
INFORME FINAL

ESTUDIO

ELABORACIÓN DE MAPA DE RUIDO DEL GRAN SANTIAGO MEDIANTE SOFTWARE DE MODELACIÓN

**SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE
FICHA DE LICITACIÓN N° 608897-12-LE11.**

DICIEMBRE 05 DE 2011

**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. JOSÉ LUIS BARROS R. INSTITUTO DE ACÚSTICA UACH.
DRA. EST. LILIANA BÁEZ M. INSTITUTO DE ESTADÍSTICA UACH.
MG. GEÓGRAFO CARLOS SAAVEDRA P. (CONSULTOR INVITADO)

RUBÉN ROMERO G. INGENIERO ACÚSTICO UACH.
JUAN PABLO ÁLVAREZ R. INGENIERO CIVIL ACÚSTICO UACH.
CLAUDIO GONZÁLEZ R. INGENIERO CIVIL ACÚSTICO UACH.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. ACTIVIDADES.....	4
3.1. ELABORACIÓN DE MAPAS DE RUIDO DEL GRAN SANTIAGO.....	4
3.1.1. <i>Análisis de la información disponible para el proyecto</i>	4
3.1.2. <i>Consideraciones respecto a posibles errores debido a la asignación de flujos y velocidades</i>	5
3.1.3. <i>Información para realización de la modelación acústica</i>	10
3.1.3.1. <i>Categorización de vías de flujo vehicular</i>	10
3.1.3.2. <i>Análisis de flujos de tránsito vehicular y de niveles de ruido</i>	18
3.1.3.3. <i>Tipología de edificaciones</i>	31
3.1.3.4. <i>Altura de modelación</i>	48
3.1.3.5. <i>Puntos de medición de la campaña de terreno</i>	59
3.1.3.6. <i>Relación entre mediciones acústicas y flujos vehiculares</i>	77
3.1.4. <i>Mapa de Ruido</i>	84
3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL MAPA DE RUIDO.....	100
3.3. RECOMENDACIONES EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL EN CONTROL DE RUIDO.....	105
3.3.1. <i>Lineamientos estratégicos para abordar el control del ruido en las ciudades</i>	105
3.3.2. <i>Las Ordenanzas como instrumento de gestión del ruido</i>	112
3.4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	123
4. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	124

ANEXOS

ANEXO 1	Clasificación vial por comuna
ANEXO 2	Datos de flujo vehicular
ANEXO 3	Mediciones acústicas Campaña Temprana de terreno
ANEXO 4	Mediciones acústicas Campaña de Medición
ANEXO 5	Comparación alturas de modelación
ANEXO 6	Mapas de Ruido del Gran Santiago

1. INTRODUCCIÓN.

El presente documento corresponde al Informe Final desarrollado por el Instituto de Acústica de la Universidad Austral de Chile según licitación N° 608897-12-LE11. Elaboración de Mapa de Ruido del Gran Santiago Mediante Software de Modelación. Este estudio ha sido solicitado por la Sección de Control de Ruido Ambiental de la División de Políticas y Regulación Ambiental de la Subsecretaría del Medio Ambiente.

Se describen los resultados de las actividades planteadas por Subsecretaría del Medio Ambiente en los Términos de Referencia correspondientes.

Para la realización de este trabajo se contó con información facilitada por varias instituciones, a quienes se le agradece su apoyo a nombre del Ministerio del Medio Ambiente y del equipo consultor: OCUC (Observatorio de Ciudades UC), SECTRA (Secretaría de Planificación de Transporte), Transantiago, METRO SA., EFE, y aquellas municipalidades que proporcionaron datos sobre la clasificación de las vías de su comuna.

2. OBJETIVOS.

Los objetivos establecidos por los Términos de Referencia (TdR) se definen a continuación.

2.1. *Objetivo general.*

- Elaborar el mapa de ruido del Gran Santiago, mediante la aplicación de un modelo de predicción de ruido.

2.2. *Objetivos específicos.*

- Obtener el mapa de ruido del Gran Santiago, utilizando el Software de modelación CadnaA Noise Mapping (CadnaA Estándar + extensión BMP +extensión XL)
- Analizar los resultados y realizar un cruce de información, estableciendo recomendaciones y lineamientos estratégicos para el control de ruido ambiental.

