



## 1. INTRODUCCIÓN.

Este documento corresponde al resumen ejecutivo del Informe Final elaborado por el Instituto de Acústica de la Universidad Austral de Chile en acuerdo a lo establecido en los Términos de Referencia del Proyecto N° 1588-117-LE09 “*Elaboración de Mapas de Ruido mediante Software de Modelación, para Caso Piloto (Comunas de Antofagasta y Providencia)*”, según lo ofertado en la Propuesta Técnica en el proceso de licitación, y de acuerdo al contrato N° 01-059/09, y al Contrato Conexo al mismo. El desarrollo del Proyecto corresponde a la metodología y cronograma planteados en el Informe de Plan de Trabajo v.0.2 (30 de septiembre de 2009).

## 2. OBJETIVOS.

### 2.1. *Objetivo general.*

- Elaborar mapas de ruido urbano para un caso piloto, mediante la aplicación de un modelo de predicción de ruido.

### 2.2. *Objetivos específicos.*

- Obtener un mapa de ruido para el caso piloto (comunas de Antofagasta y Providencia), utilizando el software de modelación Cadna/A Noise Mapping (Cadna/A Estándar + extensión BMP + extensión XL).
- Determinar la percepción del ruido de la comunidad en el caso piloto, mediante la aplicación de la encuesta elaborada en la Fase I del Estudio.
- Proponer una metodología para correlacionar la respuesta de la comunidad con los descriptores de ruido obtenidos mediante la modelación, y aplicarla.
- Analizar los resultados y realizar un cruce de información, estableciendo recomendaciones en materia de gestión en control de ruido ambiental.

## 3. ACTIVIDADES DEL PLAN DE TRABAJO.

### 3.1. *Elaboración de Mapas de Ruido para las comunas de Providencia y Antofagasta.*

Se han elaborado los Mapas de Ruido de ambas comunas del caso piloto mediante modelación utilizando el software Cadna/A Noise Mapping que posee CONAMA. El trabajo se desarrolló en las oficinas de la institución, en los tiempos de ejecución planteados y considerando los formatos establecidos por los Términos de Referencia. De manera general, se destacan las siguientes actividades:

- Se modificaron los nombre de atributos en el archivo original .GIS, con el fin de que fueran compatibles con el formato de entrada al software Cadna/A.
- Se ingresó la información de entrada al software de modelación (cartografía, trama urbana, edificaciones, flujo vehicular, características geométricas y físicas de carpetas de rodado, variables meteorológicas, etc.) para ambas ciudades.
- Se ingresó los puntos de calibración en el modelo Cadna/A para el mapa de Providencia.
- Se ingresó los puntos de calibración en el modelo Cadna/A para el mapa de Antofagasta.
- Se desarrolló el proceso de validación entre valores medidos y simulados mediante los diferentes modelos de tráfico rodado.
- Se realizaron correcciones de flujo vehicular a los datos de la Fase I, según datos de etapa de mediciones de la Fase II, de acuerdo a lo convenido en el desarrollo del proyecto con la Contraparte Técnica del Estudio.
- Se obtuvieron los mapas de ruido para ambas comunas del caso piloto en base a la información de la Fase I y la complementada en la Fase II.

### 3.1.1. Calibración de la modelación comunas de Providencia y Antofagasta.

#### 3.1.1.1. Mediciones.

Durante el desarrollo de la presente Fase II se realizaron mediciones de ruido que permitieron validar el modelo computacional. Las campañas se llevaron a cabo entre el 05 y 23 de octubre de 2009 en la comuna de Providencia y entre el 02 y 20 de noviembre de 2009 en la comuna de Antofagasta. Estos puntos de medición permitieron comparar, realizar ajustes y validar el modelo de predicción de ruido en cuanto al nivel generado por cada vía de tráfico vehicular. En consecuencia, se determinó un punto de medición por cada vía considerada como fuente de ruido en la modelación computacional, 48 puntos en el caso de Providencia y 49 el caso de la comuna de Antofagasta, realizando una medición en horario punta (7:00 – 9:00/ 18:00 – 20:00) y una en horario valle (9:00 – 18:00/ 20:00 – 21:00) en cada punto.

En relación a la duración de las mediciones, éstas tuvieron una duración de 15 minutos y se consideraron los siguientes descriptores:  $L_{eq}$  dBA (nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A),  $L_{max}$  y  $L_{min}$  (nivel máximo y nivel mínimo), y los niveles percentiles  $L_{10}$ ,  $L_{50}$  y  $L_{90}$ . Además, durante cada medición se realizó un conteo de vehículos diferenciado entre vehículos livianos y pesados, con el objetivo de cuantificar y descartar el efecto de la variable flujo vehicular sobre la relación entre valor de  $L_{eq}$  medido y modelado.

### 3.1.1.2. Validación de los resultados.

Respecto a la validación de los mapas de ruido en base a comparaciones entre valores simulados y medidos en los puntos de calibración, se siguieron las recomendaciones de la guía de buenas prácticas (*Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure*, Pág. 59, 61 y 67) [23], que entrega una guía con la información necesaria para ingresar al modelo. Dependiendo de la precisión requerida se asoció un cierto grado de incerteza. En esta guía se indican valores de inexactitud asociada a cada parámetro de entrada que se ingresa al modelo predictivo (flujos, velocidades, topografía, edificaciones, etc.). Dado que la validación se realizó principalmente en base a mediciones en puntos ubicados junto a las vías modeladas, la exactitud de los niveles obtenidos mediante la modelación estarán determinados fundamentalmente por los parámetros Flujo Vehicular, Velocidad y Tipo de Carpeta.

