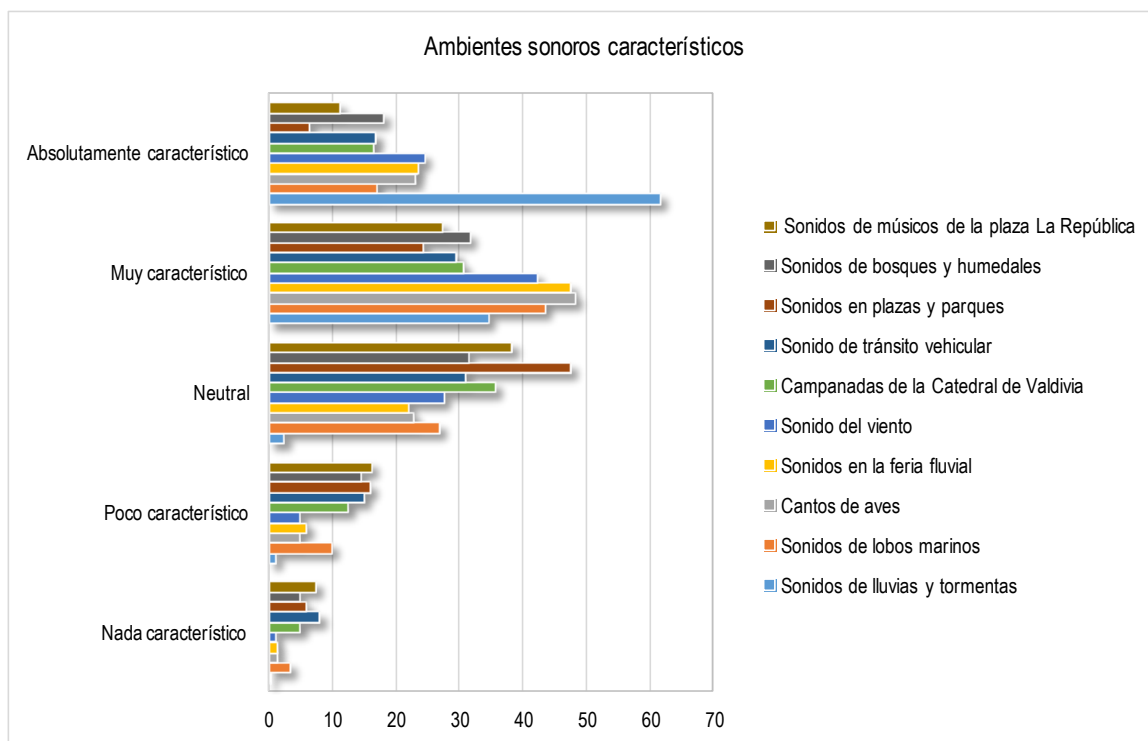


Fig. 119. Distribución de frecuencias de los ambientes sonoros característicos.

9.1.4.6. Descripción de las variables relacionada con la evaluación de las políticas públicas.

Respecto a la opinión sobre la prioridad que debe dar la autoridad a las medidas para controlar el ruido ambiental, el 60% manifiesta que la mayor prioridad la deben tener el proteger las áreas tranquilas y educar a las personas sobre los efectos del ruido, le siguen de mejorar el entorno sonoro de las áreas verdes y medir el ruido en la ciudad, seguido de mayor fiscalización, el prohibir la música en las calles es la alternativa que presentó la prioridad más baja.

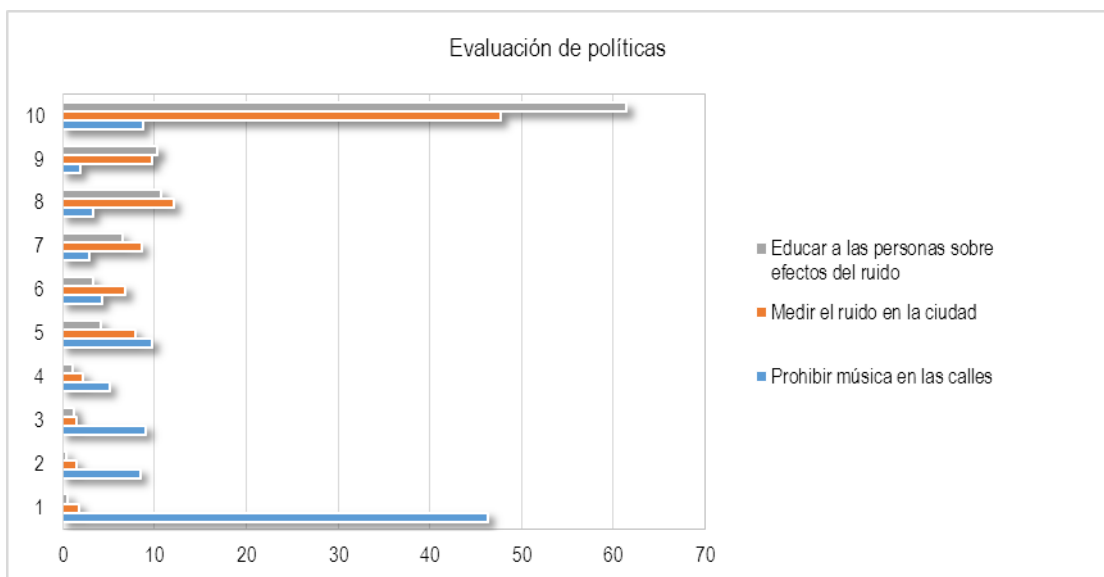
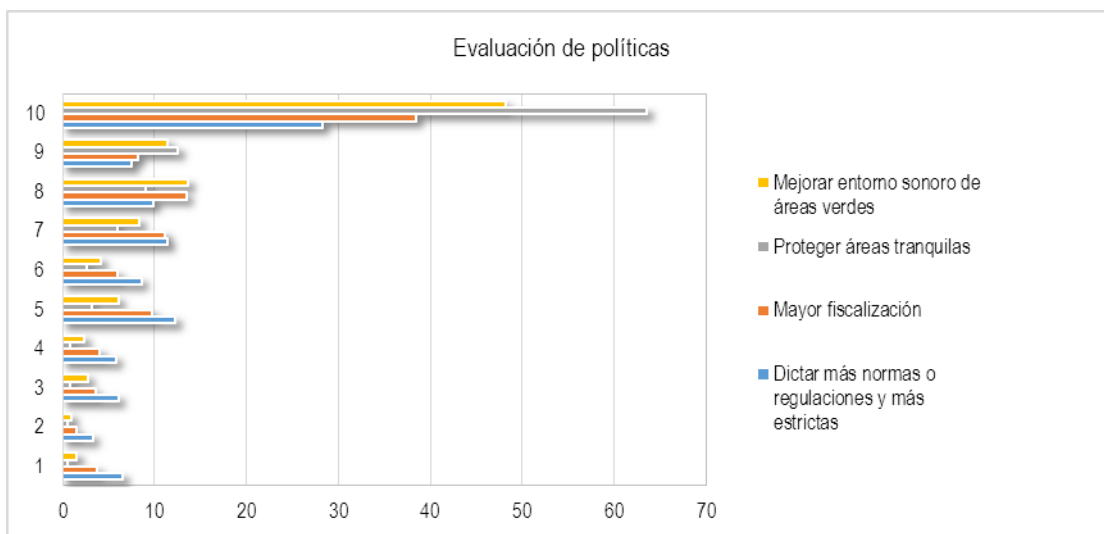


Fig. 120. Distribución de frecuencias de la evaluación de las políticas públicas

Entre las alternativas sobre otras prioridad que deberían tener las autoridades surge aplicar estudios y avances tecnológicos en control de ruido para transito e industrias.

Tabla 100. Resumen alternativas para otros motivos que debiera priorizar la autoridad.

| | Frecuencia | Porcentaje |
|--|------------|------------|
| Proteger las áreas verdes | 11 | 1,30 |
| Aplicar estudios y avances tecnológicos en control de ruido, para tránsito e industrias. | 18 | 2,13 |
| Crear conciencia, a través de la educación ciudadana sobre el ruido y sus consecuencias. | 4 | 0,47 |
| Más Arboles. Más áreas verdes. | 6 | 0,71 |
| Prohibir propaganda con alta voces | 5 | 0,59 |
| Fiscalizar lugares de diversión, pub, restaurantes, etc | 6 | 0,71 |
| Otras | 796 | 94,09 |

9.2. Estudio de Valorización Acústica de Espacios Verdes en Valdivia (Actividad Adicional 2).

9.2.1. Descripción general

Por medio de un trabajo de ecología urbana, se ha realizado una evaluación de la valorización de áreas verdes en la ciudad de Valdivia. El objetivo es obtener datos de interés que permitan realizar una primera orientación de recomendaciones en gestión ambiental en la ciudad de Valdivia, donde existe un elevado porcentaje de áreas verdes por habitante.

Esta experiencia está orientada a complementar la información acústica obtenible a partir de las mediciones y modelaciones en los mapas de ruido, de manera de tener una visión más completa del entorno sonoro, y de buscar orientar mejor aquellas líneas de trabajo futuro en la materia. Esta fue una experiencia piloto y no se contempló repetirla en otra ciudad

Se pretende analizar la valorización de los espacios verdes urbanos, en el contexto del paisaje acústico. Diversos beneficios han sido adjudicados a la presencia de espacios verdes en las ciudades, sin embargo, éstos siguen disminuyendo para poder cumplir las necesidades de vivienda y desarrollo inmobiliario en general.

En una cartografía se indicaron las áreas verdes emblemáticas y posibles de reconocer por nombre y ubicación, y fueron evaluadas vía la encuesta online (actividad 3.7 de este proyecto), incorporando preguntas específicas sobre el tema. Las áreas fueron elegidas lo más homogéneamente posible a través de la ciudad, maximizando así la posibilidad de que el encuestado las conozca por cuanto las visita o por la cercanía a su hogar o lugar de trabajo

9.2.2. Contexto

9.2.2.1. Relevancia de las áreas verdes en la ciudad

En la actualidad de la mitad de la población mundial vive en áreas urbanas [WUP 2014]. Este fenómeno ha generado que áreas del conocimiento tradicionalmente alejadas de la planificación urbana, se hayan interesado por la investigación en varios ámbitos de planificación urbana. Una de estas áreas del conocimiento es la Ecología, que usualmente se le asocia a procesos que ocurren en áreas con amplias superficies cubiertas por vegetación y donde la naturaleza es el principal elemento. Sin embargo, a mediados del siglo XX los ecólogos comienzan a hacer ecología en la ciudad, principalmente situando la flora y fauna de áreas verdes, para con el tiempo ir migrando a investigar la ecología de la ciudad [Gaston 2010]. Esto ha permitido abordar aspectos más complejos como lo son la interacción de las áreas verdes con la sociedad y su rol en la provisión de servicios ecosistémicos [Tratalos et al. 2007], [Davies et al 2008]

Este proceso si bien ha sido ventajoso, ha sido poco integrador y solo recientemente ha demandado una visión multidisciplinaria, y que corresponde a la que está guiando la planificación de algunas las ciudades. Sin embargo, gran parte de estos avances han sido desarrollados en ciudades de países desarrollados, dejando aún por ver si los modelos que hoy se aplican, por ejemplo en ciudades de Latina América, son o no los más adecuados. Esto último cobra aún más relevancia cuando se toma en cuenta que Latino América es la región más urbanizada del mundo, con un 80% de su población viviendo en ciudades y con una proyección para el 2050 de un 90% [HABITAT-ONU 2012].

Chile es el tercer país más urbanizado de Sud América, con un 99.5% de su población viviendo en ciudades [WUP 2014].

Dentro de las áreas urbanas, los espacios verdes han sido destacados desde la Ecología Urbana, por ser claves en la provisión de hábitat para la biodiversidad y de servicios ecosistémicos a la población [Crane y Kinzig 2005] [Gaston et al. 2005] [Morimoto 2001]. En esta misma línea, desde hace unos años han sido ampliamente considerados por su rol en la generación de efectos positivos sobre el bienestar físico y mental [Ulrich et al. 1991] [Fuller 2010], y si viene existe consenso sobre esto, no se sabe realmente como la presencia de la naturaleza entre estos beneficios [Fuller e Irvine 2010]

Dentro de los espacios verdes urbanos, aquellos de acceso público (áreas verdes), son de gran importancia pues pueden ser incluso el único contacto con la naturaleza para muchas personas que viven en la ciudad [Jorgensen et al. 2002], y a través de este contacto recibir los beneficios asociados. A pesar de su importancia, en muchos países estas áreas se han visto reducidas producto de la presión ejercida por demanda del mercado inmobiliario [Barbosa et al. 2007], mientras que en otros lugares persisten, pero son ignorados [McDonald et al. 2010], generando un deterioro que previene un aprovechamiento adecuado de estos. Cuando la disponibilidad de espacios verdes no es un problema, pueden estar inequitativamente distribuidos espacialmente y/o en relación al estatus socioeconómico, previniendo a parte de la población urbana recibir dichos beneficios [Barbosa et al. 2007] [Booth et al. 2010] [McDonald et al. 2010]. Esto es especialmente importante en regiones como Latino América y especialmente Chile, donde la inequidad social es marcada, reflejándose entre otras cosas en la segregación urbana y en la calidad y distribución de áreas verdes [Pauchard y Barbosa 2011], [Barbosa y Villagra 2014]

9.2.2.2. Multifuncionalidad de áreas verdes e importancia del paisaje acústico

Si bien las áreas verdes son diseñadas principalmente para proveer de recreación a la población urbana, éstas cumplen múltiples funciones. Por ejemplo, dependiendo del tamaño y el tipo de cobertura, un área verde intercepta e infiltra una gran cantidad de agua luego de una lluvia, captura carbono tanto en su biomasa aérea (vegetación) como subterránea (suelos y raíces), alberga una cantidad variable de flora y fauna, al mismo tiempo de proveer de un espacio de recreación y encuentro a la comunidad. Todas estas funciones son servicios ecosistémicos [MEA 2005]

Sin embargo las áreas verdes, pueden diferir en sus características y por esto variar en diverso grado la provisión de estos servicios. Por otro lado, estas características pueden influir en la frecuencia de visita, uso y valoración por parte de la población urbana. Por ejemplo, la calidad de estos espacios es el principal determinante de uso de áreas verdes, y ha sido demostrado que, por ejemplo, el diseño y composición de elementos de éstos, inciden en la percepción de seguridad y por esto la valoración y frecuencia de visitas [Jorgensen et al. 2002]. Signos de falta de mantención (ie. vandalismo y basura) también son asociados a falta de seguridad resultando un perjuicio a la valoración de estos espacios.

El ambiente acústico es otro determinante de la valoración de un área verde. La influencia del sonido en los espacios públicos se puede cuantificar con parámetros o descriptores acústicos, los cuales son objetivos y medibles. Estos se refieren a fuentes de ruido ambiental (como el tránsito vehicular), que están relacionadas también con la ubicación de las áreas verdes. Como es de suponer, tiene especial relevancia la opinión que tienen las personas que utilizan estos espacios, quienes son los que pueden valorar estos lugares bajo otros parámetros subjetivos, pues varían de persona a persona. [Figueroa 2013a]

Por ejemplo, un estudio realizado en la ciudad de Alcalá de Henares [Carles et al 1999], muestra que plazas periféricas poseen problemas de inseguridad y degradación urbana, sin embargo la presencia visual y sonora de elementos naturales como agua, vegetación y aves acuáticas, y la poca presencia de fuentes de ruido, como en tránsito vehicular, incrementan significativamente su valoración por parte de la comunidad. También se ha descrito que esta valoración o apreciación estaría relacionada con el nivel educacional de los encuestados. Por ejemplo un estudio realizado en la ciudad de Sheffield Inglaterra [Kiang Jian et al 2010], muestra una marcada preferencia a valorizar un mayor número de elementos del paisaje sonoro, y siempre haciendo énfasis positivo en elementos naturales.

Debido a que éstos y otros estudios han reportado una relación directa entre la valoración acústica subjetiva y los niveles sonoros objetivos de los espacios verdes en diversas ciudades, se ha llegado a recomendar que en caso de espacios verdes afectados por ruido, la presencia de factores o elementos naturales como vegetación, aves y flujos de agua, harán que mejore la percepción de los usuarios hacia estas áreas [Figueroa 2013]. A pesar de la relevancia que tales estudios le atribuyen a elementos naturales como moduladores de la percepción del ruido, no se ha estudiado el efecto de las áreas verdes en sí mismas, como elementos moduladores en la dispersión del ruido o por esto su efecto indirecto en la percepción. Esto puede ser de gran relevancia en ciudades que poseen un carácter esencialmente “natural”, ya sea porque se han conservado grandes extensiones de áreas verdes complejas con bosques lagunas u otros elementos que den cuenta de naturaleza, o bien que estas sean así producto de la falta de diseño paisajístico. Estudios recientes han descrito que elementos como la biodiversidad, tiene una repercusión en la percepción de los espacios verdes y también sobre la calidad de vida [Fuller et al 2007], [Fuller et al. 2010], pero no se sabe exactamente cuáles son y como ejercen este efecto debido a la falta de trabajo multidisciplinario que se requiere para esto [Keniger et al. 2013]

En Chile, si bien se han realizado estudios para determinar tanto los niveles de ruidos como la percepción sobre estos, no existen estudios sobre la función que tiene las áreas verdes sobre la percepción de ruido, y de cómo el ambiente acústico aporta a la valoración de un área verde por parte de sus visitantes.

9.2.3. Valdivia como estudio piloto

Por todo lo anterior, y en ausencia de claro lineamiento sobre el mejoramiento de la calidad de áreas verdes respecto a su realidad acústica, se justifica indagar en esta condición particular de las áreas más usadas por la población de Valdivia.