3. ACTIVIDADES.

3.1. Elaboración de Mapas de Ruido del Gran Santiago.

Elaborar el Mapa de Ruido del Gran Santiago, mediante el Software de Modelación CadnaA Noise Mapping (CadnaA Estándar + extensión BMP +extensión XL), cuyos resultados deben presentarse en un sistema de información geográfica. Esta actividad debe realizarse en dependencias del Ministerio del Medio Ambiente, ya que la institución cuenta con este software.

Se elaboró el mapa de ruido solicitado mediante modelación utilizando el software Cadna/A Noise Mapping que posee Ministerio del Medio Ambiente. El trabajo se desarrolló en oficinas de la institución, en los tiempos de ejecución planteados y los formatos establecidos por los TdR.

El Ministerio del Medio Ambiente ofreció la facilidades para que el profesional del equipo consultor tuviera a su disposición los medios de software y hardware apropiados, necesarios para desarrollar esta importante parte del estudio.

Para el desarrollo de este Proyecto, y según lo establecido en los TDR, el trabajo de modelación se llevó a cabo en dependencias Ministerio del Medio Ambiente por el Ing. Acústico Sr. Rubén Romero G., a partir de la segunda quincena del mes de julio hasta completar los cuatro meses, completando las horas de trabajo requeridas para estos efectos.

El proceso de modelación se llevó a cabo incorporando al software de modelación la información necesaria, que corresponde principalmente a información cartográfica y de flujo vehicular. Cabe señalar que según lo solicitado, el mapa de ruido producto de este estudio se limita al ruido generado por el tránsito vehicular y de trenes, y no contempla el ruido generado por aviones, industrias y otras fuentes fijas, y ruido del vecindario generado por la actividad de las personas.

3.1.1. Análisis de la información disponible para el proyecto

Las variables de entrada a la modelación son aquellas que requiere el software y 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, flujo de ferrocarriles, edificación en altura, manzanas, predios, variables meteorológicas, ciclo diario semanal, etc., además de la topografía (curvas de nivel).

Para realizar la modelación se tomaron como referencia aquellos procedimientos y antecedentes establecidos en los estudios Elaboración de Mapas de Ruido Mediante Software De Modelación, Para Caso Piloto (Comunas de Antofagasta y Providencia) [16] y Elaboración de Mapa de Ruido Comuna de Santiago Mediante Software de Modelación [18]. Fundamentalmente se requieren datos de edificaciones con atributos de altura, caracterización vial y flujos vehiculares.

En este contexto, se trabajó a luz de los datos disponibles en el transcurso del proyecto, y que fueron entregados por el Ministerio del Medio Ambiente, tales como la clasificación vial por comuna, entre otros. Aquellos datos con los que no se dispuso, fue el equipo consultor quien propuso la solución de la información faltante, con miras a una buena realización del proyecto, como por ejemplo, la clasificación vial de aquellas comunas con que no se contó con tal información. Más adelante se incluye una lista de las comunas consideradas en este estudio, su clasificación vial y la procedencia de dicha categorización.

3.1.2. Consideraciones respecto a posibles errores debido a la asignación de flujos y velocidades

Dado que el proceso de categorización de vías implica finalmente asignar flujos vehiculares y velocidades para un gran número de vías, resulta razonable analizar el efecto que puede tener en el valor de nivel de ruido modelado un cierto grado de error o incertidumbre de las variables flujo y velocidad asignados, respecto de su valor real. Como ambas variables aparecen en los diferentes modelos incorporados dentro de una función logarítmica, es posible asumir que se pueden permitir márgenes de error relativamente altos en dichas variables, sin que esto genere errores de consideración en el nivel de ruido modelado.

El error del nivel de ruido modelado debido a un error en flujo vehicular total, es similar para los diferentes modelos que han ofrecido buenos resultados en estudios anteriores [16][18] o son los más recomendados (RLS-90, NMPB, STL-86). En los tres modelos aparece el flujo total como un factor dentro de una función logarítmica. La consideración de la velocidad en los diferentes modelos es un poco más compleja y no se puede llegar a concluir algo general tan directamente como en el caso del flujo total. Otro aspecto a considerar es si el error no se da en el flujo total, sino que en la composición de dicho flujo. Es decir, si se produce un error al establecer el porcentaje de vehículos pesados.