En el caso del flujo vehicular la categoría de mayor exactitud corresponde al caso en que los flujos se han obtenido realizando conteos de vehículos en todos los períodos del día (día, tarde y noche). El siguiente intervalo de exactitud corresponde al caso en que se realizan conteos en algunas calles y se extrapolan a las calles similares, a cuya condición se le asocia una inexactitud de 2 dB. Respecto a la velocidad, se emplean los valores máximos establecidos para cada calle o valores estimados con muy baja precisión (estimaciones realizadas en la inspección visual durante las mediciones). A este grado de precisión se le asocia una inexactitud de 2 dB. La inexactitud asociada a imprecisiones en el establecimiento del tipo de carpeta es menor, y en el caso de la inspección visual se le asocia una inexactitud de 1 dB. Finalmente, considerando que en los niveles obtenidos mediante modelación se mezclan el efecto de inexactitud de los tres parámetros mencionados anteriormente (Flujo, Velocidad, Carpeta), se ha establecido como criterio de validación que la desviación entre los resultados simulados y los esperados (medidos en este caso) serán de  $\pm 5$ dB, debido a la calidad de la información de entrada al modelo.

### 3.1.1.3. Selección de un modelo de ruido de tráfico.

Se analizó el comportamiento de los diferentes modelos, la normativa francesa NMPB-96, alemana RLS-90 e inglesa CoRTN, para el caso en estudio. En primer lugar se analizó la diferencia promedio entre el nivel medido y el nivel modelado considerando los tres modelos para el nivel día, horario punta y horario valle por separado, como resultado se obtuvo que el modelo RLS 90 es el que refleja un mejor comportamiento. Luego se analizó el porcentaje de puntos en los que la diferencia entre el valor medido y el valor modelado supera los 3dBA y los 5dBA, respectivamente, confirmando al modelo alemán como el más apropiado.

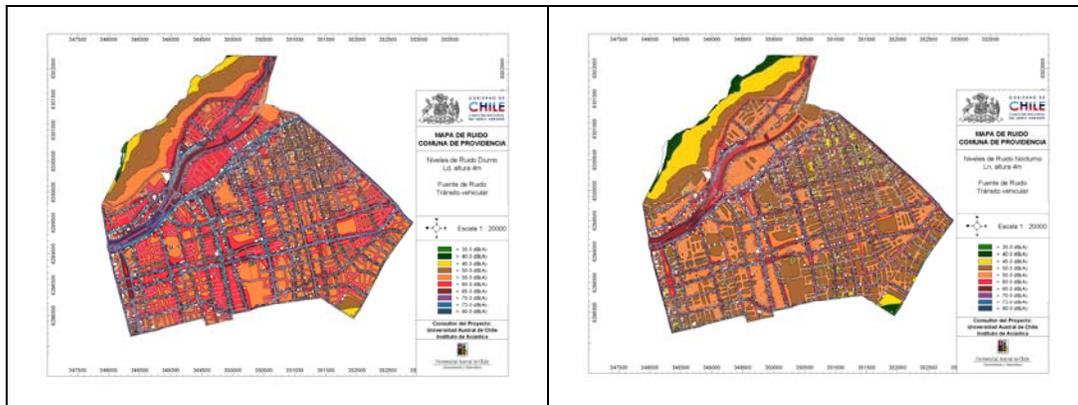
Finalmente se realizó un análisis estadístico mediante un test de Kolmogorov-Smirnov (Two-Sample Kolmogorov-Smirnov Test). Esta prueba no-paramétrica determina si hay diferencias significativas entre dos distribuciones de datos. Considerando los valores de probabilidad obtenidos mediante el test, a un nivel de significación del 0.05, se puede concluir que para el caso piloto estudiado, el mejor modelo es el RLS-90. La similitud entre valor modelado y medido es mucho mejor en la comuna de Providencia,

mostrando el modelo RLS-90 un resultado significativamente superior a los otros dos modelos. En Antofagasta los resultados reflejan una mayor diferencia entre modelo y medición, pero se mantiene un comportamiento superior para el modelo RLS-90. Tanto el análisis de diferencias como el test de Kolmogorov-Smirnov, permitieron concluir que el modelo de mejor comportamiento es el RLS-90. Por esta razón se seleccionó este modelo para realizar los Mapas de Ruido.

### 3.1.2. Mapas de Ruido por modelación en caso Piloto: Comunas de Providencia y Antofagasta.

Para realizar la modelación, se establecieron los parámetros de configuración de cálculo en el software Cadna/A (orden de reflexiones, error máximo, etc.) a través de una revisión de antecedentes bibliográficos, inspección visual en terreno y solicitud especial de CONAMA. Mayor detalle de este proceso se encuentra en el anexo Protocolo de Elaboración de Mapas de Ruido. De acuerdo al procedimiento definido, la interpolación de la malla de cómputo fue de 10 x 10 m [13], el orden de reflexión es de 1 (según acuerdo con CONAMA), la absorción del suelo corresponde a  $G=0$  (inspección visual, suelo duro), y el coeficiente de absorción de edificios corresponde a 0.4 [23].

Se utilizó esta configuración para elaborar los Mapas de Ruido de ambas comunas del caso piloto, para dos condiciones, nivel día y nivel noche. Se consideró un *flujo vehicular día* estimado a partir de los conteos en horario punta y valle y un *flujo vehicular noche*, igual a un 30% del flujo día (de acuerdo a lo establecido en informe de la Fase I). Los correspondientes mapas se muestran en la siguiente figura.