Valdivia es una ciudad intermedia, con una población de 166000 habitantes [INE 2015] Tomando en cuenta la existencia de algunos estudios previos (FONDECYT 11110183) que permitieron la digitalización y evaluación de elementos de la ciudad, es que se tomó Valdivia como caso de estudio para investigar la valoración de las áreas verdes en el contexto del paisaje acústico-

Estudios preliminares dan cuenta de una gran disponibilidad de áreas verdes, alcanzando valores que bordean los 10 m² por habitante. En este contexto es especialmente relevante en Valdivia comprender la valoración que se le da a estos espacios, pues si bien los rangos de acceso son los sugeridos por la OMS, la calidad de estas áreas varía fuertemente de un barrio a otro.

En el presente análisis se ha tenido como base, estudios previos del equipo investigador. En este sentido, se definió como área verde a todas zonas potencialmente verdes con acceso público y un ancho >10 metros, para excluir

pequeños antejardines y bandejones. Las zonas se identificaron por medio de fotointerpretación de la imagen Geoeye-1 (captura Abril 2010; FONDECYT 1110183) y fueron digitalizadas usando polígonos a través del software ARCMAP 10.0 en el Laboratorio de Análisis Espacial de la Universidad Austral de Chile (ICAEV, Facultad de Ciencias).

Para definir los espacios que se analizarían, se realizaron visitas en terreno para corroborar su existencia, y su acceso público. Adicionalmente, sobre estos espacios se realizó una consulta municipal que permitió diferenciarlos entre espacios con manejo y sin manejo, para determinar aquellos que son de propiedad municipal. Además se diferenciaron según los tipos de uso y función urbana dentro de la ciudad, basándose en la ordenanza municipal de Valdivia. Todo lo anterior fue realizado en el contexto del proyecto FONDECYT 1110183 entre los años 2011-2013.

Respecto a los elementos relevantes a medir, estos se eligieron en base a este estudio anterior que mostró la identificación de elementos clásicos como tráfico vehicular (vehículos), niños, arboles, aves gente perros y otros.

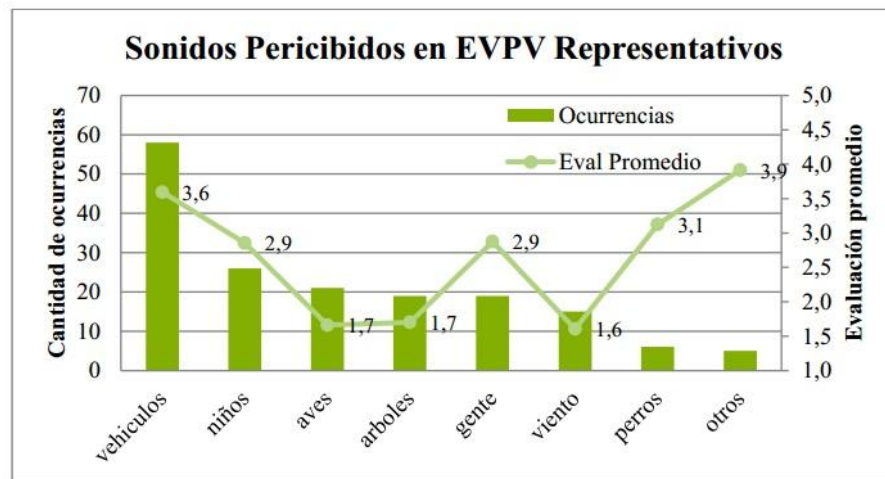


Fig. 121. Frecuencia y calificación subjetiva de los sonidos percibidos los espacios verdes públicos de Valdivia (EVPV), más representativos [Figuroa 2013 tomado de FONDECYT#11110183].

De las áreas anteriormente mencionadas, se determinaron 12 tipos de áreas verdes de acceso público todas las categorías, las cuales incluyen bandejones, cementerios, proyectos en creación, humedales, jardines, parques, paseos peatonales, plazas, plazoletas, recintos deportivos, sitios eriazos y verdones.

Para el presente estudio se eligieron 9 áreas verdes del conjunto de áreas municipales, que cumplieran los siguientes requisitos:

- a) Acceso público. Para el propósito de la encuesta online y en el contexto de las políticas públicas, el foco está dirigido a áreas verdes en el sentido de “uso público”
- b) Propiedad Municipal. A pesar de existir áreas de uso público no municipales, dos censos y encuestas previamente realizadas (2012 y 2013) en el contexto del proyecto FONDECYT 1110183, mostraron que las áreas municipales son en general más visitadas. Este factor es determinante para tener mayor probabilidad de que estas áreas sean reconocidas por las personas que contestarán la encuesta online.

- c) Parques y/ plazas. Dentro de las diferentes categorías expuestas más arriba, y en base a los mismos censos previamente mencionados, son los parques y luego las plazas, las áreas verdes municipales más visitadas. Por esto se eligieron 3 de los 4 parques municipales de la ciudad (Santa Inés, Harnecker, Kramer) y luego plazas que mostraron una alta frecuencia de visitas.
- d) Distribución homogénea. Cumpliendo los criterios anteriores se intentó maximizar una distribución homogénea haciendo especial énfasis en elegir al menos un área verde por zona, en complemento a la distribución de los parques. En este sentido se agregaron las plazas Pastene, Simón Bolívar, Las Animas, Plaza Chile y Bernardo O'Higgins.
- e) Exclusiones. Tanto el parque Saval como la Plaza de la Republica, fueron excluidas de esta selección. El Parque Saval es un parque de gran afluencia, sin embargo la mayor parte del año es un centro de eventos por lo que su uso no es representativo de un área verde típica de Valdivia. La Plaza de la Republica, también es de gran afluencia pero también posee características particulares tanto por su materialidad como por el uso cotidiano que se le da. Dado que el objetivo es medir la valorización acústica de las áreas verdes de Valdivia, ambos lugares no solo no representan los más "típico", sino que además presentan características que influyen la percepción y valorización tales como: equipamiento, seguridad, cercanía a calles entre otros. Adicionalmente y previa discusión en el equipo, se acordó que tanto el Parque Saval como la Plaza de la Republica son lugares muy emblemáticos de Valdivia y al excluirlos se pretende disminuir la probabilidad de que la mayor parte de la población muestreada vía encuesta online, entregue información exclusivamente sobre estos dos lugares. Otro espacio verde importante en Valdivia es el Jardín Botánico de la UACH, que no se incluyó en este estudio, dado que corresponde a un espacio privado.

Adicionalmente se incluye una opción para agregar otra área verde en caso de que ningún de las anteriores fuese conocido por el encuestado.

De esta manera, se seleccionaron las siguientes áreas verdes:

1. Plaza Bernardo O'Higgins
2. Plaza Teniente Merino
3. Plaza Las Ánimas
4. Plaza Simón Bolívar
5. Plaza Pastene
6. Parque Harnecker
7. Parque Kramer
8. Parque Santa Inés
9. Plaza Chile

Los detalles de la encuesta se encuentran en el capítulo correspondiente de este informe. A continuación se destacan los resultados de la encuesta que hacen referencia directa a la valoración acústica de las áreas verdes.

La encuesta online mostró que otras alternativas a las seleccionadas (las 9 áreas en estudio) no alcanzaron en conjunto un 41%. Es decir una proporción importante de personas dice visitar con más frecuencia otras áreas entre las cuales se destacan el Jardín Botánico de la UACH, el Parque Saval, y el Parque Urbano el Bosque. Cabe destacar que estos espacios no habían sido escogidos en la lista de la encuesta porque dos de ellos no son áreas verdes públicas, y el Parque Saval también es un centro de eventos. A pesar de lo anterior, estas tres áreas verdes poseen características comunes que las hacen atractivas y que quedan reveladas en las siguientes secciones en la encuesta. Estas características tienen gran relación con el aspecto natural, su gran superficie y la presencia de lagunas y/o

humedales, en conjunto con una gran cantidad de vegetación representada principalmente por bosque nativo. Todos estos aspectos permiten, desde ya, destacar su función e importancia para la ciudad y sus habitantes.

Tabla 101. Porcentaje de encuestados que visitan las siguientes áreas verdes

| Área verde | Porcentaje |
|--------------------------|------------|
| Plaza Bernardo O'Higgins | 1,13 |
| Plaza Teniente Merino | 1,01 |
| Plaza Las Animas | 0,63 |
| Plaza Simón Bolívar | 3,89 |
| Plaza Pastene | 1,51 |
| Parque Harnecker | 8,67 |
| Parque Kramer | 16,83 |
| Parque Santa Inés | 13,44 |
| Plaza Chile | 11,93 |
| Ninguna / Otras | 40,95 |

Tabla 102. Porcentaje de encuestados que visitan otras áreas verdes (no incluidas)

| Área verde | Porcentaje |
|----------------------------|------------|
| Jardín Botánico UACH | 20,69 |
| Parque Saval | 3,90 |
| Jardín Botánico UACH/Saval | 2,13 |
| Parque Urbano El Bosque | 1,65 |
| Otras | 71,63 |

Tal como se mencionó anteriormente, el aspecto de las áreas verdes son determinantes de su uso y por lo tanto de su valoración. De todos los aspectos evaluados, espacio, mobiliario, tranquilidad, naturaleza, ambiente sonoro y seguridad, las valoraciones más altas fueron asignadas a naturaleza, espacio y tranquilidad, dejando en último lugar el mobiliario, lo cual es una característica usualmente determinante para el uso de espacios verdes.

Con respecto a la descripción del paisaje sonoro, éste muestra resultados similares respecto a la frecuencia con que se mencionan aspectos de la naturaleza. Por ejemplo, las aves y el viento son los elementos mayormente destacados como agradables y muy agradables. Por otro lado el tránsito vehicular fue calificado como desagradable para la mayor parte del rango de las personas encuestadas, como era de esperar.

Interesantemente estos elementos naturales (lluvia/tormentas y aves) descritos como agradables parecieran ser de tal importancia, que en la pregunta siguiente varios de estos aparecen elegidos como sonidos característicos de la ciudad. Así mismo, el elemento que les sigue en importancia es al sonido de la feria fluvial. Este último es un elemento cultural importante de la ciudad y tal como se ha descrito en otras ciudades del mundo (Sheffield, UK) [Kiang J., et al 2010], elementos asociados a lo histórico y cultural suelen ser elementos destacados en el paisaje acústico.

Respecto a qué prioridad debe dar la autoridad a una serie de medidas para controlar el ruido ambiental, el 60% manifiesta que la mayor prioridad la deben tener el proteger las áreas tranquilas y educar a las personas sobre los

efectos del ruido. Le siguen el mejoramiento del entorno sonoro de las áreas verdes y medir el ruido en la ciudad, seguido de mayor fiscalización, el prohibir la música en las calles es la alternativa que presentó la prioridad más baja. Sin embargo algunos encuestados agregaron otras prioridades no listadas en la encuesta, en donde destacan junto con aplicar estudios y avances tecnológicos para el control de ruido producido por el tránsito e industrias, la protección de áreas verdes y la incorporación de más de estas y de árboles en la ciudad.

9.2.4. Desafíos y lineamientos

Los resultados presentados en este informe destacan la importancia de la incorporación de las áreas verdes como elemento central en la percepción de paisaje acústico urbano. Sin embargo a pesar de la evidencia de estudios internacionales que relacionan elementos naturales con un mejoramiento del paisaje sonoro [Charles et al 1999], [Kiang J., et al 2010], en la planificación las áreas verdes no son un elemento explícito a considerar en esta función.

En otras palabras y tomando en cuenta la multifuncionalidad de estos espacios cuando se usa el concepto de servicios ecosistémicos, podemos ver que es posible sacar mejor provecho a un área verde en cuanto a los beneficios que la comunidad puede percibir. Esto es especialmente cierto en Valdivia, en donde más del 58% de su superficie está cubierta en algún grado por áreas verdes, ya sea formales (municipales), informales (acceso público pero de propiedad no municipal) y jardines domésticos, por lo tanto existiendo un gran potencial para explorar en profundidad la valoración del paisaje acústico. En este estudio nos concentramos en un set de áreas verdes municipales de uso frecuente, sin embargo en la ciudad de Valdivia (límite comunal), existen áreas verdes formales 482 (superficie total de 184ha) y 184 (superficie total de 423ha) informales. Estas no solo difieren en tamaño sino en sus características, las cuales, como se ha mostrado en los resultados, determinarían una valoración acústica diferente.

Respecto a la distribución del tamaño promedio de las áreas verdes municipales, es evidente que la mayor parte de estos son pequeñas ($\approx 4.069 \text{ m}^2 \pm 19.781$) en relación a los tamaños medios de las áreas verdes informales ($\approx 15.511 \text{ m}^2 \pm 62.992$), y la superficie (espacio) es uno de los parámetros mejor valorados en los resultados de la encuesta online. Los tamaños de las áreas verdes informales de Valdivia son mucho mayores, y cabe destacar que las áreas que fueron mencionadas adicionalmente en la encuesta online, corresponden a tres parques con un promedio en tamaño de 26.6 ha.

Por otro lado, la calidad o más bien el conjunto de elementos que se pueden encontrar en estas áreas difieren profundamente entre las áreas verdes formales e informales, siendo los formales, dominados por arbolado, pastizales y pavimento, mientras que los informales están dominados por arbolado, pastizales y cuerpos de agua, que en la mayoría de los casos son humedales. Estas zonas poseen una alta diversidad de aves, las cuales se sabe mejoran el paisaje acústico. Es decir los elementos asociados a "naturaleza" están más presentes en proporción a los de espacios con pavimento o suelos desnudos. Resulta evidente que, además del aporte sonoro, las áreas ricas en vegetación y aves proveen mayor absorción sonora que las zonas pavimentadas. Lo anterior contribuye a un ambiente acústico de mayor intimidad, orden y riqueza sonora que una zona rígida reflectante. El aporte acústico que proporcionan los cuerpos de agua, son elementos sonoros relevantes en la riqueza y variedad acústica que ofrecen a las aves y animales, tranquilidad, y variedad paisajística.

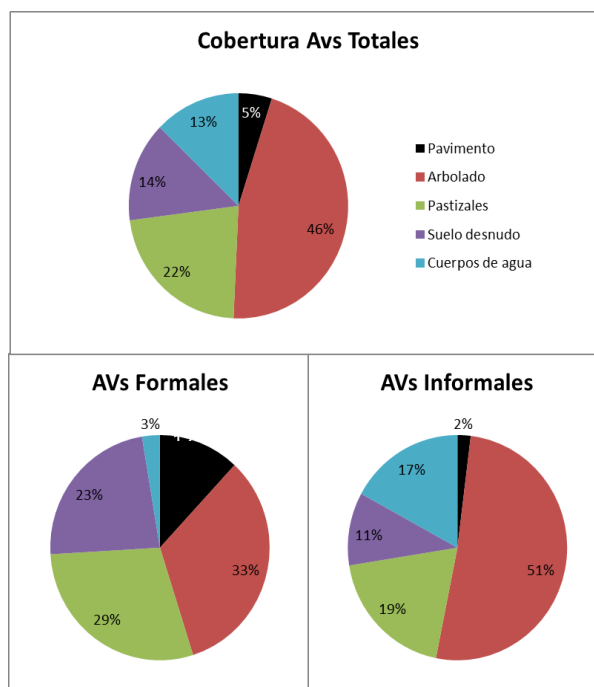


Fig. 122. Coberturas por tipo de área verde. Fuente: FONDECYT #11110183, (adaptado de Silva et al en revisión).

Otra gran diferencia tiene que ver con su distribución en el territorio. Si bien las áreas verdes municipales están relativamente homogéneamente distribuidas, las áreas verdes informales, están principalmente concentradas en la zona suroeste de la ciudad, zona que además presenta un rápido crecimiento principalmente a través de la creación de viviendas sociales

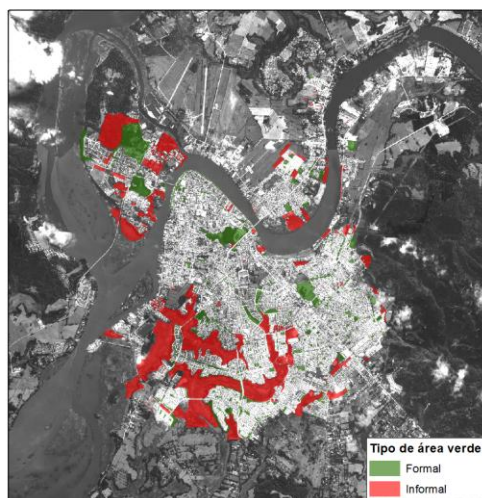


Fig. 123. Distribución de áreas verdes formales e informales en Valdivia. Fuente: FONDECYT #11110183

Interesantemente, se puede observar desde el mapa de ruido de Valdivia que estas zonas también presentan un nivel relativamente menor de ruido, sobretodo de día.

9.2.5. Valorización áreas verdes

En virtud de los resultados obtenidos se puede apreciar que:

1. La población encuestada en Valdivia valora el paisaje acústico en las verdes en relación a aspectos y elementos asociados con la naturaleza
2. Al momento de priorizar acciones por parte de las autoridades, se pide no solo resguardar espacios de tranquilidad, sino que además se hace mención explícita de mejorar y aumentar las áreas verdes y árboles de la ciudad.
3. Valdivia posee una gran cantidad de áreas verdes cumpliendo estándares de la OMS en cuanto superficie por persona, sin embargo si se incorporan explícitamente las áreas verdes informales, los valores aumentan ostensiblemente.
4. Las áreas verdes informales que pudiesen ser incorporadas a la red de áreas verdes de la ciudad, presentan condiciones ideales para mejorar la valoración del paisaje acústico en las áreas verdes. Estas presentan tamaños promedio mayores, gran cantidad de arbolado, y elementos naturales como agua, y flora y fauna.