En la siguiente figura se muestran los errores en nivel equivalente (dBA) modelados en función de cada error o incertidumbre del porcentaje p de vehículos pesados, dada una velocidad promedio v (50 km/h) y distintos porcentajes de vehículos pesados para tres modelos acústicos distintos. Se asume, para el caso del modelo RLS-90 y STL-86, que no hay error en el flujo total. En el caso del modelo francés se asumió sin error el flujo de vehículos livianos y un factor de equivalencia vehículo pesado a liviano igual a 7 [22].

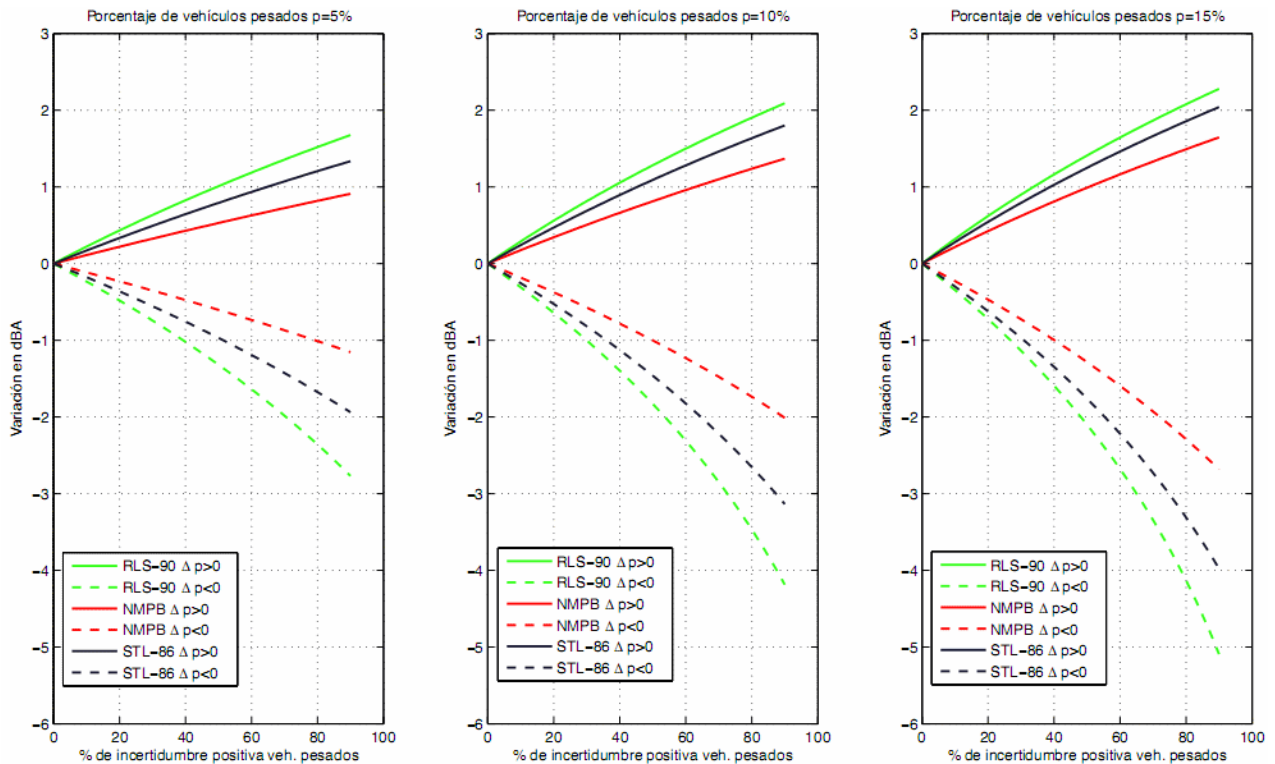


Fig. 1. Variación del nivel equivalente (dBA) en función de la error o incertidumbre del porcentaje de vehículos pesados, dada una velocidad promedio (50 km/h) y distintos porcentajes p de vehículos pesados para tres modelos distintos.

En los tres casos, el patrón general se repite. Con un mismo porcentaje de incertidumbre en flujo de vehículos pesados, el error o variación en nivel de presión sonora es menor para el modelo NMPB. Luego le sigue el modelo STL-86 y finalmente el RLS-90. Este último es el más sensible a las incertidumbres de entrada relacionada al porcentaje de vehículos pesados.