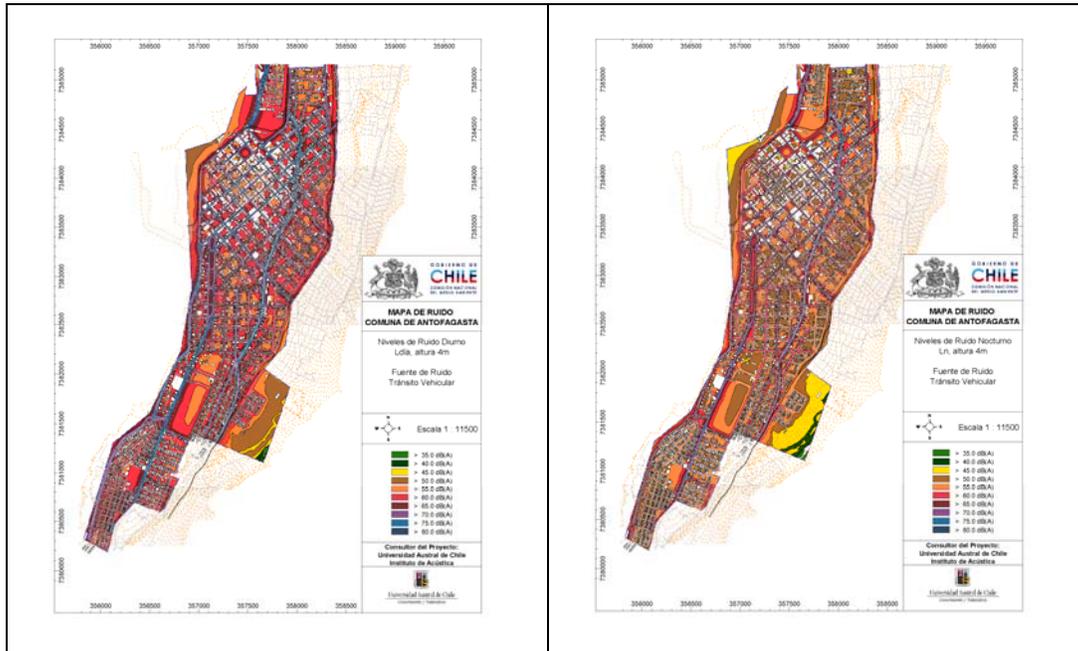


Figura 1. Mapas de Ruido elaborados para ambas comunas del caso piloto.

### 3.2. Determinación de la percepción del ruido por parte de la comunidad.

Para determinar la percepción de la comunidad frente al ruido ambiental se aplicó la encuesta de 25 preguntas de alternativas desarrollada y validada en la Fase I del Estudio [1] en cada comuna del caso piloto, comunas de Antofagasta y Providencia.

#### 3.2.1. Población total y tamaño de la muestra.

La población total a considerar para la aplicación de la encuesta corresponde a todas las personas mayores de 18 años que vivan o trabajen (a lo menos dos años) en cada comuna del caso piloto. La población para el área de estudio en la comuna de Providencia es de 100.939 habitantes mayores de 18 años (población total 120.874 habitantes), y para Antofagasta la población mayor a 18 años es de 39.666 habitantes (población total 52.062 habitantes), según información entregada por INE correspondiente al censo del 2002.

Se realizó un análisis la variabilidad de los datos obtenidos en el estudio de validación de la encuesta (Fase I) para cada caso, esta información fue considerada como muestra piloto para determinar el tamaño muestral del presente trabajo. De acuerdo a lo anterior se estableció que el tamaño muestral es de 846 encuestas en el caso de Antofagasta y de 686 encuestas en el caso de Providencia.

Una vez conocido el tamaño muestral se determinó el número de conglomerados (manzanas de edificaciones) que serán parte del estudio. Se decidió aplicar el muestreo por conglomerado debido a que esta estrategia garantiza una adecuada distribución espacial de las muestras. Para el caso de Antofagasta se consideró un total de 41 conglomerados y para el caso de Providencia un total de 58, entre los cuales se distribuyeron las encuestas según el peso específico de cada conglomerado, considerando las distintas densidades poblacionales de cada uno. Se procuró que los conglomerados coincidan al menos con una de las vías que forman parte de la modelación, esto en función de que la información levantada será utilizada en un análisis de correlación nivel de ruido-molestia como se verá más adelante.

En Providencia, la aplicación de la encuesta se llevó cabo entre los días 13 y 22 de octubre de 2009, obteniéndose un retorno de 608 encuestas. Se realizó una segunda etapa de aplicación con el fin de completar el tamaño muestral, la que se aplicó entre los días 4 y 13 de noviembre de 2009, obteniéndose satisfactoriamente el total de las encuestas requeridas. En el caso de la ciudad de Antofagasta, la aplicación de la encuesta se llevó a cabo entre los días 6 y 17 de noviembre de 2009, lográndose el retorno del total de encuestas.

### 3.2.2. Resultados y conclusiones sobre el análisis de los datos de la encuesta.

En primer lugar, se concluye que las características de las muestras estudiadas en ambas comunas son aproximadamente similares en relación a su distribución por género, edad, actividad y tiempo de residencia. Se observa de igual modo que en ambas comunas el nivel de sensibilidad al ruido es relevante desde el punto de vista de salud pública, siendo la muestra encuestada en la comuna de Antofagasta más sensible al ruido que la de Providencia. La misma relación se establece respecto a la variable “al interior de su hogar, ¿cuán audible es el ruido ambiental exterior?”.

En cuanto al impacto que el ruido ambiental provoca en las personas se concluye que un porcentaje atendible de la población manifiesta molestias y efectos del ruido en sus actividades diarias y salud (dolor de cabeza, insomnio, interrupción de ciertas actividades intelectuales, etc.). Se aprecia que la población de Antofagasta se manifiesta más afectada por el ruido ambiental al referirse a síntomas que genera la exposición al ruido y a la interacción con ciertas actividades rutinarias.

En relación a las variables sobre la molestia causada por las fuentes de ruido, en escala nominal, se comprueba que para ambas comunas la fuente de ruido que genera mayores molestias es el tránsito vehicular. Siendo la categoría modal, para el caso de Providencia, levemente y para Antofagasta medianamente.