Por todo lo anterior se destaca el potencial que tienen estas áreas, que hasta hoy están abandonadas o bien han ido desapareciendo por rellenos ilegales y construcciones de viviendas. Se recomienda potenciarlas, porque además están distribuidas en una zona de la ciudad en donde la población está creciendo rápidamente.

Junto con aumentar la investigación en estas áreas, se recomienda evaluar el costo-beneficio de mejorar con elementos naturales las áreas municipales existentes o bien potenciar aquellas informales mencionadas en este informe.

Cabe destacar que para algunos elementos como por ejemplo la presencia de aves, habrá importantes restricciones que impedirán aumentar la diversidad de estas en ciertas plazas por ejemplo por no poseer árboles y otras estructuras naturales o bien por estar muy aisladas de áreas que posean una comunidad de avifauna compleja.

Por último, se deben tomar en cuenta estrategias innovadoras para incrementar la valorización del paisaje acústico por parte de la población. Un estudio piloto realizado recientemente en la ciudad de Valdivia (Proyecto Explora: Conociendo, indagando y valorizando los paisajes acústicos de mi ciudad, <http://paisajecustico.blogspot.com/2012/06/inauguracion-proyecto-sobre-valoracion.html>), representan un excelente ejemplo de como la entrega de herramientas simples y novedosas, puede generar cambios en la percepción y valorización del paisaje a través de la entrega del conocimiento.

9.3. Estudio de Paisaje Sonoro en Valdivia (Actividad Adicional 3).

9.9.1. Descripción general

Un estudio de patrimonio y paisaje sonoro permite una definición de aquellos aspectos más relevantes para las personas y la valorización de tales elementos. Se incluyó en la encuesta (actividad 3.7) preguntas sobre este tema, se levantó información en terreno, incluyendo grabaciones sonoras binaurales de calidad profesional.

Esta experiencia está orientada a complementar la información acústica obtenible a partir de las mediciones y modelaciones en los mapas de ruido, de manera de tener una visión más completa del entorno sonoro, y de orientar mejor aquellas líneas de trabajo futuro en la materia.

El equipamiento a utilizado para los registros de alta calidad contempla un sistema para grabaciones en terreno, consistente en un grabador portátil Soundevices 788T y un sistema de grabación binaural Dummy Head Marca Neumann, modelo KU 100, adquirido especialmente para este proyecto en particular por el Instituto de Acústica de la Uach.



Fig. 124. Dummy Head Neumann, KU 100.

Las grabaciones se ponen a disposición de este estudio para efectos didácticos y documentales. Se definen lineamientos para trabajos futuros en la materia. Esta es una experiencia piloto, y se realizó solo en Valdivia.

9.9.2. Relevancia de los Paisajes Sonoros

Los paisajes sonoros constituyen un elemento significativo, definen el entorno sonoro que nos rodea permanentemente, y afectan el bienestar de las personas y su calidad de vida. Pueden ser evaluados en términos positivos y/o negativos. Como ejemplos de paisajes sonoros positivos se puede mencionar el sonido del mar; un entorno por el cual fluye un río o el sonido de la lluvia. Por el contrario, un paisaje sonoro negativo sería convivir en un entorno con altos niveles de ruido perjudiciales para la salud física y mental de las personas, donde el sonido constituye un elemento de desorden, desagrado y molestia.

El estudio del paisaje sonoro puede ser empleado como herramienta para la conservación del medio ambiente, brindando información útil respecto de las interacciones entre el sonido y el entorno acústico de una determinada zona geográfica, de tal forma que:

- entrega indicadores acústicos y facilita el análisis del grado de contaminación acústica de las áreas urbanas, emplea distintos criterios normativos y su comparación con otros entornos.
- brinda la posibilidad de identificar sonidos que pueden ser de interés desde el punto de vista ambiental, cultural, patrimonial o social.
- puede entregar información para gestionar espacios urbanos y arquitectónicos, áreas verdes, ordenamiento territorial y desarrollo socio-demográfico de una región.
- permite comprender la percepción de los ciudadanos, sus problemáticas, conflictos y preferencias respecto del ambiente sonoro.
- da cuenta de los impactos acerca de los sonidos presentes en el entorno, ya sean estos impactos positivos o negativos.

9.9.3. Marco teórico

La literatura disponible en relación a los Soundscapes, en adelante Paisaje Sonoro en este documento, muestra que este es un tema altamente multidisciplinar que envuelve muchas ideas, conceptos, objetivos y métodos distintos. De hecho, la definición del término Paisaje Sonoro es algo confusa. El término a menudo se considera una adaptación del término visual "paisaje" (Schafer, 1994 - originalmente publicado 1977), que cambia el foco desde lo visual al entorno sonoro. Actualmente no existe una definición acordada de paisaje sonoro, el que se puede definir como "la totalidad de sonidos dentro de una zona con un énfasis en la relación entre la percepción individual o social de, la comprensión e interacción con el entorno sonoro". Esta definición se basa en las definiciones de paisajes sonoros originales y definiciones de paisaje. Los paisajes sonoros pueden ser estudiados a nivel micro (lugar individual; por ejemplo, parque urbano, calle, ambiente), meso (área pequeña; por ejemplo, zona residencial, gran centro comercial) o a nivel macro (gran superficie; por ejemplo, toda la ciudad). [Sarah et al. 2009]

La investigación acerca de los paisajes sonoros se ha llevado a cabo desde diferentes disciplinas, tales como la acústica, psicoacústica, psicología, arquitectura, geografía, planificación del paisaje, ingeniería, música, antropología, entre otros. Una cualidad de la investigación del paisaje sonoro, es que no sólo se centra en los aspectos negativos del entorno sonoro, sino también en los aspectos positivos y por ende, está estrechamente relacionada con la investigación y metodologías de la calidad del sonido. Corresponde a un área de trabajo inter y transdisciplinaria compleja, porque involucra análisis físicos y percepciones subjetivas.

9.9.3.1. Modelos de paisajes sonoros

Para la descripción y evaluación de paisajes sonoros se han desarrollado diversos modelos, cada uno con sus ventajas y desventajas, los cuales generalmente combinan una variedad de elementos que desde las diferentes disciplinas son consideradas necesarias.

Por ejemplo:

- Kull [Kull 2006] incorpora en los paisajes sonoros sonidos naturales (no antropogénico) y artificiales (fuentes antropogénicas). Los elementos de sonido no antropogénicos incluyen el clima, los animales, el mar, la vegetación y el terreno. Los elementos de sonido antropogénicos incluyen fuentes móviles, fuentes fijas, estructuras y materiales, entre otros.
- Job [Job et al.1999] consideran que la investigación del paisaje sonoro debería incorporar las variables medioambientales, socioculturales y psicológicas tales como la contaminación atmosférica y la actitud del/los individuos.
- Cain [Cain et al 2008] define que el aspecto “sonoro” puede ser medido psicoacústicamente, en tanto “el paisaje” corresponde a la relación entre diversas fuentes que pueden cambiar constantemente y ser percibidas por un individuo. De esta manera los paisajes sonoros son considerados positivos dependiendo de la actividad y ubicación individual, entre otros factores. A modo de ejemplo, diferentes personas (o poblaciones) llevan a cabo diferentes actividades (comprar, comer, etc.) que alteran su estado de percepción.

En síntesis, diversos investigadores separan el concepto de paisaje sonoro, en secciones que les permiten identificar aspectos que consideran importantes para comprenderlo, además es claro que en la mayoría de los modelos están presentes el individuo y los factores físicos que lo rodean.

Las evaluaciones de paisajes sonoros involucran una importante componente subjetiva, que incluyen el conocimiento del individuo y la experiencia previa del paisaje sonoro, el significado que deriva de éste, su actitud hacia la fuente sonora, su comportamiento, su sensibilidad al ruido, el aspecto cultural y demográfico, y su sentido de control sobre el ruido. Diversas investigaciones han demostrado que a veces un paisaje sonoro es percibido como una colección de los sonidos individuales que lo componen, por lo tanto, las evaluaciones de paisajes sonoros están relacionadas con la evaluación de los tipos de sonido [Suárez 2002]. Esto implica que la evaluación del paisaje sonoro se basa en la identificación de los sonidos, la prominencia de éstos, y potencialmente la relación entre ciertos tipos de sonido dentro del paisaje sonoro. También se destaca que, debido a que el paisaje sonoro varía con el tiempo, cualquier evaluación de paisaje sonoro se refiere a un singular momento en el tiempo. Por otra parte, se ha demostrado que las evaluaciones de paisajes sonoros pueden depender de la memoria de un individuo (al utilizar métodos de evaluación subjetivos) y/o el segmento del paisaje sonoro que se registró (al reproducir sonidos grabados en una situación de laboratorio).

La experiencia multi-sensorial también es altamente relevante para la evaluación del paisaje sonoro, y por lo tanto debe ser reconocido el hecho que los paisajes sonoros no son percibidos de manera aislada. En particular, se ha demostrado que las interacciones audiovisuales tienen un efecto sobre la percepción del paisaje sonoro.

9.9.3.2. Acercamientos metodológicos

Varias metodologías han sido utilizadas para el estudio de paisajes sonoros. Éstas han incluido acercamientos cuantitativos y cualitativos para determinar las medidas objetivas y subjetivas que relacionan a los paisajes sonoros y a las percepciones que se hace de ellos. Las investigaciones se ha llevado a cabo en ambientes urbanos y rurales. En los ambientes urbanos, la investigación del paisaje sonoro está a menudo enfocada hacia las carreteras y el tráfico aéreo y por tanto en las áreas residenciales se evalúa en relación a la molestia del ruido, mientras que en los espacios públicos, incluyendo parques urbanos y plazas son a menudo discutidos en ambos términos, positivos y negativos.

El énfasis de algunas investigaciones, tanto en áreas urbanas como rurales, ha sido el estudio de “zonas tranquilas” lo que ha llevado a sugerir incorporar el término “áreas de alta calidad acústica”.

9.9.3.3. Terminología utilizada en paisaje sonoro

Existe poco acuerdo sobre la terminología utilizada para describir los sonidos y paisajes sonoros entre diferentes disciplinas y profesiones. El lenguaje utilizado es importante de considerar al decidir sobre el método para medir y evaluar el paisaje sonoro. Las descripciones de los paisajes sonoros que serán identificados y/o evaluados, pueden dirigir a los participantes, por ejemplo de una encuesta, a responder de una manera determinada, que no necesariamente se relaciona con la forma en que ellos normalmente podrían conceptualizar y considerar el paisaje sonoro.

Los profesionales acústicos describen los sonidos utilizando las propiedades físicas, como el nivel sonoro, espectro de frecuencias y conceptos relacionados a la acústica arquitectónica. En contraste, las personas en general describen los sonidos por la fuente que lo produce. Esto sugiere que los sonidos no se conceptualizan como efectos acústicos abstractos sin ningún significado o contexto.

En general por parte del común de las personas, hay poca consistencia en la terminología utilizada para representar los sonidos y paisajes sonoros, en comparación con una terminología más coherente como lo es la utilizada para los estímulos visuales como el color, brillo, etc. También hay diferencias en el lenguaje utilizado dependiendo del tipo de descripción, tales como si se refiere a los eventos de origen (fuentes sonoras) o al ruido de fondo (colección de fuentes de sonoras). Los profesionales del área de la construcción como arquitectos, consultores acústicos, promotores inmobiliarios, etc. describen el entorno sonoro a través de las fuentes de sonido, descriptores sonoros (onomatopeyas y producción de sonido) y los descriptores de paisajes sonoros, con un menor número de términos usados para describir el conjunto del paisaje sonoro [Davies et al. 2009].

Por otra parte, las personas familiarizadas con paisajes sonoros urbanos en general describen las fuentes de sonido, y de vez en cuando los ruidos de fondo, en términos del efecto que el sonido tiene sobre quién lo percibe (descripción 'centrada en el sujeto'). Los ruidos de fondo se describen mayoritariamente por sus parámetros acústicos, tales como frecuencia, estructura temporal y nivel (descripción 'centrada en el objeto'), pero sin ninguna referencia a las fuentes individuales, de tal forma que todo el paisaje sonoro se concibe como una "fuente". [Sarah et al. 2009]

Algunos términos señalados por Schafer son [Schafer 1994]:

- **Keynote:** El sonido que se escucha continuamente o con frecuencia, por lo que constituye el fondo de la percepción de todos los demás sonidos, aunque puede no ser percibido conscientemente. También se le conoce como sonido de fondo. Un ejemplo es el sonido del mar para una comunidad marítima.
- **Señales Sonoras:** Sonidos que atraen la atención, contrastando así con los keynotes. También se les denomina sonidos en primer plano, en relación a una distinción de primer plano - fondo que se produce en la percepción visual. Un ejemplo es el sonido de una campana de la iglesia en un pueblo.
- **Soundmark:** Un sonido que es de importancia para la comunidad y/o tiene cualidades únicas.
- **Lo-fi:** Baja fidelidad es una "señal con deficiente relación señal a ruido". En este caso, el paisaje sonoro se compone de numerosas señales que compiten para ser escuchadas, enmascarándose una a otra.
- **High-fi:** Alta fidelidad es una "señal con favorable relación señal a ruido". Los sonidos pueden ser distinguidos claramente ya que hay poco enmascaramiento.

9.9.3.4. Clasificación y categorización de sonidos

Diversas clasificaciones han sido creadas para definir los sonidos ambientales. Los términos más comunes que se utilizan son "natural", "humano", y "mecánico". Tales tipos de clasificación dependen de la correcta identificación de la fuente de sonido. Esto significa que la información contextual y visual también puede ser necesaria, ya que algunos sonidos pueden ser percibidos iguales teniendo propiedades acústicas distintas (por ejemplo, saltos de agua y el tránsito vehicular continuo).

Schafer [Schafer 1994] inicialmente clasificó los sonidos en "naturales", "humanos", "sonidos y sociedad", "sonidos mecánicos", "calma y silencio" y "sonidos como indicadores". Cada una de estas clasificaciones también contiene subclasificaciones. Los sonidos, podrían aparecer varias veces a lo largo de las clasificaciones (por lo tanto no se consideraron mutuamente excluyentes) ya que la clasificación podría depender del contexto.

Otro sistema de clasificación fue desarrollado para comparar los elementos acústicos y visuales de un entorno rural. Sonidos antropogénicos (producidos por las actividades humanas y objetos), sonidos biológicos (producidos por los organismos), y sonidos geofísicos (producidos por elementos naturales).

El ruido de tránsito ha sido clasificado por el tipo de vía, carretera principal que conecta el centro de la ciudad con otras ciudades; camino de dos vías que conecta las diferentes zonas de la ciudad, las carreteras de un solo sentido, otras calles de la ciudad, o las calles peatonales.

Varios factores son importantes en la clasificación de los sonidos por parte de las personas. En particular, las fuentes de sonido y los tipos de eventos son utilizados para la agrupación y el etiquetado de las categorizaciones. Evaluaciones afectivas (emocionales) de sonidos también son elementos importantes en el sistema de clasificación, mientras que las propiedades acústicas contribuyen menos [Sarah et al. 2009].

9.9.3.5. Clasificación y categorización de paisajes sonoros

Una gran variedad de diferentes enfoques metodológicos se han utilizado para determinar la clasificación y categorización de los sonidos y los paisajes sonoros. Las clasificaciones generalmente se basan y se derivan de los niveles de sonido o tipologías tales como por ejemplo: el volumen de tránsito.

Las categorizaciones se desarrollan a partir de personas comunes, y tienden a ser categorizadas por fuentes de sonido. Las clasificaciones de paisajes sonoros también se han derivado de estudios acústicos, perceptuales, afectivos y lingüísticos. [Sarah et al. 2009]. Los paisajes sonoros se pueden clasificar como; Buenos (zonas tranquilas) o Malos (zonas ruidosas).

Ipsen [Ipsen 2002] identificó tres tipos de paisajes sonoros, que varían en complejidad:

- Modelo de paisaje sonoro dual: descrito como el menos complejo, considera la organización dual del tiempo y del espacio. Por ejemplo, naturales o urbanos, público o privado, la calle muy transitada de la ciudad o zona urbana tranquila.

- Modelo de paisajes sonoros de conversación: entendidas como procesos, que se basan en el diálogo entre el sonido y el auditor. Por ejemplo, bocinas de barcos que entran en el muelle, gallos cacareando por la mañana.
- Paisaje sonoro sintético: se describe como el más complejo, combinando las imágenes y sonidos que normalmente no ocurren juntos, como por ejemplo perros que ladran en el centro de la ciudad.

La identificación de un paisaje sonoro en términos de uno de estos tipos de modelos, aparentemente depende de cómo el receptor escucha e interpreta los sonidos.

9.9.3.6. Algunos ejemplos de paisajes sonoros

Se considerarán como elementos de un Paisaje Sonoro, aquellos que caracterizan e identifican a un entorno determinado. Pueden ser tanto naturales como artificiales, generados por la actividad humana, por la flora y fauna, o la dinámica del lugar. A continuación se nombran algunos modelos de los elementos que componen un Paisaje Sonoro:

- De las zonas rurales podemos oír los sonidos generados por el viento y su movimiento, cuando se interrelaciona con los árboles y pastizales.
- El sonido de la lluvia, el movimiento de las mareas y de los lagos, el torrente de un río, presentan un componente fundamental e imprescindible en el ambiente sonoro que nos rodea.
- En un ambiente natural los pájaros que pían, las ranas que croan, el rumor del agua de un arroyo, el trueno antes de la lluvia, el caer de granizos.
- En un ambiente rural, dos personas conversando, las campanas de la iglesia, el sonido del tractor faenando, el trote de un caballo, el movimiento de un molino.
- En un ambiente urbano, el tráfico, las bocinas, un auto estacionándose, la gente conversando, el sonido de la maquinaria, un edificio en obras, un centro comercial, el tono de celulares.