Por ejemplo, considerando las condiciones dadas y en el caso $p = 10\%$, para obtener un error menor o igual a 1 dBA se permitiría tener una incertidumbre positiva de 40 % en el modelo alemán, 48 % en el suizo y 60 % en el francés. Por otro lado, a medida que aumenta el porcentaje de vehículos pesados, la incertidumbre positiva debe ser menor para estar dentro de la variación de 1 dBA. Esto coincide con los resultados sobre este parámetro al analizar cada modelo por separado.

Por otra parte, se puede decir que en todos los modelos, una incertidumbre negativa es más perjudicial en términos de variación en dBA que una incertidumbre positiva para el porcentaje de vehículos pesados.

En la siguiente figura se muestra la variación en dBA producto de la incertidumbre al estimar la velocidad para los distintos modelos. Aquí se asume $p = 10\%$ y se escogen tres valores para la velocidad, 50 km/h, 60 km/h y 70 km/h.

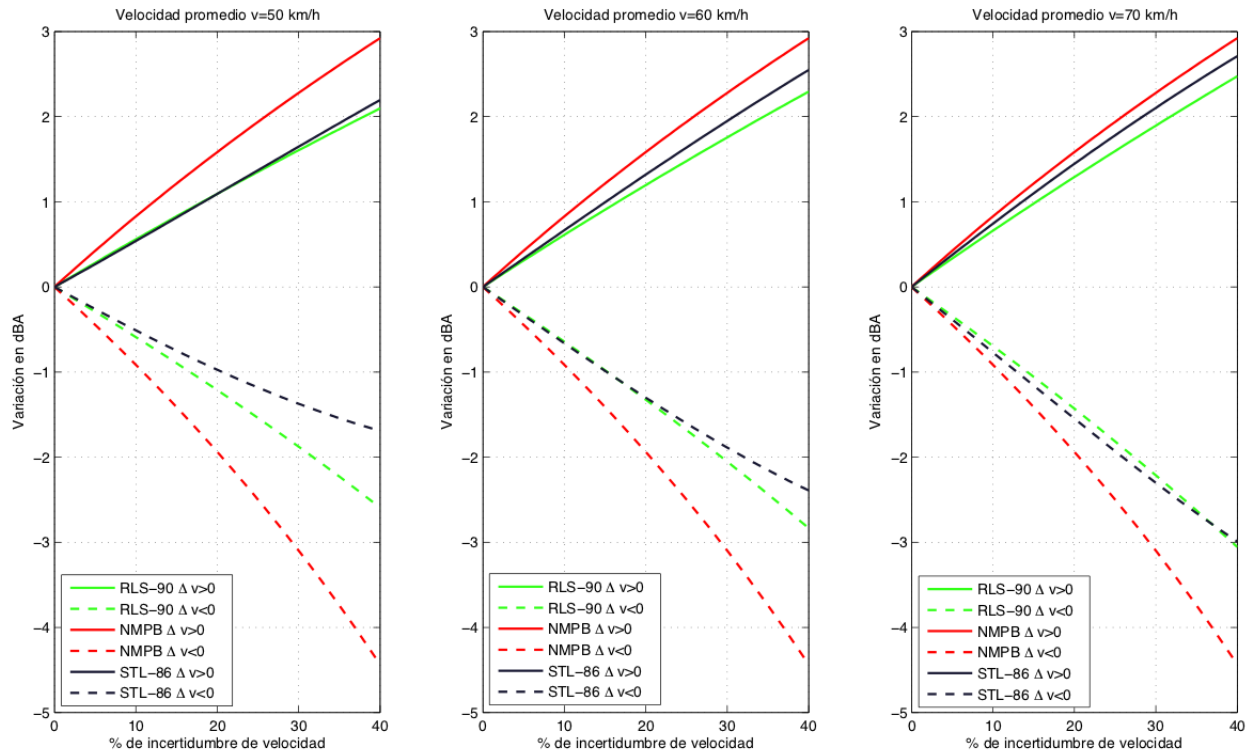


Fig. 2. Variación de nivel equivalente (dBA) en función de la incertidumbre de la velocidad, dado un porcentaje de vehículos pesados (10 %) y distintas velocidades promedio para vehículos pesados y livianos, utilizando tres modelos distintos.