Al observar las variables sobre la molestia causada por las fuentes de ruido, en escala ordinal, también se comprueba que el ruido por tránsito vehicular es el de mayor relevancia. Siendo nuevamente la comuna de Antofagasta en donde se presenta un promedio mayor de molestia, esto se da en el periodo diurno con un valor 5,65. Mientras que en la comuna de Providencia el valor promedio de molestia mayor es el

que corresponde al periodo diurno y se sitúa entorno al valor 4,18. Si se considera que la escala comprende valores entre 0 y 10, los promedios de ambas comunas se sitúan en la mitad de la escala. Por lo expuesto se concluye que ambas comunas se declaran afectadas por el ruido, ya sea por grado de sensibilidad, impacto o nivel de molestia.

### *3.3. Correlación de la encuesta con la modelación.*

De acuerdo a lo establecido el plan de trabajo, se utilizaron dos tipos de análisis referentes a la correlación entre los niveles de ruido y la percepción del ruido por parte de la comunidad.

#### 3.3.1. Correlación entre la percepción del ruido y niveles de Ruido.

Se realizó un análisis estadístico tendiente a determinar la existencia o no existencia de correlación entre los resultados de la encuesta de percepción de ruido y los niveles resultantes de la modelación. En ambos casos se consideró solamente la variable de ruido de tráfico.

Las variables de la encuesta que intervienen en este análisis son: “Tomando en cuenta los últimos 12 meses, indique que número desde el cero al diez expresa mejor cuan molesto es el ruido de tránsito vehicular” diferenciando los periodos diurno y nocturno. Los descriptores considerados son el nivel día  $L_d$  y el nivel noche  $L_n$ .

Se estableció un par ordenado considerando el promedio de percepción de la comunidad en la variable indicada y el promedio energético de los niveles en fachada de las edificaciones correspondientes a los conglomerados encuestados. Esta metodología permite hacer estimaciones del comportamiento de la correlación para la totalidad de la comunidad en estudio siendo el procedimiento más adecuado en virtud del tipo de encuesta aplicada y de los datos acústicos modelados.

- Cálculo de correlación y validación poblacional.

Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson para ambos casos y luego se comprobó que estas estimaciones tengan validez a nivel poblacional.

En primer lugar se comprobó que las variables poseen una distribución de probabilidad normal mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov comprobándose la normalidad en las variables tanto en Antofagasta como en Providencia. Con ello se valida la aplicación de prueba t-student sobre correlación que permite determinar si la correlación calculada (Pearson) es significativa a nivel poblacional.

Para el caso de Providencia la correlación para el periodo día es significativa a un nivel del 0.05 y para el periodo nocturno a un nivel del 0.01. Sin embargo, a pesar de ser significativa el valor de la correlación es bajo, 0.292 para el día y 0.388 para la noche.

Po otro lado, para el caso de Antofagasta la correlación de Pearson, para los periodos día y noche, no es significativa a un nivel del 5%, es decir, podemos concluir que no existe correlación entre las variables en la comunidad en estudio.

### 3.3.2. Porcentaje de personas altamente molestas %HA.

La segunda parte del análisis de correlación tiene por objetivo determinar el porcentaje de personas altamente molestas por el ruido ambiental mediante la utilización del descriptor %HA. En este caso, la correlación queda definida por una curva que muestra el porcentaje de personas altamente incomodas por el ruido, con relación al nivel corregido día-noche. Esta curva se determina a partir de estudios empíricos y mediante métodos de regresión cuadrática.

$$\%HA = 0.03 L_{dn} - 42 + 0.0353(L_{dn} - 42)^2 \quad (3.3.1)$$

El descriptor  $L_{dn}$  utilizado en este cálculo corresponde al promedio energético de los niveles ( $L_{dn}$ ) en fachada generados por la modelación utilizando el modelo RLS-90.

En el caso de la comuna de Providencia, el nivel día-noche promedio es de 72.0 dBA, en consecuencia se puede establecer que el porcentaje de personas altamente molestas por el ruido de tráfico alcanza al 32,67% del total de la población de la comuna, en tanto, para el caso de Antofagasta el nivel día-noche promedio es de 71.7 dBA, por lo que se puede establecer que el porcentaje de personas altamente afectadas es de 32,02%.

A modo de ejercicio es posible comparar estos datos con los obtenidos en la encuesta de cada comuna. Si suponemos que las respuestas “demasiado” y “extremadamente” molestas corresponde a personas “altamente molestas”, y además, se calcula un promedio ponderado de los porcentajes según el periodo del día con el fin de hacerlos equivalentes al descriptor  $L_{dn}$ , se obtendría para la comuna de Providencia un 18,81% y para Antofagasta un 38,51% promedio diario de personas que se manifiestan altamente molestas.

- *Análisis por conglomerado.*

Con el fin de obtener información más detallada del porcentaje de personas altamente molestas según la bibliografía consultada, se realizó un cálculo adicional del %HA por conglomerado. De esta forma, se analiza la exposición al ruido de tráfico por la vía inmediata en puntos receptores conocidos. Se consideraron los conglomerados que formaron parte de la encuesta y se utilizó el promedio energético de los niveles día-noche en fachada correspondiente a cada uno de ellos.

En el caso de Providencia, los conglomerados más impactados corresponden a aquellos que colindan con Avda. Providencia, vía que a su vez presenta los mayores niveles de ruido. También destaca Avda. Manuel Montt y Antonio Varas, ambas en la intersección con Avda. Francisco Bilbao. Todos ellos

presentan un porcentaje de personas altamente molestas superior al 40%. Aquellos que presentan un %HA en un rango entre el 30% y el 40% corresponden a los conglomerados que se sitúan en las cercanías de vías de menor envergadura tales como Rancagua, Bilbao, E. Yáñez, C. Antúnez, Tobalaba o Los Conquistadores. Los conglomerados restantes poseen un porcentaje de personas altamente molestas menor al 30%. El intervalo que va desde el 20% al 30% es el que contiene la mayor cantidad de conglomerados lo que coincide con el porcentaje %HA calculado anteriormente considerando el promedio energético para toda la comuna de Providencia.