9.9.3.7. Paisajes sonoros y calidad ambiental

Es conveniente destacar que existen esfuerzos internacionales en incorporar los paisajes sonoros en la gestión ambiental. La investigación indica que las zonas tranquilas y paisajes sonoros confortables pueden beneficiar la salud mental. El proyecto “Paisaje sonoro de las ciudades y paisajes europeos” (Proyecto COST) es una figura intergubernamental para la Cooperación Europea en Ciencia y Tecnología, lo que permite la coordinación de financiamiento de investigación a nivel nacional en el ámbito europeo. Ver <http://soundscape-cost.org/> [COST 2013]. Esta red está integrada por 21 países de la Comunidad Europea, junto con Australia y Nueva Zelanda. Su principal objetivo es reforzar la ciencia que sustenta la investigación en Paisaje Sonoro y promover que el campo de estudio vaya mucho más allá de su estado actual, coordinando esfuerzos internacionales e interdisciplinarios. Esta acción potenciará al paisaje sonoro en legislaciones, políticas y prácticas destinadas a preservar y/o mejorar el medio ambiente sonoro. La relevancia que está cobrando la investigación del paisaje sonoro y su multiplicidad de criterios transdisciplinarios involucrados, requieren sistematizar cierto vocabulario y métodos para su abordaje en las distintas regiones del mundo. Como producto de esta necesidad es que se ha comenzado a desarrollar la normativa ISO sobre Paisaje Sonoro. Actualmente, el Grupo de Trabajo ISO/TC 43/SC 1/WG 54 ya cuenta con un primer borrador, las

normas ISO 12913 “Series on Soundscape”, las que están previstas para publicarse oficialmente en 2014 y 2015. En el transcurso del presente estudio se ha publicada la primera norma: ISO 12913-1:2014 Acoustics -- Soundscape -- Part 1: Definition and conceptual framework. Este documento deberá tenerse presente para futuros estudios.

9.9.3.8. Paisaje sonoro en América Latina

En América Latina el entorno acústico urbano presenta diferencias relevantes respecto de las ciudades de países más desarrollados. Estas diferencias se manifiestan tanto en las mediciones físicas como en las evaluaciones regulares y están dadas por diversos factores, entre los que priman los de origen cultural, organizativo y tecnológico. Existe una necesidad urgente de estudio y gestión del paisaje sonoro en las ciudades latinoamericanas, especialmente por su impacto en la calidad de vida de la población. Esta necesidad no sólo es expresada por especialistas de la región, sino que también por científicos de los países desarrollados, como lo manifestaron los reconocidos investigadores suecos Östen Axelsson y Birgitta Berglund en su conferencia en el Congreso Internoise 2010 de Lisboa “Soundscape management urgently needed in developing countries” (Es urgente gestionar el paisaje sonoro en los países en desarrollo), el que tuvo como eje temático “ruido y sustentabilidad”.

En Latinoamérica las diferencias entre países se manifiestan tanto en los hábitos de la población en torno al ruido, en las propiedades físicas de las fuentes sonoras (que presentan diferentes contenidos energéticos, espectrales y temporal en sus emisiones), como en los sonidos característicos de cada cultura, que también son únicos. Estas diferencias también están presentes entre las distintas regiones y países latinoamericanos, aunque en menor medida que respecto a culturas de otras regiones del mundo.

Los factores mencionados vuelven necesario aumentar los esfuerzos para la investigación del paisaje sonoro en América Latina y la participación en redes de cooperación internacional, lo que conformará la base de la gestión del entorno acústico para la mejora de la calidad de vida de la región.

Enlaces de interés:

- El Cloquido. Fonoteca de las Islas Canarias, para construir un Mapa Sonoro De Canarias. (<http://www.elcloquido.com/>) [El Cloquido 2013]
- Madrid Soundscape. <http://www.madridsoundscape.org/> [Madrid Soundscape 2013]
- European Soundscape Award <http://www.eea.europa.eu/highlights/the-european-soundscape-award-2013>
- Mapa sonoro de New York, www.nysoundmap.org
- Memoria Sonora de Galicia www.escoitar.org
- Mapa sonoro de la ciudad de Colonia, <http://soundmap-cologne.de/>
- Mapa sonoro del País Vasco, <http://www.soinumapa.net/>

9.9.4. Metodología

Para definir los Paisajes Sonoros de Valdivia considerados en este trabajo, se establecieron tres criterios:

1. Áreas verdes más visitadas (Encuesta)
2. Ambientes sonoros considerados característicos (Encuesta).
3. Tipos de vías en que fueron clasificadas las calles de Valdivia (Mapa de Ruido).

El primer criterio obedece a la necesidad de comprender cuáles son las percepciones de los ciudadanos y sus preferencias respecto del ambiente sonoro, además de la posibilidad de identificar sonidos que pueden ser de interés desde el punto de vista ambiental, cultural, patrimonial o social en la ciudad de Valdivia.

El segundo criterio fue establecido por el equipo consultor a fin de complementar la actividad adicional del proyecto correspondiente al estudio de las áreas verdes en la ciudad de Valdivia.

Finalmente, el tercer criterio se relaciona con un aspecto metodológico fundamental utilizado para la elaboración de los mapas de ruido en este proyecto y que por tanto pretende mostrar los distintos paisajes sonoros que pueden ser asociados a las distintas clasificaciones de las vías utilizadas para modelar la ciudad de Valdivia.

9.9.4.1. Áreas verdes más visitadas

Para determinar las “áreas verdes más visitadas” se incluyó una pregunta específica en la encuesta de ruido ambiental a residentes de la ciudad de Valdivia.

- Parte 4° Información sobre áreas verdes: Indique ¿cuál de éstas áreas verdes es la que visita con mayor frecuencia? (Ver mapa adjunto, escoja sólo una).

Tabla. 103. Resumen de respuestas sobre áreas verdes más visitadas, según encuesta On Line en Valdivia.

| Área verde | N° de respuestas |
|--|--|
| Plaza Bernardo O'Higgins | 10 |
| Plaza Teniente Merino | 8 |
| Plaza Las Animas | 5 |
| Plaza Simón Bolívar | 31 |
| Plaza Pastene | 13 |
| Parque Harnacker | 136 |
| Parque Kramer | 136 |
| Parque Santa Inés | 108 |
| Plaza Chile | 97 |
| Ninguna de las anteriores. (Indique la que usted visita) | Jardín botánico (226), Parque Saval (62); Parque urbano el bosque (18); otros (21) |

9.9.4.2. Ambientes sonoros característicos

Para determinar los “ambientes sonoros característicos”, también se incluyó una pregunta específica en la encuesta de ruido ambiental a residentes de la ciudad de Valdivia. La pregunta incluye una lista de ambientes sonoros validada por un panel de expertos en el trabajo de un estudiante de Ing. Civil Acústica [González 2012]. Estos ambientes sonoros fueron jerarquizados según el número de respuestas, sumando las columnas de respuesta “muy característico” y “absolutamente característico”.

- Parte 5° Información sobre ambiente sonoro: Indique cuan característicos son los siguientes “ambientes sonoros” en la ciudad de Valdivia:

Tabla. 104. Resumen de respuestas sobre ambiente sonoro más característicos, según encuesta On Line en Valdivia.

| | Nada característico | Poco característico | Neutral | Muy característico | Absolutamente característico |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------|---------|--------------------|------------------------------|
| Lluvias y tormentas (1) | 2 | 9 | 21 | 287 | 504 |
| Lobos marinos (5) | 26 | 82 | 223 | 356 | 136 |
| Cantos de aves (2) | 10 | 38 | 186 | 399 | 190 |
| Feria fluvial (3) | 11 | 48 | 181 | 393 | 190 |
| Viento (4) | 9 | 39 | 226 | 347 | 203 |
| Campanas de la catedral (7) | 41 | 105 | 290 | 251 | 136 |
| Tráfico vehicular (8) | 66 | 120 | 256 | 244 | 136 |
| Plazas y parques (10) | 48 | 133 | 391 | 199 | 51 |
| Bosques y humedales (6) | 39 | 119 | 256 | 260 | 148 |
| Músicos plaza de la república (9) | 61 | 132 | 310 | 229 | 90 |

9.9.4.3. Tipos de vías en Valdivia

Para modelar la ciudad de Valdivia sus calles fueron clasificadas en 6 categorías,

1. Calle local sin locomoción colectiva (LS)
2. Calle local con locomoción colectiva (LC)
3. Calle de servicio sin locomoción colectiva (SS)
4. Calle de servicio con locomoción colectiva (SC)
5. Calle colectoras sin locomoción colectiva (CS)
6. Calle colectoras con locomoción colectiva (CC)

9.9.4.4. Proceso de grabación de los paisajes sonoros de Valdivia

Las grabaciones fueron realizadas entre Octubre de 2014 y Marzo de 2015. Todos los registros sonoros se realizaron en calidad profesional; frecuencia de muestreo de 96 kHz en 24 bits, sin embargo para efectos de entrega de los resultados, posteriormente fueron transformados a calidad CD a 44,1 kHz/16bits.

Se utilizó la técnica de grabación binaural que consiste en ubicar una cabeza artificial en el lugar de grabación, de tal forma que si la reproducción se realiza a través de audífonos el auditor recibe una completa impresión del espacio acústico en forma idéntica a la que él tendría si mantuviera su cabeza en la misma ubicación de la cabeza artificial. La Dummy head KU 100 Neumann utilizada para este proyecto, corresponde a una réplica estandarizada de la cabeza humana equipada con micrófonos en sus oídos.

Todas las grabaciones de paisajes sonoros se complementaron con la medición de parámetros acústicos tales como el Leq, espectro en 1/3 de octava, etc. A sí mismo se midieron; coordenadas UTM, temperatura, humedad y velocidad del viento.

Equipamiento utilizado:

- Dummy Head Neumann, modelo KU 100
- Grabador Sounddevices 788T
- Sonómetro tipo I marca Cirrus modelo CR 171B
- GPS Garmin etrex
- Termoanemómetro Extech



Fig. 125 Sistema de grabación sonora utilizado para el registro de los paisajes sonoros.

9.9.5. Resultados

9.9.5.1. Paisajes sonoros registrados

Según los resultados de las encuestas, se seleccionaron 18 paisajes sonoros para ser grabados con técnica binaural;

- 6 áreas verdes más visitadas: Jardín botánico, parque Harnacker, parque Krammer, parque Santa Inés, plaza Chile y parque Saval.
- 6 ambientes considerados característicos: Lluvias y tormentas, cantos de aves, la feria fluvial, sonido del viento, lobos marinos, bosques y humedales, campanas de la catedral.
- 6 tipos de calles: LS, LC, SS, SC, CS, CC

De estos 18 paisajes sonoros, finalmente se grabaron 16. Las grabaciones de lluvias y tormentas, cantos de aves y sonido del viento no se incluyeron en este estudio, por presentar muchas posibilidades de registro, y se requiere un estudio detallado para cada uno de ellos. Los horarios de las grabaciones corresponden al que habitualmente pueden ser visitados los lugares escogidos. Por ejemplo, si bien un parque o un humedal posee una dinámica propia de día y noche, y a diferentes horas (amanecer y atardecer, por ejemplo), se escogió un horario en el cual sea más probable una visita de los vecinos

Tabla. 105 Resumen del registro de los paisajes sonoros en Valdivia.

| Paisaje sonoro | Leq dBA | L ₉₀ dB | Temp °C | Hum Rel % | Vel. Viento Km/hr | Coordenadas UTM |
|--|---------|--------------------|---------|-----------|-------------------|-----------------------|
| Jardín Botánico UACH 18 Enero 2015 | 47,8 | 43,6 | 25° | 31% | - | 18H 649784 5592582 |
| P. Harnacker 17 Enero 2015 19:00 hrs | 51,0 | 46,1 | 29° | 30% | Sin viento | 18H 651047 5590690 |
| Parque Krammer 17 Enero 2015 20:15 hrs | 52,8 | 43,1 | 29° | 30% | Sin viento | 18H 651616 5589194 |
| Parque Santa Inés 14 Marzo 2015 11:15 hrs | 49,0 | 45,6 | 16° | 56% | 1 | 18H 649286 5591750 |
| Plaza Chile 15 Marzo 2015 18:00 hrs | 57,1 | 54,8 | 19° | 52, % | 5 | 18H 650062 5591582 |
| Parque Saval 14 Marzo 2015 13:00 hrs | 46,7 | 43,2 | 19° | 52% | 4 | 18H 649081 5592906 |
| Feria fluvial 24 Marzo 2015 11:30 hrs | 72,0 | 68,2 | 17° | 50% | Sin viento | 18H 649935 5591552 |
| Lobos marinos 12 Marzo 2015 18:30 hrs | 68,0 | 57,4 | 26° | 34% | 3 | 18H 650075 5591844 |
| Bosques y humedales 15 Marzo 2015 08:00 hrs | 37,0 | 34,4 | 9,5° | 67% | Sin viento | 18H 650333 5588524 |
| Campanas de la catedral 18 Enero 2015 10:15 hrs | 67,1 | 50,9 | 15° | 55% | Sin viento | 18H 650140 5591401 |
| Calle Rudlof (LS) 19 Marzo 2015 16:00 hrs | 63,8 | 42,3 | 23,5 ° | 38,2% | Sin viento | 18H 650484 5589767 |

| Paisaje sonoro | Leq dBA | L ₉₀ dB | Temp °C | Hum Rel % | Vel. Viento Km/hr | Coordenadas UTM |
|---|---------|--------------------|---------|-----------|-------------------|-----------------------|
| Calle Eckhardt (LC) 23 Marzo 2015 09:30 hrs | 58,7 | 40,6 | 15,4° | 60% | Sin viento | 18H 652220 5591604 |
| Calle Beaucheff (SS) 20 Marzo 2015 16:30 hrs | 66,5 | 45,7 | 26° | 31 % | 4 | 18H 650767 5590969 |
| Calle Yungay (SC) 12 Marzo 2015 17:55 hrs | 71,5 | 62,3 | 22° | 34% | 3 | 18H 649964 5591293 |
| Avda Costanera (CS) 13 Marzo 2015 12:30 hrs | 70,6 | 57,3 | 17° | 54% | 4 | 18H 650712 5591710 |
| Avda Picarte (CC) 13 Marzo 2015 15:30 hrs | 73,7 | 62,1 | 22° | 32% | 6 | 18H 651527 5590537 |

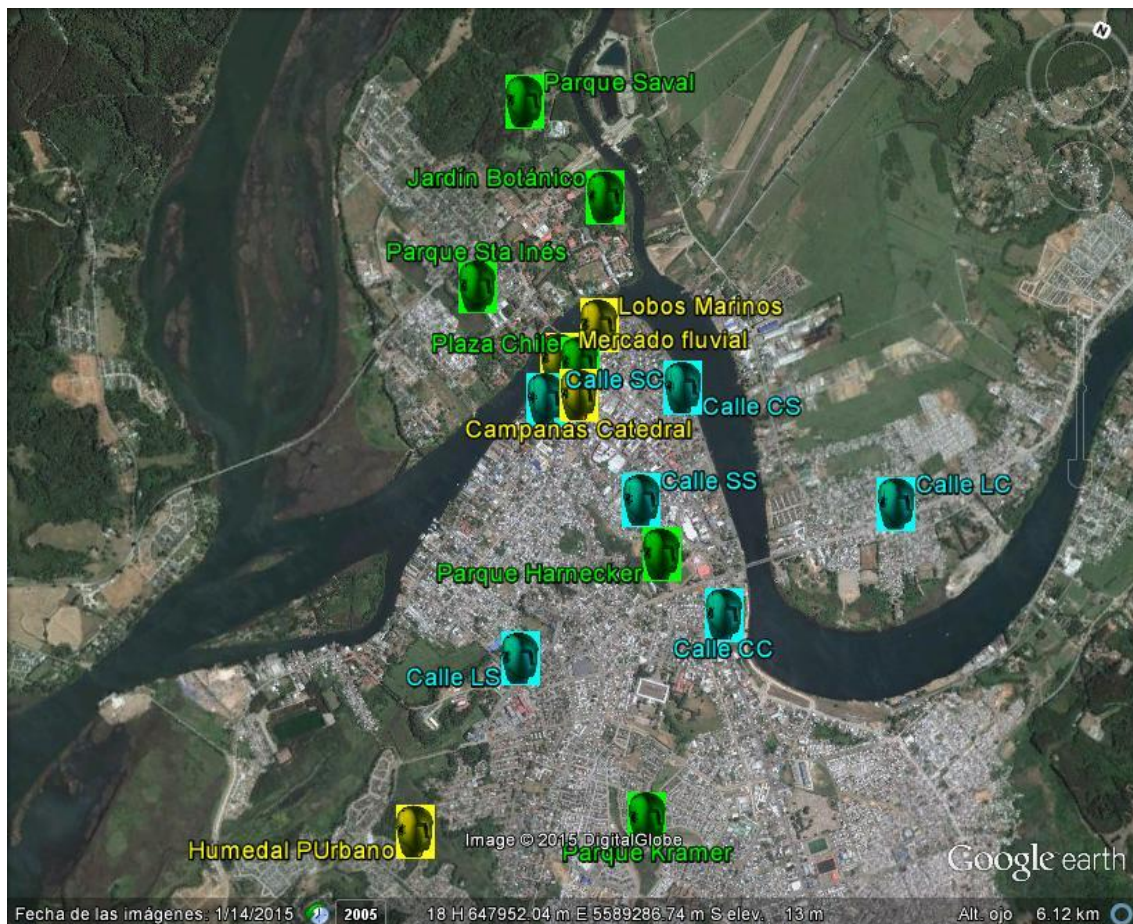
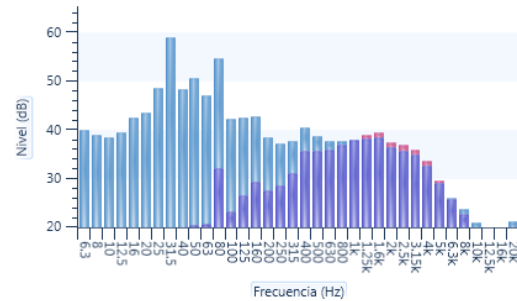


Fig. 126 Distribución espacial de los paisajes sonoros grabados en Valdivia.