En los tres casos, se cumple que la variación en dBA aumenta al incrementarse la incertidumbre de la velocidad promedio de vehículos livianos y pesados. Para la incertidumbre positiva se cumple que el modelo más sensible es el francés, luego le sigue el suizo y finalmente el menos sensible, el alemán. Sin embargo, el orden cambia para una incertidumbre negativa de la velocidad. En este caso, el que arroja mayor variación en dBA es el francés, luego el alemán y finalmente el suizo.

Se puede mencionar, a modo de ejemplo, que para mantener un error menor o igual a 1 dBA, se permitiría una incertidumbre positiva de 12 % para el modelo francés, mientras que un 18% para los modelos alemán y suizo, para una velocidad de 50 km/h. Además, se observa que a medida que aumenta la velocidad promedio, las curvas tienden a coincidir en la variación en dBA del nivel de presión sonora. Respecto a la incertidumbre

negativa de la velocidad ocurre lo mismo, pero es más notorio para las curvas del modelo suizo y alemán.

En general se hace más difícil establecer la velocidad que el flujo. Bajo esta consideración, y tomando en cuenta que en la Fase II [16] y Fase III [8], las menores diferencias entre valores modelados y medidos se han dado para el modelo RLS-90, sigue siendo razonable la elección del modelo alemán para realizar los mapas de ruido. Por lo tanto, este modelo se utilizará en el presente estudio. Para resumir de mejor manera el comportamiento del modelo frente a los errores en flujo o velocidad, en el siguiente gráfico se muestra las curvas de igual error en nivel modelado (± 1 dBA, ± 3 dBA) en función de los errores en velocidad y flujo total considerando como simplificación que los vehículos pesados y livianos viajan a la misma velocidad. En cuanto a la variación positiva o negativa del flujo y/o velocidad (es decir, si los flujos o velocidades son mayores o menores al valor real) se ha considerado como error el peor resultado posible de dichas combinaciones, por este motivo no aparece en este caso, un análisis separado de incertidumbres positivas o negativas. El conjunto de curvas que aparecen se produce al considerar velocidades de 40, 60 y 80 km/h y porcentajes de vehículos pesados de 20, 40, 60 y 80%. Se puede apreciar que no se presentan grandes diferencias. Las curvas están claramente agrupadas, y por lo tanto se puede considerar como representación del error en nivel para todo el rango de velocidades y flujos de interés.

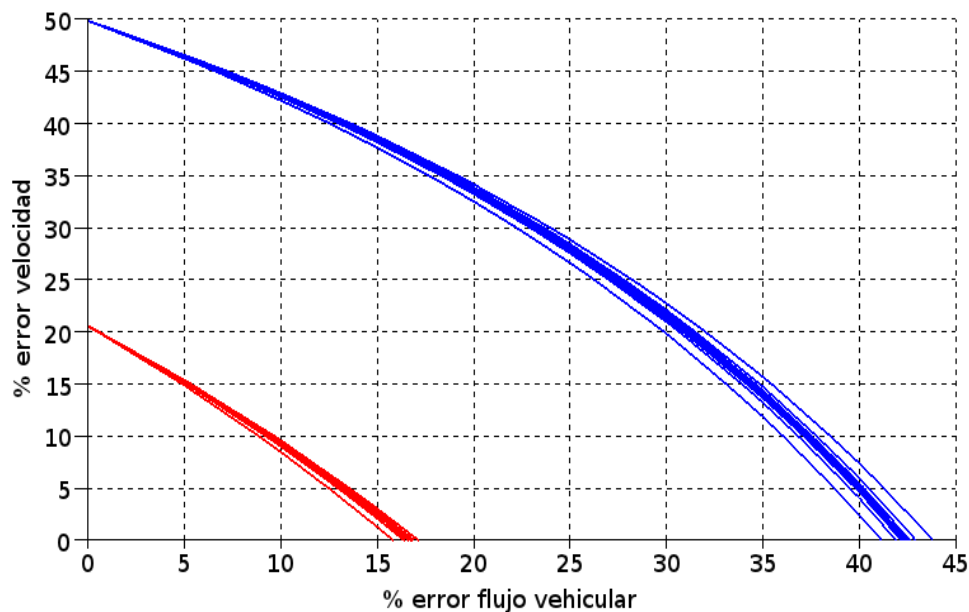


Fig. 3. Curvas de igual error en nivel de ruido en función de los errores en flujo y velocidad.
Curvas de color rojo corresponden a ± 1 dBA, curvas azules a ± 3 dBA.