El mismo análisis se realizó para la comuna de Antofagasta, los resultados obtenidos muestran que, al igual que en el caso de Providencia, los conglomerados más afectados por el ruido se ubican cercanos a las vías de mayor tránsito vehicular, en este caso Avda. Argentina. Del mismo modo destaca la intersección de O'Higgins y Matta. Estos conglomerados poseen sobre un 40% de personas altamente afectadas por el ruido. En cuanto a los conglomerados que presentan un %HA entre el 30% y 40% destacan los que se ubican cerca de las calles O'Higgins, Carrera. Aunque también se encuentran en las cercanías de calles importantes como Avda. Argentina, su influencia no es tan evidente debido a que para el cálculo se utilizó el promedio de los niveles en fachada considerando todas las calles que circundan cada conglomerado, en consecuencia, es más importante el aporte que hacen el resto de calles que presentan un nivel menor. Una situación similar se ve en los conglomerados cercanos a Avda. Angamos, una de las principales vías de Antofagasta, a lo largo de esta vía el %HA varía en el rango 20% a 30%.

#### *3.4. Análisis de los resultados de la modelación y de la encuesta.*

Para el análisis de los resultados se utiliza la información obtenida en la Fase I [1]. Esta información corresponde a denuncias por ruido, fuentes denunciadas, características y distribución de la población, usos de suelo de acuerdo a plan regulador comunal, georreferenciación de centros de educación (bibliotecas, jardines infantiles, centros médicos, hogares de ancianos, centros comerciales, supermercados, etc.) con tal de analizar los niveles modelados de acuerdo a valores límite de exposición al ruido.

Para esto se consideró los criterios de evaluación establecidos por Organisation for Economic Co-operation and Development OECD [11], Federal Interagency Commuttiee on Noise FICON [12], Unión Europea UE [13] [24] y la Organización Mundial de la Salud OMS [14]. Dentro de estos criterios, se evaluó que los más relevantes para este estudio son el criterio de la OECD y la Comunidad Europea, ya que FICON se refiere a ruido generado por aeronaves principalmente, y OMS realiza recomendaciones para ambientes específicos, y no recomendaciones generales para zonas urbanas. Sin perjuicio de ello, es la misma Comunidad Europea en el Proyecto SILENCE [24] quien hace referencia a valores generales de la OMS como valores objetivos.

El criterio de la OMS es posible encontrarlo en varias citas bibliográficas, la más reciente (2009) [33] indica que sobre un Ln de 55dB (exteriores), la situación se considera cada vez más peligrosa, los efectos adversos en la salud se producen con frecuencia, una parte considerable de la población se manifiesta

muy molesta y con perturbación en el sueño. También existen pruebas de que aumentan las enfermedades cardiovasculares.

El nivel de 65 dBA es considerado por la OCDE como un nivel que pueden atentar seriamente contra la salud [32]. Estos mismos criterios son posibles de encontrar en la bibliografía como valores orientativos de las medidas para el control de ruido (EPA, FICON, etc.) [34] [35]. Vale mencionar que según bibliografía el criterio de 65 dB Ldn sería equivalente con 65 dB Ld y 55 Ln para efectos de recomendaciones.

Adicionalmente se puede mencionar que la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Administración Federal de Aviación (FAA) de Estados Unidos han establecido un valor objetivo interior Ldn de 45 dB. Esto se basa en la suposición que un edificio proporciona 20 dB de reducción del nivel de ruido aéreo, y entonces se recomienda un nivel de ruido exterior no mayor a 65 Ldn [37].

Para los fines del presente estudio es conveniente remitirse a valores de 65 dB durante el día, 55 dB por la noche como valores de referencia, tal como lo indica la Comunidad Europea [24], en coincidencia con los otros criterios mencionado.

Según estas referencias y los datos obtenidos, Providencia tiene un 31,6% de su superficie sobre los 65 dBA en el día y un 64,1% de la superficie con niveles sobre 55 dBA en la noche. En el caso de Antofagasta, un 42,4% de la superficie tiene sobre los 65 dBA en el día, y un 78,1% de superficie sobre los 55 dBA en la noche.

#### 3.4.1. Análisis urbano en base a los mapas de Ruido.

##### 3.4.1.1. Análisis urbano en Providencia.

De los Mapas de Ruido es posible observar que la comuna de Providencia en su condición diurna presenta altos niveles de ruido. La condición de mayor nivel se concentra sobre las vías troncales que tienen por función el dar cabida al flujo del transporte público y la conexión a través de los ejes principales oriente-poniente de la ciudad de Santiago. Por este motivo, los mayores niveles se localizan en el extremo norte de la comuna, sobre el par vial Avda. Santa María-Bellavista, y la Avda. Costanera Norte junto a la Avda. Providencia. Así mismo, se aprecia gran concentración de los niveles de ruido sobre avenidas que conectan en el sentido norte-sur como lo son, las vías troncales de Manuel Montt y Pedro de Valdivia.

Por otra parte, la condición de sub centro urbano dentro de la comuna de Providencia, cercano a las intersecciones de Avda. 11 de Septiembre y Pedro de Valdivia, con la concentración de actividades de servicio, comercio, oficina y equipamiento (cultural, educacional, ocio, etc.), presenta la misma condición de altos niveles de ruido.

En relación a la distribución del uso del suelo del Municipio los resultados son coincidentes con la concentración de las áreas de comercio y servicio donde a su vez se presentan los mayores niveles de flujo vehicular motorizado en vía de perfil de 15 m o superior. A su vez, los sectores residenciales y de oficina con trama menor y con calles de perfiles menores a 12 m presentan una disminución del nivel de ruido.

En la condición nocturna, la disminución del nivel general de ruido es notoria. Si bien sobre los ejes troncales, longitudinales oriente-poniente y transversales norte-sur, la presencia constante de transporte motorizado presenta altos niveles, entre dichas vías principales la condición de ruido es inferior a la condición diurna.