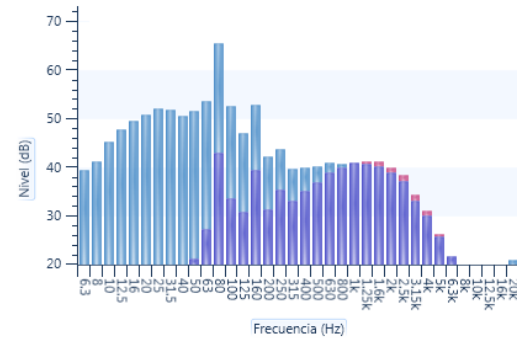
Fotografía del lugar de grabación
(Pistas en el CD)

Espectro de frecuencias, en bandas de 1/3 de octava, con y sin Ponderación A



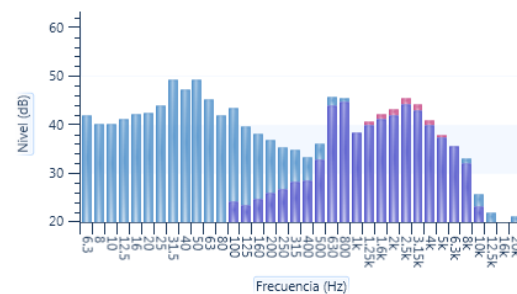
Jardín Botánico UACH
(Muestra T:02 y CompletoT:18)

● Sin ponderar ● A ponderado



Parque Municipal Harnecker
(Muestra T:03 y CompletoT:19)

● Sin ponderar ● A ponderado



Parque Krammer
(Muestra T:04 y CompletoT:20)

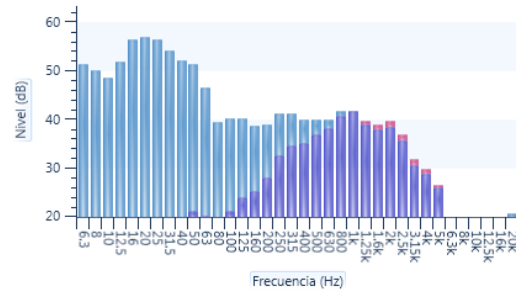
● Sin ponderar ● A ponderado

Fotografía del lugar de grabación
(Pistas en el CD)

Espectro de frecuencias, en bandas de 1/3 de octava, con y sin Ponderación A



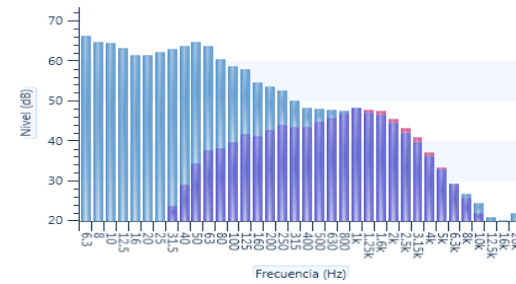
Parque Santa Inés
(Muestra T:05 y CompletoT:21)



● Sin ponderar ● A ponderado



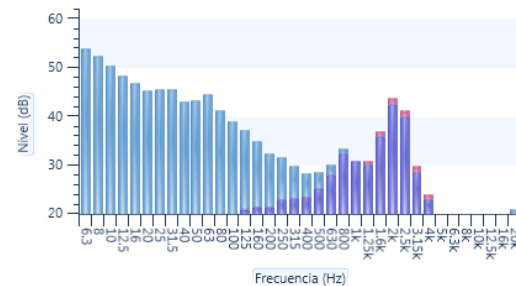
Plaza Chile
(Muestra T:06 y CompletoT:22)



● Sin ponderar ● A ponderado



Parque Municipal Saval
(Muestra T:07 y CompletoT:23)



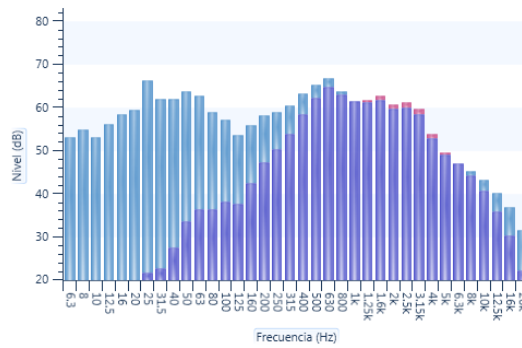
● Sin ponderar ● A ponderado

Fotografía del lugar de grabación
(Pistas en el CD)



Mercado Fluvial
(Muestra T:08 y CompletoT:24)

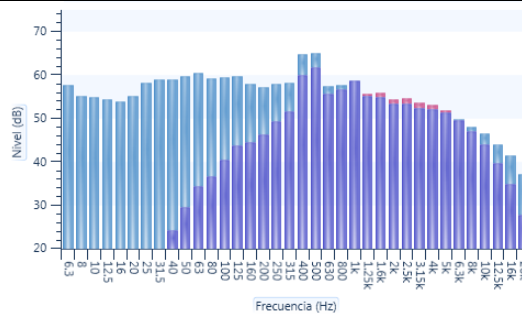
Espectro de frecuencias, en bandas de 1/3 de octava, con y sin Ponderación A



● Sin ponderar ● A ponderado



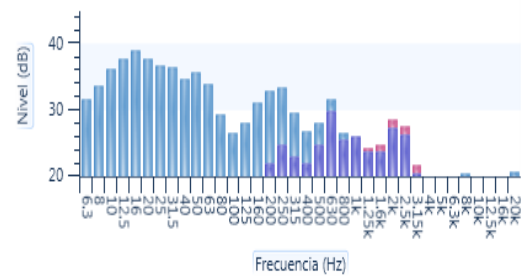
Avenida Costanera Lobos Marinos
(Muestra T:09 y CompletoT:25)



● Sin ponderar ● A ponderado



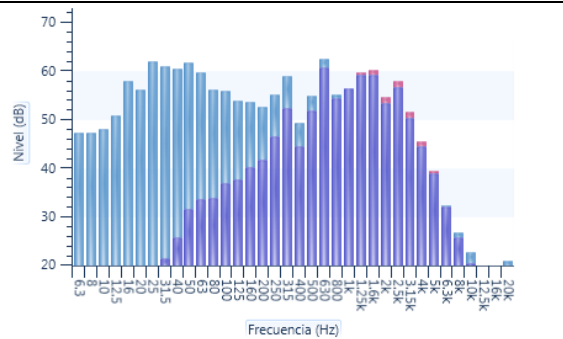
Humedal Parque Urbano El Bosque
(Muestra T:10 y CompletoT:26)



● Sin ponderar ● A ponderado

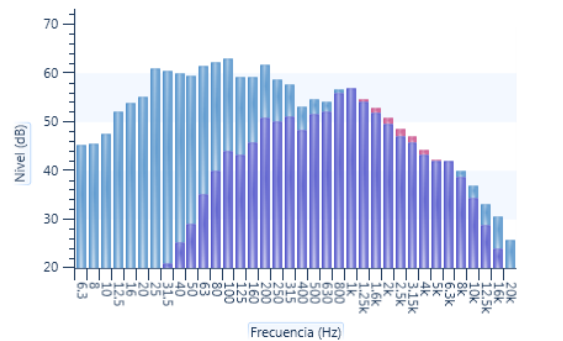
**Fotografía del lugar de grabación
(Pistas en el CD)**

Espectro de frecuencias, en bandas de 1/3 de octava, con y sin Ponderación A



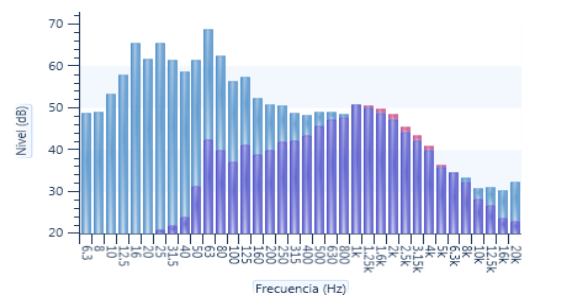
**Campanas Catedral
(Muestra T:11 y Completo T:26)**

● Sin ponderar ● A ponderado



**Calle Rudlof, Local sin locomoción colectiva (LS)
(Muestra T:12 y Completo T:27)**

● Sin ponderar ● A ponderado



**Calle Eckhardt, Local con locomoción colectiva (LC)
(Muestra T:13 y Completo T:28)**

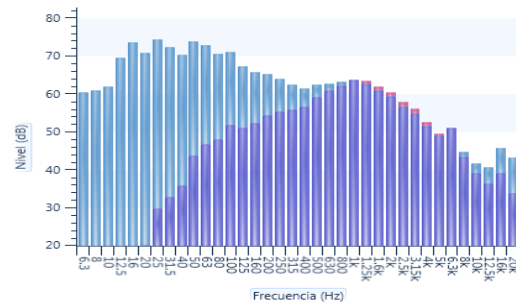
● Sin ponderar ● A ponderado

Fotografía del lugar de grabación
(Pistas en el CD)

Espectro de frecuencias, en bandas de 1/3 de octava, con y sin Ponderación A



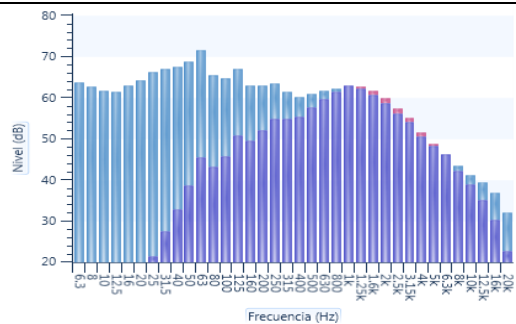
Calle Beaucheff, Servicio sin locomoción colectiva (SS) (Muestra T:14 y CompletoT:29)



● Sin ponderar ● A ponderado



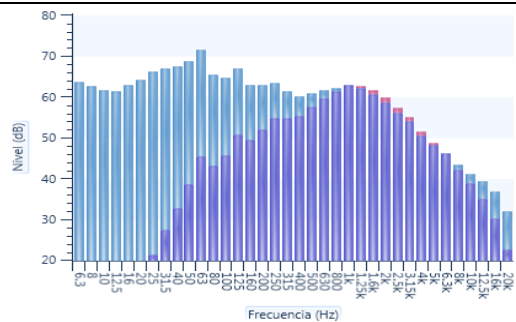
Calle Yungay, Servicio con locomoción colectiva (SC) (Muestra T:15 y CompletoT:30)



● Sin ponderar ● A ponderado



Av. Costanera, Calle Colectora sin locomoción colectiva (CS) (Muestra T:16 y CompletoT:31)



● Sin ponderar ● A ponderado

**Fotografía del lugar de grabación
(Pistas en el CD)**

Espectro de frecuencias, en bandas de 1/3 de octava, con y sin Ponderación A

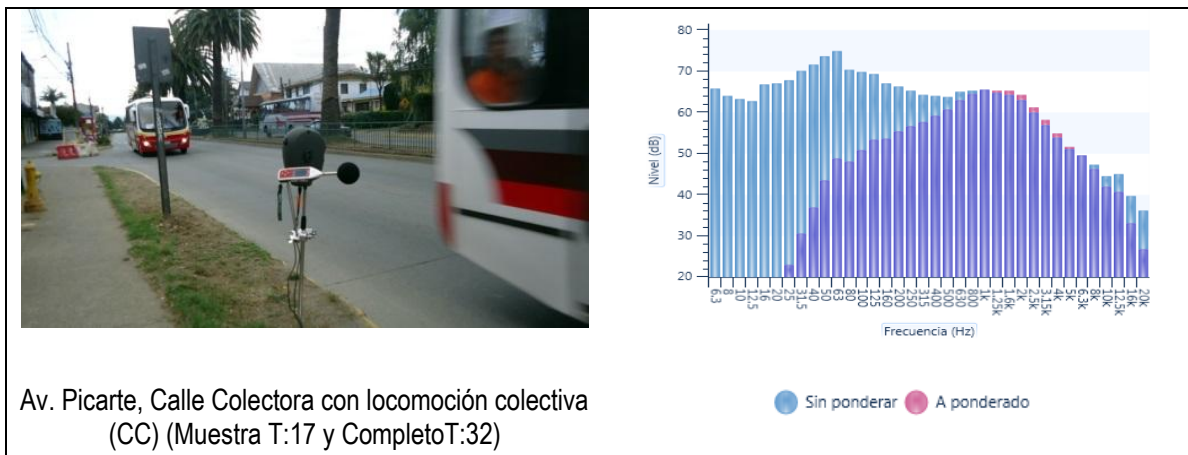


Fig. 127 Registro fotográfico y acústico del registro de los paisajes sonoros en Valdivia.

9.9.5.2. CD de Paisajes Sonoros

Adjunto a este informe se incluye un CD Audio “Paisajes sonoros de Valdivia 2015”, de duración: 01:07:00, como se detalla a continuación. Se ha incluido, para para registro de paisaje sonoro, una pista de muestra (breve de unos 15 segundos) y una pista de mayor duración. Eso permite explorar el contenido del disco rápidamente para formarse una idea general y luego realizar una escucha con mayor detalle de cada paisaje.

Tabla. 106 Contenido del CD Audio “Paisajes sonoros de Valdivia 2015”.

| Track | Contenido de la pista de audio |
|-------|---|
| T:01 | Ruido de referencia para que el auditor ajuste el nivel de los audífonos a un nivel confortable |
| T:02 | Muestra Jardín Botánico Uach |
| T:03 | Muestra Parque Municipal Harnecker |
| T:04 | Muestra Parque Krammer |
| T:05 | Muestra Parque Santa Inés |
| T:06 | Muestra Plaza Chile |
| T:07 | Muestra Parque Municipal Saval |
| T:08 | Muestra Mercado Fluvial |
| T:09 | Muestra Avenida Costanera lobos marinos |
| T:10 | Muestra Humedal |
| T:11 | Muestra Campanas catedral |
| T:12 | Muestra Calle local sin locomoción colectiva |

| Track | Contenido de la pista de audio |
|-------|--|
| T:13 | Muestra Calle local con locomoción colectiva |
| T:14 | Muestra Calle servicio sin locomoción |
| T:15 | Muestra Calle servicio con locomoción |
| T:16 | Muestra Calle colectora sin locomoción |
| T:17 | Muestra Calle colectora con locomoción |
| T:18 | Jardín Botánico Uach |
| T:19 | Parque Municipal Harnecker |
| T:20 | Parque Krammer |
| T:21 | Parque Santa Inés |
| T:22 | Plaza Chile |
| T:23 | Parque Municipal Saval |
| T:24 | Mercado Fluvial |
| T:25 | Avenida Costanera lobos marinos |
| T:26 | Humedal |
| T:27 | Campanas catedral |
| T:28 | Calle local sin locomoción colectiva |
| T:29 | Calle local con locomoción colectiva |
| T:30 | Calle servicio con locomoción colectiva |
| T:31 | Calle servicio con locomoción colectiva |
| T:32 | Calle colectora con locomoción colectiva |
| T:33 | Calle colectora con locomoción colectiva |

9.9.6. Conclusiones

En esta actividad piloto, se ha comprobado:

- La relevancia del entorno sonoro como factor ambiental a ser considerado, no sólo desde la perspectiva métrica de un fenómeno físico, sino que como un elemento que debe ser también valorado subjetivamente.
- La necesidad de incorporar estos conceptos en el cuidado del medio ambiente acústico, como una forma de colaborar en una mejor calidad de vida.
- El trabajo en paisajes sonoros es una línea de estudio nueva, que se encuentra a nivel mundial, en pleno desarrollo como elemento ambientalmente relevante.
- Es posible estudiar y trabajar en el registro y valoración de paisajes sonoros que la ciudadanía puede y reconoce, con facilidad.

Finalmente es conveniente destacar que existen evidencias internacionales suficientes que demandan incorporar en el diseño y protección de nuestro medio ambiente acústico, el cuidado, valoración, registro y diseño de espacios y ambientes sonoros: Paisajes Sonoros.

Capítulo 10. CONCLUSIONES



10. CONCLUSIONES

El proyecto se desarrolló en forma exitosa, cumpliéndose satisfactoriamente todos sus objetivos y alcances. Además permitió desarrollar nuevas propuestas y líneas de trabajo en realización a mapas de ruido y áreas complementarias.