En el caso del modelo para el ruido generado por trenes SCHALL 03, la componente dependiente de la velocidad es $D_s = 20 \log(0.01 \cdot V)$, donde V es la velocidad en Km/h. El efecto del flujo se incorpora mediante la

suma energética del nivel emitido por cada tren durante los períodos de evaluación. Esto implica que el valor del flujo (cantidad de trenes en el período de análisis) aparece como argumento de una función logarítmica, pero no aparece cuadráticamente como el caso de la velocidad. Para resumir el comportamiento del modelo frente a los errores en flujo o velocidad, de manera análoga a lo realizado anteriormente para el modelo ruido generado por el tránsito vehicular. En el siguiente gráfico se muestra las curvas de igual error en nivel modelado (± 1 dBA, ± 3 dBA) en función de los errores en velocidad y flujo total.



Fig. 4. Curvas de igual error en nivel de ruido en función de los errores en flujo y velocidad considerando el modelo de trenes SCHALL 03. Curva de color rojo corresponde a ± 1 dBA, curva azul a ± 3 dBA.

3.1.3. Información para realización de la modelación acústica

3.1.3.1. Categorización de vías de flujo vehicular

Para utilizar una clasificación de vías que permita realizar la modelación acústica de este proyecto, se consideraron la metodología establecida en el estudio Elaboración de Mapa de Ruido Comuna de Santiago Mediante Software de Modelación [18], y la clasificación del REDEVU¹.

La clasificación vial utilizada en la elaboración del mapa de ruido de la Comuna de Santiago [18] define, según su función urbana, las siguientes categorías:

- **Categoría 1:** Vías de utilización preferente para comunicar la ciudad con otras ciudades (carreteras, para ciudades del tipo estudiado, de carácter nacional) y para intercomunicar estas vías entre ellas a través de la zona urbana (en general, serán vías de dirección indicada o señalizada).
- **Categoría 2:** Vías urbanas que dan acceso desde las vías de la categoría anterior a nodos de distribución principales de la ciudad, por ejemplo rotondas, que unen al menos cuatro calles, dando la posibilidad de, una vez en ellas, acceder o dirigirse hacia al menos tres tipos de zonas urbanísticamente distintas de la ciudad. En esta definición no se incluyen nodos que hayan sido incluidos en las vías de la Categoría 1. También se incluyen en esta categoría las vías que son usadas de forma alternativa a las de la categoría anterior, dada la saturación que éstas pueden presentar en muchas ciudades.
- **Categoría 3:** Se incluyen en ella tanto las vías que comunican la ciudad con otras zonas regionales (carreteras, por tanto, para “ciudades del tipo estudiado”, de carácter regional o provincial), como las vías urbanas que dan acceso desde las anteriores a centros de interés o que comunican, de forma clara, las anteriores entre sí.
- **Categoría 4:** Vías de intercomunicación entre las categorías anteriores. Además, se incluyen en esta clasificación, las principales vías de los diferentes barrios que no han sido incluidas en categorías previas.
- **Categoría 5:** Se incluyen en ella todas las calles de la ciudad (excepto las peatonales) que no han sido incluidas en alguna de las categorías anteriores.
- **Categoría 6:** Calles peatonales, calles con tránsito regulado o restringido.

¹ Recomendaciones para el Diseño de Elementos de Infraestructura Vial Urbana (REDEVU), Manual de Vialidad Urbana, Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Al analizar la equivalencia entre esta clasificación funcional acústica para este tipo de estudios y la clasificación utilizada en el país por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, se observa que no existe una correspondencia directa, pues el origen de ambas clasificaciones es distinto. En este contexto, la posible equivalencia entre ambas metodologías, se puede estimar de la siguiente manera [18]:

- Vía expresa: Categoría 1
- Vía troncal: Categoría 2
- Vía colectora: Categoría 2 y 3
- Vía de servicio: Categoría 3 (quizás en algunos casos 4)
- Vía local: Categoría 4-5

Es posible utilizar ambas clasificaciones para efectos de modelación de ruido de tránsito, siempre que permitan diferenciar con claridad un tipo de vía de otro desde el punto de vista acústico. Dicho de otra forma, la utilización de una u otra metodología podría permitir un buen desarrollo de modelación acústica, siempre que la clasificación se lleve a cabo acuciosamente y permita diferencias satisfactorias para la variable de interés: la emisión de ruido. Vale mencionar que este método puede ser útil para obtener la emisión de ruido de un tipo de vía y seguramente no servirá para otros fines distintos a éste.