#### 3.4.1.2. Análisis Urbano en Antofagasta.

Del análisis del mapa de ruido para la condición diurna, se puede inferir que las mayores concentraciones de ruido se localizan en las vías estructurantes de la ciudad como son la Avda. Balmaceda-Angamos y Avda. Argentina respectivamente, es decir aquellas que poseen por función conectar longitudinalmente en el sentido Norte-Sur los diversos sectores residenciales, de servicio, equipamiento y oficinas, y por consiguiente concentrar los más altos niveles de flujo de transporte público y privado.

Por otra parte, en las calles en cuyas márgenes se emplaza la mayor densidad de actividad comercial y de servicios (trama del microcentro) la condición de niveles altos de ruido se hace presente y continua durante las horas del día, disminuyendo sólo en grandes paños de suelo sin trama vial como el paño definido por la Universidad Católica del Norte, aun cuando en sus márgenes definidos por los 2 grandes ejes viales anteriormente mencionados, presentan altos niveles que tienden a afectar su interior. Cabe señalar que otro factor que explica esta disminución en los niveles de ruido, es que en una trama menor, como es el sector costero alejado de la Avda. Angamos al sur, está relacionada más bien con sectores predominantemente residenciales, donde el tráfico es menor.

Para la condición nocturna, se hace patente la disminución de los niveles en sectores apartados al centro y alejados de las vías principales. Sin embargo la condición de máximo ruido permanece constante en las vías de conexión Norte-Sur de la ciudad. También es claro, que el uso de suelo ligado a actividades de recreación, comercio, gastronomía, ocio y otros servicios con presencia nocturna en sectores del microcentro y cercanos a la Avda. Balmaceda, generan un uso intensivo de la trama vial, razón explicada por la concentración de personas que se desplazan a través de estas vías para acceder a estas actividades.

#### 3.4.2. Análisis de exposición al Ruido de las fachadas de edificaciones.

En forma adicional a lo solicitado en los términos de referencia, se ha evaluado la incidencia de los niveles de ruido modelados en cada comuna del caso piloto sobre los conglomerados (manzanas

compuestas por construcciones de uso habitacional) seleccionados en el procedimiento de determinación de la percepción del ruido por parte de la comunidad, actividad 3.2, para los periodos diurno y nocturno.

El objetivo de este análisis es identificar el aislamiento mínimo necesario que deben poseer tales conglomerados con tal de obtener un confort acústico interior adecuado en relación a lo expuesto en la Norma Chilena NCh352/1.Of2000, Aislación Acústica - Parte 1: Construcciones de Uso Habitacional – Requisitos Mínimos y Ensayos [15]; respecto al aislamiento mínimo necesario.

Para cada conglomerado se ha obtenido el nivel de ruido la fachada, elemento constructivo vertical que separa el espacio habitable de la vivienda con respecto al exterior.

#### 3.4.2.1. Análisis para Providencia.

Al emplazarse frente y en proximidad a vías con alto flujo vehicular, situación característica para el tráfico de la comuna de Providencia, se observan altos niveles de ruido para la fachada más expuesta.

El valor calculado corresponde al nivel de ruido día ( $L_d$ ) en la fachada de cada edificación. Se analizó la distribución de frecuencia en porcentaje con respecto al nivel diurno de ruido y un total de 484 edificaciones evaluadas para la comuna de Providencia. La mayor tasa de frecuencia se observa para dos grupos, 61 – 65 y 66 - 70 dBA, con porcentajes por sobre el 30%. Con ello el aislamiento mínimo necesario corresponde a 25 dBA para el primer grupo y 30 dBA para el segundo.

#### 3.4.2.2. Análisis para Antofagasta.

Al igual que para la comuna de Providencia se evaluó la incidencia de los niveles de ruido modelados sobre edificaciones de uso habitacional en los conglomerados encuestados. Se analizó la distribución de frecuencia con respecto al nivel diurno de ruido ( $L_d$ ) y un total de 584 edificaciones evaluadas para la comuna de Antofagasta. La mayor tasa de frecuencia se observa para el grupo 61 - 65 dBA, con un porcentaje cerca del 40%, el aislamiento mínimo necesario corresponde a 25 dBA.

En una etapa posterior de estudio corresponderá analizar la calidad de estas edificaciones y la pertinencia del cumplimiento con la NCh352/1.Of2000.

### 3.5. Propuesta de gestión de ruido ambiental.

La manera más razonable de aproximarse a una propuesta en gestión de ruido ambiental local es conocer los avances de quienes llevan un camino importante recorrido en esta materia. Es extremadamente conveniente comprender experiencias que permitan adaptar aquellas medidas que puedan dar buen resultado, y aprender de eventuales errores. Así, para el desarrollo de este punto del proyecto se acordó con la Contraparte Técnica hacer referencia al Manual del Profesional para la

Elaboración de Planes de Acción Contra el Ruido en el Ámbito Local, del Proyecto Europeo SILENCE [24]. De esta manera, la propuesta de gestión de este estudio se basa completamente en las directrices y recomendaciones establecidas en este documento, de manera de destacar lo más útil para la realidad chilena con respecto a las siguientes líneas de acción.