Estas son las conclusiones principales de este estudio:

- i. El análisis y estudio del estado del arte de los mapas de ruido como herramienta de gestión ambiental permite confirmar que, a nivel internacional, existen distintas realidades legislativas y locales. Sin embargo, en esta diversidad de experiencias se repiten las mismas decisiones técnicas de modelación, y similares dificultades de obtención de la información que son propias del proceso de elaboración de un mapa de ruido. Esta situación no es distinta a aquella que se enfrenta en nuestro país en su desafío de elaborar esta cartografía ambiental.
- ii. La elaboración de los mapas de ruido que genera el tránsito vehicular en periodos diurno y nocturno de las conurbaciones de Valdivia, Temuco-Padre Las Casas y La Serena-Coquimbo han permitido avanzar en mejores estrategias metodológicas, obteniendo datos ambientales de mejor calidad. Se ha incorporado una subclasificación vial sencilla y eficiente, mejorando en 2,24 dBA promedio la exactitud del mapa (dato de la ciudad de Valdivia). Además, los mapas de ruido realizados incorporan todas las edificaciones como una unidad en cada ciudad, en lugar de un sistema de bloques por manzanas, logrando aún mayor precisión.
- iii. El cálculo de la superficie efectivamente expuesta al ruido, según las recomendaciones internacionales indican que Valdivia (38 km² modelados) cumple en el día con un 90,5% de su superficie bajo los 65 dBA y en la noche cumple con un 94,1% bajo los 55 dBA. Para el caso de Temuco – Padre Las Casas (54 km² modelados) la ciudad cumple en el día con un 82,7% de su superficie bajo los 65 dBA y en la noche cumple con un 91,8% bajo los 55 dBA. En La Serena – Coquimbo (84 km² modelados), cumple en el día con un 91,1% de su superficie bajo los 65 dBA y en la noche cumple con un 85,1% bajo los 55 dBA. Considerando que en la Comuna de Santiago el 46% de superficie que cumple recomendaciones internacionales en periodos diurno y un 40% nocturno (2010), y 82.6% del Gran Santiago (2011) cumple con el valor durante el día, es posible decir que estas tres ciudades poseen ambientes acústicos bastantes más saludables.
- iv. El ruido a que están expuestos los establecimientos de educación por ciudad (universidades, colegios, escuelas, institutos, etc.) sobre 65 dBA para el periodo diurno, corresponde a un 58,4% de establecimientos en Valdivia, 57,1% en Temuco – Padre Las Casas y un 51,0% en La Serena – Coquimbo.
- v. El ruido a que están expuestos los establecimientos de salud por ciudad (hospitales, clínicas, consultorios, etc.) sobre 65 dBA para el periodo diurno, corresponde a un 36,4% de establecimientos en Valdivia, 32,0% en Temuco – Padre Las Casas y un 24,0% en La Serena – Coquimbo.
- vi. Como parte de un ejercicio preliminar, se estimó la cantidad de habitantes potencialmente afectados por ruido en cada conurbación. Para la ciudad de Valdivia, el 6,3% de habitantes está potencialmente expuesto sobre 65 dBA en el día y un 3,9% sobre 55 dBA en la noche. Estos porcentajes corresponde a un 9,8% en el

día y 4,9% en la noche para Temuco – Padre Las Casas, y 4,4% en el día y un 7,3% en la noche para la conurbación La Serena – Coquimbo.

- vii. A partir de los mapas se estimó que la locomoción colectiva mayor genera un aumento relevante del nivel de ruido del tránsito vehicular en 4,2 dBA promedio en Valdivia, 2,97 dBA un promedio en Temuco – Padre Las Casas y 3,18 dBA promedio en La Serena – Coquimbo. La mayor influencia se registra en calles de menor flujo vehicular, como las vías locales, donde el aumento puede superar fácilmente los 5 dBA. Se confirma que las acciones de control de ruido en los vehículos debe considerar este tipo de fuente.
- viii. Los planes de acción contra el ruido a gran escala en Europa parecen estar dando resultados interesantes. Estas iniciativas se han complementado con una visión más amplia que incluye campañas públicas de educación y sensibilización sobre el ruido, la restauración de la planificación urbana enfocada en la calidad de vida de los ciudadanos. Se busca proporcionar lugares con mayor calidad acústica, donde los ciudadanos puedan descansar y encontrar tranquilidad. Para el caso de Chile, debe atenderse su ordenamiento jurídico y administrativo, y trabajar en un diseño de gestión a tres niveles: Nacional (Políticas, Normas y Estrategias), Regional o Intercomunal (Estudios, Priorización y Financiamiento de Medidas, Planificación Territorial) y Local o Comunal (Análisis en Detalle de Casos, Elaboración de Planes y Medidas, Seguimiento y Evaluación de Acciones, Vinculación e Información a la Comunidad).
- ix. La actual política de desarrollo urbano en Chile que asocia a las vías principales de transporte mayores densidades de población, sin asociar una mayor protección de fachada. Esto implica que necesariamente a futuro crecerá significativamente la población expuesta, una vez que las vías y las edificaciones alcancen su capacidad. Las iniciativas más urgentes de implementar son dos: integrar en los métodos y lineamientos para elaborar IPTs los indicadores ruido de transporte en forma cuantitativa, y en segundo lugar, incorporar a la OGUC estándares mínimos de protección acústica en fachadas expuestas a ruido de transporte actual o futuro. Se debe generar mejor información e indicadores sobre la respuesta subjetiva de las personas y los impactos sobre la salud a nivel epidemiológico causados por ruido de transporte. Los datos de la OMS son alarmantes al respecto, y deben respaldar las medidas de control de ruido generado por el tránsito vehicular.
- x. Las actividades adicionales realizadas en Valdivia han demostrado y validado que las encuestas a la población pueden colaborar en la toma de decisiones y en el diseño de medidas más apropiadas a cada realidad. En este sentido, la volarización acústica de las áreas verdes y del paisaje sonoro surgen como elementos relevantes, que deberán tener necesariamente un espacio de desarrollo en las políticas de acústica ambiental a implementar a futuro en Chile.

Capítulo 11. BIBLIOGRAFÍA



11. BIBLIOGRAFÍA

- [Abbot y Nelson 2002] Abbott, PG, Nelson, PM. (2002). Converting The UK Traffic Noise Index LA10,18h To EU Noise Indices For Noise Mapping, Transportation Research Laboratory, 2002.
- [ABSENTIA 2009] ABSENTIA, Tecnología Acústica. (2009). Evaluación *del Ruido Ambiental en dos Sectores de la Ciudad de Puerto Montt*. Estudio realizado mediante la utilización de software de modelación de ruido en exteriores Cadna/A v3.7 durante enero – julio de 2009.
- [Adelaide, 2006] Adelaide (2006). Adelaide city road traffic noise map. Noise technical fact sheet, Adelaide City Council, 2006.
- [AIG 2012] Noise mapping is the way forward in urban environmental noise management: The Acoustics Interest Group (AIG) within IES presents the benefits of this tool. The Singapore Engineer, July, 16-17.
- [Albufeira 2013] Albufeira (2013), Carta de ruido, Relatório técnico, Município de Albufeira, Enero 2013. Disponible en Internet en: http://cm-albufeira.pt/NR/rdonlyres/C2E4ED4D-2E76-45A5-9C0B-16221519C149/0/a1_CartaRuido_Relatorio.pdf
- [Almada 2004] Almada (2004). Carta de ruído de Almada, Relatório Final, Protocolo para a elaboração da Carta de ruído de Almada, Município de Almada, Marco 2004.
- [Almada 2007] Almada (2007). Adaptação da Carta de ruído de Almada, Município de Almada, Junho 2007.
- [Almada 2013] Almada (2013). Atualização da carta de ruído, Relatório Técnico, Município de Almada, Dezembro 2013.
- [Almada 2014a] Almada (2014), Carta de Ruído do Concelho de Almada Disponible en: http://www.m-almada.pt/portal/page/portal/AMBIENTE/AR/?amb=0&ambiente_ar=13758404&cboui=13758404
- [Almada 2014b] Almada (2014), Disponible en: <http://194.65.136.172/webmira/framesetup.asp>
- [Álvarez et al. 2008] Álvarez, J. P.; Suárez, E. (2008). *Estudio Comparativo de Modelos de Predicción de Ruido de Tráfico Rodado, Utilizando Mediciones en la Ciudad de Osorno*. VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008. Buenos Aires, Argentina.
- [Álvarez 2010] Alvarez, J.P. (2010), "Estudio comparativo para modelos predictivos del ruido de tráfico rodado, a través de mediciones in situ en un sector de la ciudad de Osorno", Tesis de Pregrado para optar al Título de Ing. Civil Acústico. Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile.
- [Arana et al. 2014] M.Arana, R. San Martin y J. C. Salinas, "People exposed to traffic noise in european agglomerations from noise maps. A critical review", Noise Mapping. 2014; 1:40–49 Disponible en Internet en: <http://www.degruyter.com/view/j/noise.2014.1.issue-1/noise-2014-0005/noise-2014-0005.xml>
- [Australian Standard 2000] Australian Standard (2000). AS2021: Acoustics - Aircraft noise intrusion – Building siting and design. Published by Standards Australia.
- [Babisch 2002] The noise/stress concept, risk assessment and research needs. Noise Health, 4(16), 1–11
- [Barbosa et al. 2007] Barbosa O, Tratalos JA, Armsworth PR, Davies RG, Fuller RA, Johnson P & Gaston KJ (2007). Who benefits from access to green space? A case study from Sheffield, UK . Landscape and Urban Planning 83: 187-195.

- [Barbosa et al.2014] Barbosa O & Villagra P. 2014. Socio-Ecological Studies in Urban and Rural Ecosystems in Chile. In: Earth Stewardship: linking ecology and ethics in theory and praxis. Rozzi, R., S.F. Chapin, J.B. Callicott, S.T.A. Pickett, M. Power J.J. Armesto & R.H. May Jr. (eds) 2014. Springer Verlag. En prensa.
- [Bastián 2013] Bastián, N. (2013), "Elaboración de mapa de ruido de la ciudad de Valdivia mediante software de modelación utilizando métodos de simplificación ", Tesis de Pregrado para optar al Título de Ing. Civil Acústico. Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile.
- [Belhaj et al. 2007] Belhaj, M and Fridell, E. (2007) "External costs in the transport sector: A literature review, CPM, IVL
- [Berlin 2015] Berlin (2015). Mapas de ruido de Berlin, disponibles en: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/edinh_07.htm
- [Booth et al. 2010] Booth JE, Gaston KJ, Armsworth PR (2010) Who benefits from recreational use of protected areas? Ecology and Society 15(3): 19.
- [Bourbon 1998] Bourbon, C. (1998). Cartographie du bruit routier, L'expérience bruxelloise, Rapport vulgarisé. Reporte de proyecto LIFE98 ENV/000/248, Unión Europea.
- [Brussels 2010] Brussels (2010). Bruit des transports, Cartographie stratégique en Région de Bruxelles-Capitale, Bruxelles Environment, Institut Bruxellois pour la Gestion de L'Environnement, IBGE, Brussels.
- [Bruselas 2014a] Bruselas (2014a), Cartographie du bruit. Disponible: <http://www.bruxellesenvironnement.be/Templates/Particuliers/Niveau2.aspx?id=4192>
- [Bruselas 2014b] Bruselas (2014b). Bruit des transports Cartographie stratégique en Région de Bruxelles-Capitale. Disponible en: http://documentation.bruxellesenvironnement.be/documents/Bruit_atlas_Cartographie_2010.pdf?langtype=2060
- [Cain et al. 2008] Cain, R.,Jennings, P., Adams, M., Bruce, N., Carlyle, A., Cusack, P., Davies, W., Hume., K. & Plack, C. (2008). An activity-centric conceptual framework for assessing and creating positive urban soundscapes. Proceedings of the Institute of Acoustics, 30(2),546-551.
- [Carles et al 1999] Carles J.L., et al.; "Incidencia de los aspectos sonoros en la percepción de la calidad ambiental de las plazas y espacios públicos. El caso de Alcalá de Henares"; 1999.
- [Chaves et al. 2010] Chaves Brito, F.A., Bento Coelho, J.L. (2010), The Fortaleza noise mapping project – a tool for the strategies of knowledge and control of noise in the municipality and the new perception for the control of big music events, Proceedings of 20th International Congress on Acoustics, ICA 2010, 23-27 August 2010, Sydney, Australia.
- [Cho et al. 2007] Cho, DS, Kim, JH, Manvell, D. (2007). Noise mapping using measured noise and GPS data, Appl. Acoust. 68, 1054-1061.
- [CNOSSOS 2012] CNOSSOS-EU (2012), Common noise assessment methods in Europe, European Commission Joint Research Centre, 2012. Disponible en Internet en http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/111111111/26390/1/cnossos-eu%20jrc%20reference%20report_final_on%20line%20version_10%20august%202012.pdf
- [Comisión Europea 2011] Comisión Europea (2011). Informe de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo relativo a la aplicación de la Directiva sobre el ruido ambiental de conformidad con el artículo 11 de la Directiva 2002/49/CE
- [CONAMA 2008] Comisión Nacional del Medio Ambiente (2008). *Levantamiento de Información de Entrada de Modelo de Predicción de Ruido y Aplicación de Caso Piloto*. Gobierno de Chile, Subsecretaría del Medio Ambiente. Contrato N°10-21-028/07. Proyecto Ejecutado por dBAngeiería, Proyectos y Soluciones Acústicas

- [CONAMA 2010] Comisión Nacional del Medio Ambiente (2010). *Elaboración de Mapas de Ruido mediante Software de Modelación, para Caso Piloto (Comunas de Antofagasta y Providencia) (Contrato N° 01-059/09)*. Proyecto Ejecutado por el Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile.
- [Council Directive 1970] Council Directive (1970) 70/157/EEC of 6 February 1970 on the approximation of the laws of the Member States relating to the permissible sound level and the exhaust system of motor vehicles, OJ L 42, 23.2.1970.
- [Council Directive 1977] Council Directive (1977) 77/212/EEC of 8 March 1977 amending Directive 70/157/EEC relating to the permissible sound level and the exhaust system of motor vehicles, OJ L 66, 12/03/1977.
- [COST 2013] MEMORANDUM OF UNDERSTANDING For the implementation of a European Concerted Research Action designated as COST Action TD0804 SOUNDSCAPE OF EUROPEAN CITIES AND LANDSCAPES. Disponible en la Página web *Soundscape of European Cities and Landscapes Disponible en Internet en: <http://soundscape-cost.org/>*
- [Crane et al. 2005] Crane, P., Kinzig, A., (2005). Nature in the metropolis. *Science* 308, 1225–11225
- [DataKustic 2009] How to use measurements to define new train classes. (2009). CadnaA. Technical Note Page TN0305e.
- [Davies et al 2008] Davies RG, Barbosa O, Fuller R, Burke N, Lewis D, Warren P H, Gaston KJ (2008). City-wide relationships between green space and urban form. *Urban Ecosystems* 11:269-287.
- [DDU 2009] División Desarrollo Urbano DDU del Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2009). Planificación Urbana, Normas Urbanísticas, Escalas de Equipamiento. Circular Ord. 472. Disponible en Internet en http://www.minvu.cl/incjs/download.aspx?qlb_cod_nodo=20070321151801&hdd_nom_archivo=DDU223.pdf
- [DEFRA 2008] An Economic Valuation of Noise Pollution –developing a tool for policy appraisal, DEFRA
- [Dublin 2014a] Dublin (2014a) Dublin City Council, Noise Maps and Action Plans. Disponible en: <http://www.dublincity.ie/waterwasteenvironment/noisemapsandactionplans/pages/default.aspx>
- [Dublin 2014b] Dublin (2014b). Noise Maps, Report & Statistics, Dublin City Council.Noise Mapping Project, Roads and Traffic Department. Disponible en: <http://www.dublincity.ie/WaterWasteEnvironment/NoiseMapsandActionPlans/Documents/NoiseMapReport2007.pdf>
- [Dublin 2014c] Dublin (2014c). Sound Level Management in Dublin City. Dublin City Ambient Sound Level Monitor Network. Disponible en: http://dublincitynoise.sonitussystems.com/index.php?option=com_content&view=article&id=47&Itemid=82
- [EC 2009] The European Tyre Labelling Regulation (EC/1222/2009). On The Labelling of Tyres with Respect to Fuel Efficiency and Other Essential Parameters. Disponible en Internet en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:342:0046:0058:en:PDF>
- [EC 2010] EC (2010). European Environmental Agency. Good practice guide on noise exposure and potential health effects. EAA Technical report, N.º 11/2010 (2010). Disponible en Internet en: <http://www.eea.europa.eu/publications/good-practice-guide-on-noise/download>
- [ECAC 2005] ECAC (2005), CEAC Doc.29 'Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports', 1997 updated 3rd Ed. 2005.
- [EEA 2010] Technical Report No 11, Good practice guide on noise exposure and potential health effects European Parliament, 2012, Towards A Comprehensive Noise Strategy