Considerando que la clasificación REDEVU es reconocida y utilizada en la zona de estudio, la gran superficie urbana que contempla el proyecto, y los alcances del estudio, no se hace viable realizar una nueva clasificación vial específica para este estudio que sea distinta a la REDEVU. Es justamente esta última la que presenta mayores ventajas y utilidad en el presente proyecto. Las posibles diferencias respecto a la clasificación utilizada en el estudio de la Comuna de Santiago, se encuentran principalmente en las vías de menores flujos vehiculares, y donde se tiene mayor variación de tránsito y menores niveles de ruido. No es posible asegurar que una metodología entregue un mejor comportamiento para efectos de modelación de ruido respecto a la otra, pero, sin duda, la clasificación REDEVU presenta ventajas prácticas que la hacen la más conveniente.

Visto lo anterior, se emplearon criterios ya establecidos por los instrumentos de planificación territorial utilizados en el país, y la zona de estudio. Dado que los aspectos fundamentales para el análisis del ruido asociado a las vías corresponde a la velocidad y su capacidad que permite definir los flujos, y que el ámbito de trabajo es completamente urbano, se consideró la clasificación del REDEVU de vías expresas y troncales (definidas en el PRMS) y las colectoras, de servicio y locales (definidas en los PRC). Por esta razón, se solicitó que se entregara por parte del MINVU y los Municipios la clasificación de su red vial.

La clasificación de vías urbanas definida en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, y que es aquella que debe usarse para la confección de los Instrumentos de Planificación Territorial, está también

contenida en el punto 2.03.2 *Detalle de categorías vehiculares*, del REDEVU [19]. Atendiendo la función principal, sus condiciones fundamentales y estándares de diseño, las vías urbanas de usos públicos intercomunales y comunales destinadas a la circulación vehicular, se clasifican en expresa, troncal, colectora, de servicio y local, y los criterios a considerar para su definición son los siguientes:

Vía Expresa

- Su rol principal es establecer las relaciones intercomunales entre las diferentes áreas urbanas a nivel regional.
- Sus calzadas permiten desplazamientos a grandes distancias, con una recomendable continuidad funcional en una distancia mayor de 8 km. Velocidad de diseño entre 80 y 100km/h.
- Tiene muy alta capacidad de desplazamiento de flujos vehiculares, en ambos sentidos.
- Flujo predominante de automóviles, con presencia de locomoción colectiva y vehículos de carga. Prohibición de circulación para vehículos de tracción animal y humana.
- Los cruces con otras vías o con circulaciones peatonales preferentemente deberán ser a distintos niveles.
- Los cruces con otras vías deben estar a distancias no menores de 1.000 m., debiendo contar a lo menos con enlaces controlados. Paradas de buses sólo en lugares especialmente diseñados y habilitados.
- Segregación funcional, en general, completa respecto de las actividades del entorno. Servicios anexos prohibidos sin accesos especiales.
- Prohibición absoluta y permanente del estacionamiento y la detención de cualquier tipo de vehículo, sobre la calzada de circulación.
- La distancia entre líneas oficiales no debe ser inferior a 50m.
- El ancho mínimo de sus calzadas pavimentadas no debe, en conjunto, ser inferior a 21 m.
- Debe estar conformada por un solo cauce, bidireccional, debidamente canalizado y dispondrá de una mediana de ancho mínimo de 2 m., pudiendo contar además con caleteras.
- En general deben consultar caleteras. De no ser así, se podrá prescindir de ellas solo en casos muy justificados. Estará provista de aceras en su lado exterior, de un ancho mínimo de 4 m.
- No se contempla en ellas la existencia de ciclovías, pero pueden existir en las vías locales.

Vía Troncal

- Su rol principal es establecer la conexión entre las diferentes zonas urbanas de una intercomuna.
- Sus calzadas permiten desplazamientos a grandes distancias, con una recomendable continuidad funcional en una distancia mayor de 6 km. Velocidad de diseño entre 50 y 80 km/h.