- Integración de los planes de reducción del ruido en los procesos de planificación urbanística, tanto en la planificación de usos de suelos como en el diseño de edificios.
- Elaboración de planes de acción contra el ruido destinados entre otros objetivos a desarrollar soluciones, de carácter complementaria, a los problemas relacionados con el ruido vinculando a los distintos actores involucrados en el tema haciendo participar a la comunidad, además, por medio de consultas públicas.
- Establecer valores límite de ruido.
- Definir el ruido como un indicador de sostenibilidad
- Realizar análisis de la percepción del ruido y la molestia (paisajes sonoros)

Si bien los instrumentos de planificación territorial no se refieren específicamente a la condición de regulación del ruido, éstos determinan las condiciones del uso del suelo, relaciones entre equipamientos, edificaciones y vialidad, del desarrollo urbano y sus características. Así, se hace imperante la articulación en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción OGUC sobre la planificación y el ruido ambiental. Por lo tanto, es necesario que a través de un mandato en la ordenanza, se debiera hacer operativa la aplicación de esta temática que afecta la calidad de vida de las personas en la urbe. A este respecto, y de manera de dejar constancia y alentar el debate de estos temas por parte del Ministerio de la Vivienda, el Ministerio del Medio Ambiente, el Ministerio de Transporte, el Ministerio de Obras Públicas, el SERVIU y la CONAMA, sobre algunos tópicos que debieran quedar establecidos como lineamientos generales, se pueden señalar:

- Dejar patente la necesidad de una política nacional de control ambiental.
- Seguimiento de los procesos, acciones, instrumentos y estudios de manera de contar con un feed back que permita aprender de las experiencias y mejorar los procesos correctivos, preventivos y de gestión sobre ruido ambiental.
- Constituir una serie de acciones y lineamientos transversales a los diversos actores en las distintas escalas que afectan el territorio local.
- Los Mapas de Ruido y el Control del Ruido Ambiental debe ser un elemento a ser considerado dentro del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Incorporar una Evaluación Ambiental Estratégica, como un nuevo instrumento para Planes Intercomunales, Reguladores y Seccionales, y como validación de políticas que afectan el territorio y sus condiciones de desarrollo. En este sentido, se hace patente la necesidad de la evaluación de impactos de los documentos que definen acciones planificadas.
- Constituir una forma de presentación de proyectos y demandas a nivel local de manera de permitir y garantizar los desarrollos congruentes y compatibles de actividades en el espacio urbano local. Ejemplo de esto es la implicancia definida por Rentas y Patentes a nivel municipal,

sobre actividades molestas que pueden concentrar flujos vehiculares que repercuten en el ruido ambiental, o bien, las propias actividades como fuentes de ruidos molestos.

- Determinar un organismo que regule la aplicación de los Mapas de Ruido, certificando y estandarizando la forma de utilización de la herramienta para la planificación urbana y territorial.

En este sentido, su demanda en la OGUC podría permitir la implementación de una Norma Técnica como es el caso de la reciente incorporación de la Normativa Técnica cuyo estudio, desarrollo y normalización a nivel de todo el país, permitió un debate con participación de actores públicos, privados, académicos y técnicos, haciendo relevante la temática de manera transversal a toda la sociedad.

Una posible articulación de los actores involucrados para un adecuado análisis, diagnóstico, implementación y seguimiento de procesos que permitan un adecuado Control del Ruido ambiental en el territorio se explica en el siguiente esquema.



Figura 2. Articulación de organismos involucrados en la modificación de OGUC.

### 3.6. Análisis de proyecciones de línea de trabajo en Mapas de Ruido.

En las posibles proyecciones de esta nueva línea de trabajo, CONAMA sería la institución apropiada para desarrollarla en el país. Destacan entre los factores principales, su calidad de entidad coordinadora intersectorial, y el papel que debe jugar en la información ambiental nacional, y la elaboración de normativa ambiental. En este contexto, los resultados posibles de esperar de esta línea de trabajo, es la obtención de información ambiental acústica que permita diagnosticar el estado ambiental de las ciudades, entregar información ambiental a la población sobre el ruido ambiental al que están expuestos, y apoyar la elaboración de normas ambientales, como una norma de calidad acústica.

Siendo el costo uno de los aspectos relevantes de enfrentar, debería asociarse a la gestión local el fomento de la realización de estos estudios. Como sugerencia, debería establecerse que los Gobiernos Regionales promuevan la elaboración de mapas de ruido a nivel regional.

Luego de la elaboración de los primeros mapas de ruido deben elaborarse programas o planes de control de ruido, que deben ser evaluados en el tiempo y revisados. Tales programas deben estar a cargo de las SEREMI de Obras Públicas para los casos de obras de infraestructura de gran tamaño y que son de su competencia (por ejemplo, carreteras y aeropuertos), y a cargo de la SEREMI de Vivienda y Urbanismo en coordinación con el Municipio correspondiente, para el caso de los mapas de zonas urbanas.

Un aspecto importante que destacar es que en el país no existe un documento de referencia que permita resolver aquellos aspectos técnicos que corresponden a la elaboración de un mapa de ruido y de la información que éste debe contener. En este escenario, parece apropiado plantearse la elaboración de una guía para la realización de mapas de ruido en Chile. A la luz del objetivo de los mapas de ruido, e incluso de las encuestas sobre molestia generada por ruido, parece ser evidente que la revisión de la NCh N°1619 “Evaluación del Ruido en Relación con la Reacción de la Comunidad”, permitiría actualizar este documento incorporando en él dos nuevos aspectos: los mapas de ruido y las encuestas de molestia por ruido. Ambas materias deberían ser tratadas de manera de definir los aspectos más relevantes como aquellos normativos, e incluir en anexo no normativo, aquellas especificaciones que constituyen recomendaciones o buenas prácticas que permitirían obtener mejores resultados o garantizar la comparatividad de los estudios que se realicen en el país. Un documento de estas características, consensuado a nivel nacional, permitirá, además, apoyar técnicamente a la elaboración de estudios de impacto acústico (ya sea que ingresen o no al SEIA).

- Propuesta de priorización de capitales regionales en las que se elaborarán los mapas de ruido.

Para priorizar las ciudades donde elaborar los mapas de ruido, es necesario considerar los siguientes factores:

- a) Disponibilidad de la información cartográfica en calidad y formato que permita ser utilizada en la modelación de ruido ambiental.
- b) Disponibilidad de información sobre el flujo vehicular de calidad, que permita ser utilizada apropiadamente en la modelación de ruido ambiental.
- c) Tamaño de la población que puede estar expuesta a niveles importantes de ruido.
- d) Voluntad política del gobierno local y las instituciones vinculadas con la gestión ambiental local para realizar un estudio que arroje información que debería incorporarse a su gestión institucional.