- [EEA 2014a] EEA (2014). European Environmental Agency. Good practice guide on quiet areas. EAA Technical report, N.º 04/2014 (2014). Disponible en Internet en: <http://www.eea.europa.eu/publications/good-practice-guide-on-quiet-areas/download>
- [EEA 2014b] EEA (2014). European Environmental Agency. Noise in Europe 2014. EAA Technical report, N.º 10/2014 (2014). Disponible en Internet en: <http://www.eea.europa.eu/publications/noise-in-europe-2014>
- [El Cloquido 2013] El Cloquido. Disponible en Internet en: <http://www.elcloquido.com/>
- [EPA 2012] EPA (2012). Annual Plan 2012-13, Environmental Protection Authority EPA Victoria Australia. Publication No 1488, July 2012.
- [EU 1996] EU (1996), Future Noise Policy – European Commission Green Paper, Report COM(96)540, European Commission, Brussels, November 1996.
- [EU 2002] WG2: Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance, Working Group 2 Dose/Effect, European Commission
- [END 2002] END (2002), Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise, published 18.7.2002, L189/12-25.
- [Faro 2005] Faro (2005). Cartografia de ruído do Concelho: Escalas municipal e urbana, Relatório Município de Faro, Portugal.
- [Faro 2014] Faro (2014), Mapa de Faro, Disponible en: <http://mapas.cm-faro.pt/>
- [Figueroa 2013] Figueroa, Felipe (2013), Valoración Acústica Subjetiva de Espacios Públicos Abiertos en Valdivia, Chile. Trabajo de ACUS 311- Control de Ruido Ambiental, Magister en Acústica y Vibraciones, Universidad Austral de Chile.
- [Figueroa 2013a] Figueroa, Felipe (2013), Valoración Acústica Subjetiva de Espacios Públicos Abiertos. Trabajo de ACUS 311- Control de Ruido Ambiental, Magister en Acústica y Vibraciones, Universidad Austral de Chile.
- [Fortaleza 2013] Fortaleza (2013). Carta Acústica de Fortaleza Prefeitura Municipal de Fortaleza - PMF Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente - SEUMA Coordenadoria de Fiscalização – COFIS Célula de Controle da Poluição Sonora – CCPS, Fortaleza-Ceará, 2013.
- [Fortaleza 2015] Fortaleza (2015). Carta Acústica de Fortaleza. <http://www.cartaacusticadefortaleza.com.br/>
- [Fuller et al 2007] Fuller, R. a, Irvine, K. N., Devine-Wright, P., Warren, P. H., & Gaston, K. J. (2007). Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. *Biology Letters*, 3(4), 390–4. doi:10.1098/rsbl.2007.0149
- [Fuller 2010] Fuller RA & Irvine KN. (2010). Interactions between people and nature in urban environments. In *Urban Ecology* ed: Kevin Gaston Cambridge University Press, Cambridge.
- [Funchal 2010] Carta de Ruído, Relatório Técnico Final, Município do Funchal, Maio 2010.
- [Funchal 2014] Página web del mapa de ruido de Funchal (2014), Disponible en: [http://geo.cm-funchal.pt/msw/mapviewers/adf/\(S\(y4nfd1iu3igb543ks5iposm\)\)/Viewer.aspx?id=201](http://geo.cm-funchal.pt/msw/mapviewers/adf/(S(y4nfd1iu3igb543ks5iposm))/Viewer.aspx?id=201)
- [Gaston et al. 2005] Gaston KJ, Smith RM, Thompson K. & Warren PH (2005). Urban domestic gardens (II): experimental tests of methods for increasing biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 14: 395–413.
- [Gaston 2010] Gaston KJ (2010). Urbanization. In *Urban Ecology* ed: Kevin Gaston Cambridge University Press, Cambridge
- [González 2012] González, Isaac (2012), Estudio del Patrimonio Sonoro de la ciudad de Valdivia en el siglo XXI. Trabajo de

- ACUS 183- Proyecto en Acústica Ambiental, Ingeniería Civil Acústica, Universidad Austral de Chile.
- [Jorgensen et al. 2002] Jorgensen, A., Hitchmough, J., Calvert, T., (2002). Woodland spaces and edges: their impact on perception of safety and preference. *Landscape Urban Plan.* 60, 135–150.
- [HABITAT-ONU 2012] ONU-Habitat (2012) Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe, 2012. Rumbo a una nueva transición urbana. www.onuhabitat.org
- [HARMONICA 2013] HARMONICA project. HARMONised Noise Information for Citizens and Authorities. Disponible en Internet e. http://www.harmonica-project.eu/sites/harmonica-project.com/files/Harmonica_388.pdf Página web:., <http://www.harmonica-project.eu/>
- [HARMONOISE 2004] Harmonised Accurate and Reliable Methods for the EU Directive on the Assessment and management Of Environmental Noise, FINAL TECHNICAL REPORT. Disponible en Internet en <http://doutoramento.schiu.com/referencias/outras/Harmonised%20Accurate%20and%20Reliable%20Methods%20for%20the%20EU%20Directive.pdf>
- [Hong-Kong 2014] Hong-Kong (2014). Mapping noise. Disponible en: http://www.epd.gov.hk/epd/misc/ehk08/en/noise/index.html#s1_1
- [Howarth 2001] Valuing the benefits of environmental policy: The Netherlands. RIVM report 481 1505 024.
- [HUSH 2015] HUSH. - Harmonization of Urban noise reduction Strategies for Homogeneous action plans. Página web: <http://www.hush-project.eu/en/progetto/>
- [Imaitzumi et al. 2005] Imaizumi, H, Takahashi, Y, Fujimoto, K, Anai, K. (2005). Japanese experience of making a noise map for a local city. Proc. Forum Acusticum2005, Budapest, Hungary.
- [IMAGINE 2007] IMAGINE (2004-2007), Improved methods for the assessment of the generic impact of noise in the environment, European research project, 2004-2007. Disponible en Internet en http://cordis.europa.eu/publication/rcn/11878_en.html
- [INE 2015] Instituto Nacional de estadísticas. Comunas actualización población y Proyecciones año 2014. http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/familias/demograficas_vitales.php Acceso 24 de Marzo 2015
- [INN 2000] Instituto Nacional de Normalización INN. (2000). *Aislación Acústica - Parte 1: Construcciones de Uso Habitacional - Requisitos Mínimos y Ensayos.* NCh352/1.Of2000. Chile.
- [Intendencia Región Metropolitana 1989], Intendencia Región Metropolitana, Santiago de Chile (1989). Estudio Base de Generación de Niveles de Ruido en el Gran Santiago.
- [Ipsen 2002] Ipsen, D. (2002). The urban nightingale or some theoretical considerations about sound and noise. In H.Jelmi (Eds.) *Soundscape studies and methods.* Helsinki: Finnish Society for Ethnomusicology, (pp S185-197). Finnish study for ethnomusicology publication, 9.
- [ISO 1996] ISO 9613: Attenuation of Sound during Propagation Outdoors. Part 1 (1993): Calculation of the Absorption of Sound by the Atmosphere. Part 2 (1996): General Method of Calculation. International Organization for Standardization, Genève, Switzerland.
- [ISO 1996a] ISO 9613-2:1996: Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors—Part 2: General method of calculation.
- [ISO 2007] ISO 9613-2:2007: Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 2: Determination of environmental noise levels
- [Job et al. 1999] Job, R.F.S., Hatfield, J. Carter, N.L., Pelpoe, P., Taylor, R. & Morrell, S. (1999). Reaction to noise: the roles of soundscapes and psychscape. Paper presented at Inter-Noise, in Fort Lauderdale, Florida, USA, 6th-8th

December.

- [Kaliski et al., 2007] Kaliski, K., Duncan, E. And Cowan, J. (2007). Community and Regional Noise Mapping in the United States, *Sound and Vibration*, September 2007: 14-17.
- [Kaliski 2008] Kaliski, K. (2008). Challenges and Opportunities for Noise Mapping in the United States, *Acoustics 08 Paris*, 2008. Available at: <http://www.acoustics.org/press/155th/kaliski.htm>
- [Kang 2007] Kang, J. (2007), *Urban sound environment*, Taylor and Francis, London.
- [Keniger et al. 2013] Keniger, L. E., Gaston, K. J., Irvine, K. N., & Fuller, R. A. (2013). What are the Benefits of Interacting with Nature?, 913–935. doi:10.3390/ijerph10030913
- [Kiang Jian et al 2010] Kang J., et al.; "Semantic differential analysis of the soundscape in urban open public spaces"; *Building and Environment*, Volume 45, Issue 1, January 2010, Pages 150-157; Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.014>.
- [Kim et al. 2012] Minho Kim, Seo I. Chang, Jeong C. Seong, James B. Holt, Tae H. Park, Joon H. Ko, Janet B. Croft (2012) *Road Traffic Noise Annoyance, Sleep Disturbance, and Public Health Implications*. *American Journal of Preventive Medicine* 43(4):353–360.
- [Ko et al., 2011a] Ko, JH, Chang, SI, Kim, M, Holt, JB, Seong, JC (2011a). Transportation noise and exposed population in an urban area in the Republic of Korea, *Environ. Int.* 37, 328-334.
- [Ko et al., 2011b] Ko, JH, Chang, SI, Lee, BC (2011b). Noise impact assessment by utilizing noise map and GIS: a case study in the city of Chungju, Republic of Korea, *Appl. Acoust.* 72, 544-550.
- [Kono et al., 2004] Kono, S, Oshino, Y, Iwase, T, Sone, T, Tachibana, H. (2004). Road traffic noise prediction model 'ASJ RTN-Model 2003' proposed by the Acoustical Society of Japan - Part 2: Calculation model of sound power emission of road vehicles, *Proceedings of ICA 2004*, Kyoto, Japan.
- [Kull 2006] Kull, R.C. (2006) Natural and urban soundscapes: The need for a multi-disciplinary approach. *Acta Acustica united with Acustica*, 92(6), 898-902.
- [Kurra y Dal, 2012] Kurra, S., Dal, L. (2012). Sound insulation design by using noise maps, *Build. Environ.* 49, 291-303.
- [Lam y Ma 2012] Lam, KC, Ma, WC. (2012). Road traffic noise exposure in residential complexes built at different times between 1950 and 2000 in Hong Kong, *Appl. Acoust.* 73, 1112-1120.
- [Law et al., 2011] Law, CW, Lee, CW, Lui, ASW, Yeung, MKL, Lam, KC (2011). Advancement of three-dimensional noise mapping in Hong Kong, *Appl. Acoust.* 72, 534-543.
- [Lee et al. 2008] Lee, SW, Chang, SI, Park, YM. (2008). Utilizing Noise mapping for environmental impact assessment in a downtown redevelopment area of Seoul, Korea. *Appl. Acoust.* 69, 704-714.
- [Lee et al. 2014] Lee, J, Gu, J, Park, H, Yun, H, Kim, S, Lee, W, Han, J, Cha, JS. (2014). Estimation of populations exposed to road traffic noise in districts of Seoul Metropolitan area of Korea, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 11, 2729-2740.
- [Licitra et al. 2011] Gaetano Licitra, Paolo Gallo, Eduardo Rossi, Giovanni Brambilla. (2011) *A novel method to determine multiexposure priority indices tested for Pisa action plan*. *Applied Acoustics* 72 (2011) 505–510.
- [Licitra, 2013] Licitra, G. (2013), *Noise mapping in the EU: models and procedures*, CRC Press, Boca Ratón, FL.
- [Lobos et al. 2008] Lobos V., Suárez E. (2008). *Estudio Subjetivo de la Percepción del Ruido Ambiental en la Ciudad de Puerto Montt*. VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008. Buenos Aires, Argentina.

- [Londres 2014] Londres (2014). Noise Mapping England website. Disponible en: <http://services.defra.gov.uk/wps/portal/noise>
- [McDonald et al. 2010] McDonald RI, Forman RTT, Kareiva P (2010). Open Space Loss and Land Inequality in United States' Cities, 1990-2000. Plos One 5: e9509.
- [Madrid 2009] Ayuntamiento de Madrid (2009). Plan de Acción en Materia de Contaminación Acústica de Madrid. España. Disponible en Internet en: <http://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/El-Ayuntamiento/Medio-Ambiente/Publicaciones/Aprobacion-inicial-del-Plan-de-Accion-en-Materia-de-Contaminacion-Acustica-de-Madrid?vgnextfmt=default&vgnextoid=d1fab761244d5210VgnVCM1000000b205a0aRCRD&vgnnextchannel=ef62ca1c5a057010VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD&pk=5526347>
- [Madrid 2011] Madrid (2011). Memoria Mapa estratégico de ruido de Madrid.
- [Madrid 2015] Madrid (2015). Mapas de ruido de Madrid, disponibles en: <http://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Ayuntamiento/Medio-Ambiente/Mapa-del-Ruido-2011?vgnextfmt=default&vgnextoid=7cd5db86beb5f310VgnVCM2000000c205a0aRCRD&vgnnextchannel=4b3a171c30036010VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD>
- [Madrid Soundscape 2013] Madrid Soundscape. *Disponible en Internet en:* <http://www.madridsoundscape.org/>
- [MEA 2005] Millennium Ecosystem Assessment 2005. Ecosystems and Human Well Being Synthesis. Island Press, Washington DC.
- [Mehdia et al. 2011] Mehdi, MR, Kimb, M, Seong, JC, Arsalan, MH (2011). Spatio-temporal patterns of road traffic noise pollution in Karachi, Pakistan. Environ. Int. 37, 97-104.
- [Miedema et al. 2001] H M Miedema, C G Oudshoorn .Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. Environ Health Perspect. 2001 Apr; 109(4): 409-416.
- [MMA 2010] Ministerio del Medio Ambiente (2010) *Elaboración de Mapa de Ruido Comuna De Santiago Mediante Software de Modelación. Ficha de Licitación N° 1588-67-LE10*. Proyecto Ejecutado por el Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile.
- [MMA 2011] Ministerio del Medio Ambiente (2011) *Elaboración de Mapa de Ruido del Gran Santiago Mediante Software de Modelación. FICHA DE LICITACIÓN N° 608897-12-LE11*. Proyecto Ejecutado por el Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile.
- [MMA 2011a] Ministerio del Medio Ambiente (2011) Estrategia para la Gestión del Control de Ruido Ambiental (2010 - 2014). Seminario. IX Seminario Contaminación Acústica del Ministerio de Medio Ambiente. 09 de noviembre de 2011. Valdivia.
- [Morimoto 2001] Morimoto Y (2001). Biodiversity and ecosystem services in urban areas for smart adaptation to climate change: "Do you Kyoto?". Landscape and Ecological Engineering, 7: 9-16.
- [Minuvaldivia 2014] Página Web de la Ilustre Municipalidad de Valdivia. Población. Disponible en Internet e: http://www.munivaldivia.cl/www/municipal_valdivia/index.php?option=com_content&view=article&id=424&Itemid=608&lang=es
- [NADIA 2015] NADIA. Noise Abatement Demonstrative and Innovative Actions and information to the public. Página web: <http://www.nadia-noise.eu/en>
- [Nejadkoorki et al., 2010] Nejadkoorki, F, Yousefi, E, Naseri, F. (2010). Analyzing street traffic noise pollution in the city of Yazd, Iran, J. Environ. Health Sci. Eng. 7, 53-62.
- [Nijland et al. 2008] Nijland and Van Wee. Noise valuation in ex-ante evaluations of major road and railroad projects", EJTIR

- European Journal of Transport and Infrastructure Research. Issue 8(3) 2008, pp. 216-226.
- [NOISE 2014] NOISE (2014): <http://noise.eionet.europa.eu/>.
- [Odivelas 2009] Odivelas (2009), Carta de ruido, Relatorio técnico, Municipio de Odivelas, Diciembre 2009.
- [Oliveira et al. 2008] Oliveira de Carvalho, A.P., Rocha, C. (2008), Manual técnico para la elaboración de planos municipales de reducción de ruido, Agencia Portuguesa del Ambiente, Abril 2008. Disponible en Internet en: http://www.apambiente.pt/_zdata/DAR/Ruido/SituacaoNacional/MapasRuidoMunicipais/Odivelas_RNT.pdf
- [OECD 1991] Organization for Economic Cooperation and Development (1991). *Faiting Noise 1990S*. París, Francia.
- [Oshino et al. 2006] Oshino, Y, Tsukui, K, Hanabusa, H, Bhaskar, A, Chung, E, Kuwahara, M. (2006). Investigation into the noise map based on traffic flow prediction in the citywide road network, Proc. EuroNoise 2006, Tampere, Finland.
- [Pacheco 2013] Pacheco, Gonzalo. Propuesta de Ordenanza Municipal sobre Ruido Ambiental para la Comuna de Valdivia. Trabajo académico realizado en el curso ACUS183 Proyecto en Acústica Ambiental, Universidad Austral de Chile.
- [Paris 2014] Paris (2014) Paris Pratique. Environnement - Bruit, nuisances sonores: Cartographie du bruit routier. Disponible en: http://www.paris.fr/pratique/bruit/cartographie-du-bruit-routier/les-cartes-du-bruit-de-paris/rub_1285_stand_30546_port_3069
- [Parlamento Europeo 2002] Diario Oficial de las Comunidades Europeas. (2002). Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental.
- [Pérez et al. 1998] Pérez A., Suárez E. (1998). Desarrollo y Aplicación de una Metodología Simple Para Determinar Índices de Contaminación Acústica en una Zona Urbana (Caso Comuna Talcahuano). I Congreso Iberoamericano de Acústica, Brasil.
- [Pauchard et al. 2011] Pauchard A, Barbosa O et al (2013) Latin America: rapid urban development and social economic inequity threatens biodiversity hotspots, chapter 28. In: Elmqvist T, Fragkias M, Goodness J (eds) Urbanization, biodiversity and ecosystem services: challenges and opportunities – a global assessment. Springer, Dordrecht
- [QUADMAP 2012] QUADMAP. QUIet Areas Definition and management in Action Plans. Página web: <http://www.quadmap.eu/>
- [Rey et al. 2011] G. Rey, E. Suárez, J.M. Barrigón, V. Gómez. Aplicación del método de categorización en el estudio de ruido urbano de la ciudad de Valdivia. Congreso Internacional de Acústica y Audio Profesional. INGEACUS 2011. Valdivia-Chile.
- [Ripoll, A. 2005] Ripoll, A. (2005). State of the art of noise mapping in Europe, Internal Report, European Topic Centre, Terrestrial Environment, European Environmental Agency, 16 August 2005.
- [RMR96/SRMII, 1996] RMR96/SRMII (1996). Reken- en Meetvoorschrift Railverkeerslawaa '96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 November 1996. The Netherlands.
- [Rosao et al. 2008] Rosao, V. y Picoito, C. (2008). Adaptação do Mapa de Ruído de Faro ao Novo Regulamento Geral do Ruído, Relatório 2008-Adj031-R01V01-PC002VCR.doc
- [Seong et al., 2011] Seong, JS, Park, TH, Kob, JH, Chang, SI, Kimc, M, Holt, JB, Mehdi, MR. (2011). Modeling of road traffic noise and estimated human exposure in Fulton County, Georgia, USA. Environ. Int. 37, 1336-1441.
- [Sarah et al. 2009] Sarah R. Payne, William J. Davies, Mags D. Adams (2009) Research into the Practical and Policy Applications of Soundscape Concepts and Techniques in Urban Areas (NANR 200). University of Salford.