- Propuesta de criterios de corte para fuentes de ruido en mapas de ruido.

Para los criterios de corte para la inclusión o exclusión de fuentes de ruido en la elaboración de los mapas de ruido en nuestro país, se sugiere guiarse por la experiencia europea en cuanto a los valores de corte, y adaptarlas a la realidad y avance nacional para su realización:

1. Para el caso de las aglomeraciones, se sugiere en una primera etapa establecer la obligación de hacer los mapas de ruido de las capitales regionales, y luego de las ciudades sobre 100.000 habitantes para una segunda etapa en forma obligatoria.
  2. Para los grandes ejes viales se sugiere en una primera etapa establecer la obligación de hacer los mapas de ruido para aquellos cuyo tráfico supere los seis millones de vehículos al año. Para una segunda etapa, elaborar los mapas de ejes viarios cuyo tráfico supere los tres millones de vehículos al año.
  3. Se sugiere en una primera etapa establecer la obligación de hacer el mapa de ruido para el principal eje ferroviario (Santiago - Pto. Montt), y una segunda etapa los ejes ferroviarios secundarios (ramales y zonales, como por ejemplo Arica – La Paz).
  4. La Red Primaria de aeródromos y aeropuertos deberían elaborar sus mapas de ruido en una primera etapa. Para una segunda etapa la Red Secundaria de aeródromos y aeropuertos que presenten una frecuencia de vuelos relevantes o estén cercanos a zonas pobladas.
- Opinión de expertos con experiencia en mapas de ruido.

Como una forma de apoyo al análisis de la línea de trabajo en mapas de ruido, se estimó útil conocer opiniones de la experiencia europea en el desarrollo de los mapas de ruido y su posterior utilidad en la gestión ambiental. Lo anterior en el contexto de la Directiva Europea 49/2002/EC sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, que establece la obligación de realizar mapas de ruido a ciudades y principales ejes viales.

Las preguntas que se formularon a los expertos fueron:

- A. De acuerdo a su conocimiento, ¿cuán importante es contar con mapas de ruido de las principales ciudades y ejes viales, y por qué?
- B. Según su opinión ¿cuáles son las acciones que deben tomarse para utilizar apropiadamente la información de los mapas de ruido elaborados?
- C. De acuerdo a su experiencia, ¿qué proyecciones ve Ud. que tiene el trabajo con los mapas de ruido en la gestión ambiental de una ciudad o eje vial?. Por favor nombre experiencias donde se ha incorporado esta herramienta y sus resultados.

Se enviaron las preguntas a varios expertos, obteniendo la valiosa respuesta de las siguientes personas:

1. Dr. Manuel Recuero. Catedrático de la Universidad Politécnica de Madrid, y Especialista en Temas Acústicos.
2. Dr. Jesús Alba Fernández. Profesor del Departamento de Física Aplicada e imparte docencia en la Escuela Politécnica Superior de Gandía, España.
3. Sr. Placido Perera. Experto en acústica ambiental, trabajó muchos años en el Ayuntamiento de Madrid, España, a cargo del área de Acústica.

4. Sra. Margarida Guedes, de la Agência Portuguesa do Ambiente, integrante de diversos comités europeos vinculados con políticas europeas de ruido ambiental.
5. Dr. Rokho KIM, World Health Organization, EURO ECEH Bonn Office.
6. Mr. Martin van den Berg. Ministry of Environment in the Netherlands, WHO temporary advisor.
7. Mr. Markus Petz, General manager, senior consultant, ACCON GmbH. En el “joint venture” entre ACCON GmbH y DataKustik GmbH, ACCON es responsable del desarrollo acústico y el soporte del software, CADNA / A.
8. Mr. Paul de Vos, Consultor experto en mapas de ruido, DHV BV. Miembro de European Expert Panel on Noise (panel de diez expertos que desarrolla las recomendaciones para la Comisión Europea).

De las respuestas se puede concluir que los expertos opinan que:

1. Hay coincidencia en la necesidad de elaborar los mapas de ruido en las ciudades y principales ejes de tránsito: vehículos, trenes y aviones.
2. Los mapas de ruido son reconocidos como la herramienta principal para conocer el nivel de contaminación acústica presente y futura.
3. Los mapas modelados son la mejor manera de realizar los primeros estudios de grandes superficies pobladas.
4. El primer mapa de ruido en una ciudad es un excelente diagnóstico que puede determinar las zonas con problemas acústicos ambientales y aquellas que tienen mejores condiciones acústicas.
5. Los mapas de ruido son la primera etapa de elaborar planes de acción.
6. La principal fuente de ruido en las ciudades es el tránsito rodado.
7. La información de los mapas de ruido debe integrarse con los sistemas de información geográficos, y publicarlos.
8. Los datos obtenidos de los mapas de ruido deben servir para ser considerados en el ordenamiento territorial.
9. Las modelaciones requieren de mediciones para comprobarse su veracidad.
10. La información de los mapas de ruido que se generan en la UE son el número de personas expuestas a niveles de ruido en ciertas bandas (es decir, 55 a 60 dB, 60 a 65 dB, y así sucesivamente).
11. A raíz de la experiencia de la UE, hay dos tipos de mapas de ruido: uno es el mapa de colores de la ciudad, mostrando los niveles de ruido, y el otro es por medio de una tabla de datos.
12. Los planes de acción, que se han elaborado en las ciudades europeas como consecuencia de la Directiva de la UE, definen objetivos para medidas futuras.
13. Respecto a las encuestas, éstas son necesarias, pero la información que entregan no permiten tomar ninguna acción.