- [SEA 2009] Sociedad Española de Acústica (SEA). (2009). *Acústica Ambiental: análisis, legislación y soluciones*. ISBN 84-87985-18-1, España.
- [Seong et al. 2011] Jeong C. Seong, Tae H. Park, Joon H. Ko, Seo I. Chang, Minho Kim, James B. Holt, Mohammed R. Mehdi (2011) *Modeling of road traffic noise and estimated human exposure in Fulton County, Georgia, USA*. *Environment International* 37 (2011) 1336–1341.
- [Schafer 1994] Schafer, R. Murray (1994). *The Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning of the World*. Vermont: Destiny Books.
- [Sheng y Tang, 2011] Sheng, N, Tang, UW. (2011). Spatial analysis of urban form and pedestrian exposure to traffic noise, *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 8, 1977-1990.
- [SILENCE 2009] SILENCE (2009) *Manual del Profesional para la Elaboración de Planes de Acción contra el Ruido en el Ámbito Local*. Disponible en Internet en http://www.silence-ip.org/site/fileadmin/SP_J/E-learning/Planners/SILENCE_Handbook_ES_-_LR.pdf
- [Sommerhoff 2002] Sommerhoff, Jorge. 2002. Nuevas técnicas para la elaboración de mapas de ruido, el análisis de la respuesta ciudadana, así como la valoración económica del ruido, Tesis doctorado UPM
- [Sommerhoff et al. 2004] Sommerhoff, J.; Recuero, M.; Suárez, E. (2004). *Community Noise Survey of the City of Valdivia, Chile*. *Applied Acoustics* Vol 65, issue 4, July 2004. Págs. 643-656.
- [Sommerhoff et al. 2006] Sommerhoff, J.; Recuero, M.; Suárez, E. (2006) *Relationship between Loudness Perception and Noise Indices in Valdivia, Chile*. *Applied Acoustics* Vol 67, issue 9, 2006. Págs. 892-900.
- [Suárez 2002] Suárez, E. (2002). *Metodologías Simplificadas para Estudios en Acústica Ambiental, Aplicación en la Isla de Menorca*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. España.
- [Suárez et al. 2002] Suárez, E.; Recuero, M. (2002). *Study of Annoyance by Environmental Noise in Menorca Island's Population*. *Forum Acusticum 2002*. Sevilla, España.
- [Suárez et al 2002a] Suárez, E.; Recuero, M. (2002). *Study of Perception on the Acoustic Environmental of Students of School in the Menorca Island*. *Forum Acusticum 2002*. Sevilla, España.
- [Suárez et al. 2005] Suárez, E.; Antillanca, P. (2005). *Influence of Tourists on Environmental Noise of a Small City (Castro, Chile)*. *INTERNOISE 2005, Environmental Noise Control*, Rio de Janeiro, Brasil.
- [Suárez et al. 2013] Suárez E., Quezada R. Avances en Mapas de Ruido en Chile. 44° Congreso TECNIACUSTICA 2013, Valladolid, España. 2 – 4 octubre 2013.
- [Suárez et al. 2014] Suárez, E., Barros, JL. (2014). Traffic noise mapping of the city of Santiago de Chile. *Science of The Total Environment*. Volumes 466–467, 1 January 2014, Pages 539–546.
- [Sydney 2014] Sydney. (2014). Australian Noise Exposure Map for 2029. Disponible en <http://www.noircraftnoise.org.au/index.asp?pagename=Australian+Noise+Exposure+Forecast+for+2029>
- [Temuco 2004] Municipalidad de Temuco. Estudio de Factibilidad Vial Comuna de Temuco. Informe Final. Trasa Ingeniería Limitada. 2004. Disponible en Internet en: http://www.temucochile.com/planregulador/04_Estudios/Estudio_de_Factibilidad_Vial/Estudio_Factibilidad_Vial_FINAL.pdf
- [Tratalos et al. 2007] Tratalos J, Fuller RA, Warren PH, et al. (2008). Urban form, biodiversity potential and ecosystem services Landscape and Urban Planning. *Landscape and Urban Planning* 83 (2007) 308–317 83:308-317.
- [Tsai et al., 2009] Tsai, KT, Lin, MD, Chen, YH. (2009). Noise mapping in urban environments: a Taiwan study, *Appl. Acoust.*

70, 964-972.

- [Ulrich et al. 1991] Ulrich, R.S., Simonst, R.F., Lositot, B.D., Fioritot, E., Milest, M.A., Zelsont, M. (1991). Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *J. Environ. Psych.* 11, 201–230.
- [VBUF-AzB 2006] VBUF-AzB (2006). Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Flugplätzen (VBUF-AzB) (preliminary calculation method for environmental noise at airports - calculation instructions), published in Federal German Gazette No. 154 of 17th August 2006.
- [VBUF-DES 2006] VBUF-DES (2006). Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Flugplätzen (VBUF-DES) (preliminary calculation method for environmental noise at airports - data acquisition system), published in Federal German Gazette No. 154 of 17th August 2006.
- [VBUI 2006] VBUI (2006). Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm durch Industrie und Gewerbe (VBUI) (preliminary calculation method for environmental noise caused by industrial and commercial plants), published in Federal German Gazette No. 154 of 17th August 2006.
- [VBUS 2006] VBUS (2006). Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen (VBUS) (preliminary calculation method for environmental noise at roads), published in Federal German Gazette No. 154 of 17th August 2006.
- [VBUSch 2006] VBUSch (2006). Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Schienenwegen (VBUSch) (preliminary calculation method for environmental noise at railways), published in Federal German Gazette No. 154 of 17th August 2006.
- [Vitoria-Gasteiz 2014] Vitoria-Gasteiz (2014). Sitio web del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz. Mapa Estratégico de Ruido de Vitoria-Gasteiz. Disponible en: http://www.vitoria-gasteiz.org/we001/was/we001Action.do?idioma=en&nuevaPag=&uid=u1183c8cf_13967725e8d_7ffd&aplicacion=wb021&id=&tabla=contenido
- [Wang y Kang 2011] Wang, B, Kang, J. (2011). Effects of urban morphology on the traffic noise distribution through noise mapping: a comparative study between UK and China, *Appl. Acoust.* 72, 556-568.
- [WG-AEN 2007] WG-AEN (European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise) (2007). Good Practice Guide, for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated data on Noise Exposure, Position Paper, European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN), version 2, August 2007.
- [WG-AEN 2008] WG-AEN (2008), Presenting Noise Mapping Information to the Public, European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN), March 2008.
- [WHO 1999] World Health Organization (WHO) (1999). *Guidelines for Community Noise*. Geneva, Switzerland.
- [WHO 2011] World Health Organization. Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe, 2011. Página web: www.euro.who.int/en/what-we-publish/abstracts/burden-of-disease-from-environmental-noise.-quantification-of-healthy-life-years-lost-in-europe
- [WUP 2014] World Urbanization Prospects 2014, (highlights). United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2014). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352).

Capítulo 12. GLOSARIO



AcústicaUACH
www.acusticauach.cl

12. GLOSARIO

12.1. Conceptos

Atributo: Un rasgo, la calidad o la propiedad que describe una característica geográfica, por ejemplo, flujo de vehículos o la altura del edificio.

Aislamiento acústico: Capacidad de un elemento constructivo o cerramiento, de atenuar el sonido que se transmite a través de él. Se evalúa, en términos generales, mediante la relación entre las energías a ambos lados del elemento.

Área verde: Espacios urbanos, o de periferia a éstos, predominantemente ocupados con árboles, arbustos o plantas, que pueden tener diferentes usos, ya sea cumplir funciones de esparcimiento, recreación, ecológicas, ornamentación, protección, recuperación y rehabilitación del entorno, o similares.

Banda de octava: Gama de frecuencias comprendida entre dos frecuencias que están en la relación, 2:1. La banda de audio frecuencias, contiene aproximadamente 10 bandas de octava. En general, se utilizan sólo 8 bandas centradas en 31, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000 y 4000 Hz

Barreras acústicas: Dispositivos que interpuestos entre la fuente emisora y el receptor atenúan la propagación aérea del sonido, evitando la incidencia directa al receptor.

Binaural: Método de grabación de sonido que utiliza dos micrófonos, dispuestos con la intención de crear una sensación de sonido 3D.

Cabeza artificial (Dummy Head): Dispositivo electroacústico utilizado para realizar grabaciones binaurales. Este tipo de registro permite a un oyente, por medio de audífonos, percibir la direccionalidad y acústica de sala de una o varias fuentes sonoras en un espacio.

Calibrador acústico: Instrumento normalizado utilizado para verificar la exactitud de la respuesta electroacústica de los instrumentos de medición, y que satisface las especificaciones declaradas por el fabricante.

Campo sonoro: Una zona de un medio elástico (como el aire) que contiene ondas sonoras emitidas por una fuente.

Contorno isófono: Curva imaginaria que contiene puntos de igual nivel sonoro a una altura determinada sobre el suelo. Se utiliza en mapas de ruido.

Conurbación: Región que comprende una serie de ciudades, pueblos grandes y otras áreas urbanas.

Criterio: Condición que debe cumplir una determinada actividad, actuación o proceso para ser considerada de calidad.

Encuesta: Procedimiento de investigación descriptivo en el que el investigador busca recopilar datos por medio de un cuestionario previamente diseñado o una entrevista a alguien, sin modificar el entorno ni el fenómeno donde se recoge la información.

Enmascaramiento: Fenómeno psicoacústico por el cual un tono sonoro débil se vuelve inaudible en presencia de otro más intenso cercano en frecuencia.

Espectro de bandas: Distribución del sonido según las bandas de frecuencia que lo componen. Se presenta habitualmente mediante el nivel de presión sonora correspondiente a cada una de las bandas en las que se ha subdividido el eje de frecuencia. Por ejemplo, espectro de bandas de octava.

Espacio público: Según el DS38/11 del Ministerio del Medio Ambiente: bien nacional de uso público destinado a la libre circulación, como calles, aceras, plazas, áreas verdes públicas, riberas, playas, entre otros, y la vía pública en general.

Indicador: Medida cuantitativa que puede usarse como para evaluar la calidad de las diferentes actividades.

Fachada: Paramento exterior de un edificio, generalmente el frontal o principal.

Filtro de ponderación de frecuencia: Filtro electrónico incorporado en un sonómetro que modifica las señales sonoras para cada banda de frecuencia, intentando seguir aproximadamente la respuesta subjetiva del oído humano. Los filtros han adoptado curvas de ponderación designadas por A, B, C.

Fuente emisora: Se entiende por tal toda actividad, proceso, operación, dispositivo o medio de transporte que genere, o pueda generar, emisiones de ruido hacia la comunidad.

GIS: Sistema de información geográfica, conjunto de herramientas que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real vinculados a una referencia espacial.

Horario diurno: Para mapas de ruido proyecto 07-23 hrs.

Horario nocturno: Para mapas de ruido proyecto período de 23 a 7 horas.

Indicador de ruido: Magnitud física para describir objetivamente el ruido ambiental y asociarlo a un riesgo de daño.

Infraestructura de educación: Aquella realización humana diseñada y dirigida por profesionales de arquitectura e ingeniería civil que sirve de soporte para el desarrollo de actividades educacionales y su funcionamiento, tales como colegios, escuelas, universidades, institutos, etc.

Infraestructura de salud: Aquella realización humana diseñada y dirigida por profesionales de arquitectura e ingeniería civil que sirve de soporte para el desarrollo de actividades de salud y su funcionamiento, tales como hospitales, consultorios, clínicas, etc.

IPT: Instrumento de planificación territorial.

Metadato: Dato estructurado como resumen de otros datos.

Mapa de ruido: Representación de datos sonoros existentes o proyectados, obtenidos por medio de mediciones o calculados por medio de métodos específicos. Se pueden generar mapas de ruido para carreteras, ferrocarriles, aeropuerto, industria, etc.

Monitoreo: Acción de medir y obtener datos acústicos en forma programada de los parámetros que inciden o modifican la calidad del entorno sonoro.

Modelo digital: Estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua.

Modelo de predicción: Algoritmo matemático que mediante datos de entrada asociados a las características de una fuente emisora de ruido (fuente fija, tránsito rodado, tránsito de trenes, aviones) y los fenómenos de propagación sonora en exteriores (absorción atmosférica, divergencia, topografía del terreno, edificios, barreras, vegetación, etc.) permite predecir el nivel sonoro en un punto receptor.

Modelación: Proceso mediante el cual se crea una representación o modelo para investigar la realidad.

Muestreo de ruido: Acción de tomar muestras de una señal sonora a intervalos regulares, en general cada 1 minuto durante un período, por ejemplo, de 3 a 30 minutos de duración.

OGUC: Ordenanza general de urbanismo y construcciones.

Ponderación A: Conjunto de filtros en bandas de frecuencias que modifican la señal sonora, de manera que simulan la respuesta en que percibiría el ruido un ser humano. Las mediciones acústicas con ponderación A también indican mejor el daño potencial que puede causar un ruido en el oído.

Presión sonora: La diferencia instantánea entre la presión originada por la energía sonora y la presión barométrica en un punto determinado del espacio.

Receptor: Toda persona, comunidad o vida silvestre que habite, resida o permanezca en un lugar, que esté o pueda resultar expuesta al ruido generado por una fuente emisora de ruido.

Ruido: Cualquier sonido que moleste o incomode a las personas, seres vivos, o vida silvestre, o que produzca o tenga el efecto de producir un resultado psicológico y fisiológico adverso sobre los mismos.

Sonómetro: Instrumento provisto de un micrófono amplificador, detector de RMS, integrador-indicador de lectura y curvas de ponderación, que se utiliza para la medición de niveles de presión sonora.

Sonómetro integrador: Instrumento para la medición de niveles de presión acústica ponderados en frecuencia y promediados en el tiempo.

Tránsito: Fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista.

Valor acústico: Valor ambiental de un lugar que le otorgan ciertas características acústicas que son valoradas positivamente por grupos humanos como patrimonio, tales como el silencio, los sonidos naturales, ritos o expresiones culturales, paisajes sonoros, entre otros.

12.2. Variables e indicadores acústicos

Decibel (dB): La unidad práctica de medición del nivel de presión sonora es el decibel, conocido como dB. Esta unidad es igual a 20 veces el logaritmo decimal del cociente de la presión de sonido ejercida por un sonido medido y la presión de sonido, de un sonido estándar equivalente a $20 \mu P$

Decibel A (dB(A) o dBA): Unidad internacional que discrimina los niveles de frecuencia altos, bajos e intermedios, tal como lo hace el oído humano. Se emplea como base de la legislación para el control de ruidos en muchos países. Es el nivel de presión sonora medido con el filtro de ponderación A.

Frecuencia: Es el número de pulsaciones de una onda acústica ocurridas en el tiempo de un segundo. Es equivalente a la inversa del período (la unidad es el Hertz).

Índice de reducción acústica: Pérdida de transmisión. Se mide en dB.

Nivel de potencia acústica (Lw): Nivel de emisión de potencia acústica. Puede ser expresado en dB/oct ó en dBA.

Nivel sonoro continuo equivalente (LAeq,T, NPSeq, Leg): Se define en la norma ISO 1996 como el valor del nivel de presión en dB en ponderación A de un sonido estable que, en un intervalo de tiempo T, posee la misma presión sonora cuadrática media que el sonido que se mide y cuyo nivel varía con el tiempo.

Nivel de presión sonora máximo A (LAmáx ó NPS_A MÁX): Es el máximo nivel de presión sonora registrado utilizando la curva ponderada A [dB(A)] durante un periodo de medición dado.

Nivel de presión sonora máximo (NPS MÁX): Es el NPS más alto registrado durante el período de medición.

Nivel día: Corresponde al Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente (NPSeq) el cual considera un intervalo de integración de valores obtenidos durante las 07:00 a 23:00 horas para mapa de ruido proyectado.

Nivel noche: Corresponde al Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente (NPSeq) el cual considera un intervalo de integración de valores obtenidos durante las 23:00 a 07:00 horas para mapa de ruido proyectado.

Nivel día tarde noche (Lden): Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente (NPSeq) para un periodo de 24 horas (1 día), con una penalidad de 5 dB al nivel medido por la tarde y 10 dBA al nivel medido por la noche. Los horarios sugeridos son: 07:00 a 19:00 hrs para el día, 19:00 a 23:00 hrs para la tarde y 23:00 a 07:00 hrs para la noche.

Nivel LAeq: Es el nivel de presión sonora continua equivalente con filtro A (nivel de impacto equivalente).

Paisaje sonoro: Los sonidos presentes en un ambiente, paisaje o lugar determinado, es el entorno sonoro concreto de un lugar real.

Percentil LA10: Valor de los LAeq que es excedido el 10% del tiempo (representa niveles de mayor intensidad).

Percentil LA50: Valor de los LAeq que es excedido el 50% del tiempo (representa niveles más frecuentes).

Percentil LA90: Valor de los LAeq que es excedido el 90% del tiempo (representa niveles de menor intensidad).

Pérdida de transmisión: Atenuación de la potencia sonora al atravesar un tabique. Se mide en dB, como diez veces el logaritmo decimal del cociente entre la potencia sonora que incide sobre un tabique y la que lo atraviesa.