- Tiene una alta capacidad de desplazamiento de flujos vehiculares, considerando ambos sentidos.
- Flujo predominante de locomoción colectiva y automóviles, con prohibición para vehículos de tracción animal y humana.
- Los cruces con otras vías de circulaciones peatonales pueden ser a cualquier nivel, manteniéndose la preferencia de esta vía sobre las demás, salvo que se trate de cruce con vías expresas, las cuales son preferenciales. Los cruces a nivel con otras vías troncales deben ser controlados. El cruce de peatones podrá ser a desnivel, en caso contrario, deberá ser restringido a los cruces semaforizados y prohibidos en cualquier otro lugar de a vía.
- Los cruces, paraderos de locomoción colectiva servicios anexos y otros elementos singulares, deben estar distanciados entre sí a una distancia tal que no ocasionen un perjuicio notorio sobre el patrón de circulación de esta tipología de vías.
- Presenta una segregación funcional parcial con su entorno. Servicios anexos sólo con accesos normalizados.
- Prohibición absoluta y permanente del estacionamiento y de la detención de cualquier tipo de vehículo en su calzada.
- La distancia entre líneas oficiales no debe ser inferior a 30m.
- El ancho mínimo de sus calzadas pavimentadas, en conjunto, no puede ser inferior a 14 m.
- Puede estar conformada por un solo cauce, bidireccional, con o sin mediana, o bien, puede constituirse un Sistema troncal conformado por un par de vías con distinto sentido de tránsito, en que cada una de ellas cumpla los siguientes requerimientos mínimos: distancia entre líneas oficiales no inferior a 20 m., ancho de calzada pavimentada no inferior a 7 m.
- Deberán existir aceras a ambos costados, cada una de ellas de 3,5 m. de ancho mínimo, en su condición más desfavorable.
- En el caso de existir ciclovías, ellas pueden ser de ciclistas o ciclobandas, las cuales podrán ser materializadas en aceras.

Vía Colectora

- Su rol principal es de corredor de distribución entre la residencia y los centros de empleo y de servicios, y de repartición y/o captación hacia o desde la trama vial de nivel inferior.
- Sus calzadas atienden desplazamientos a distancias medias, con una recomendable continuidad funcional en una distancia mayor de 3 km. Velocidad de diseño entre 40 y 50 km/h.
- Tiene capacidad media alta de desplazamiento de flujos vehiculares, considerando ambos sentidos.
- Flujo predominante de automóviles. restricciones para vehículos de tracción animal.

- Los cruces con otras vías de circulaciones peatonales pueden ser a cualquier nivel, manteniéndose la preferencia de esta vía sobre las demás, salvo que se trate de cruces con vías expresas o troncales los cuales deben ser controlados.
- No hay limitaciones para establecer el distanciamiento entre sus cruces con otras vías.
- Ausencia de todo tipo de segregación con el entorno. Servicios anexos sólo con accesos normalizados.
- Puede prohibirse el estacionamiento de cualquier tipo de vehículo en su calzada.
- La distancia entre líneas oficiales no debe ser inferior a 20m.
- El ancho mínimo de sus calzadas pavimentadas, en conjunto, no puede ser inferior a 14 m.
- Puede estar conformada por un solo cauce, bidireccional, con o sin mediana, o bien, puede constituirse un sistema colector conformado por un par de vías con distinto sentido de tránsito, en que cada una de ellas cumpla los siguientes requerimientos mínimos: distancia entre líneas oficiales no inferior a 15 m., ancho de calzada pavimentada no inferior a 7 m.
- Deberán existir aceras a ambos costados, cada una de ellas de 3 m. de ancho mínimo, en su condición más desfavorable.
- Puede o no existir ciclovías.

Vía de Servicio

- Vía central de centros o subcentros urbanos que tienen como rol permitir la accesibilidad a los servicios y al comercio emplazado en sus márgenes.
- Su calzada atienden desplazamientos a distancia media, con una recomendable continuidad funcional en una distancia mayor de 1 km. Velocidad de diseño entre 30 y 40 km/h.
- Tiene capacidad media alta de desplazamiento de flujos vehiculares, considerando toda su calzada.
- Flujo predominante de locomoción colectiva. Restricción para vehículos de tracción animal.
- Los cruces pueden ser a cualquier nivel, manteniéndose la preferencia de esta vía sólo respecto a las vías locales y pasajes, los cuales deben ser controlados.
- No hay limitaciones para establecer el distanciamiento entre sus cruces con otras vías. La separación entre paraderos de locomoción colectiva preferentemente será mayor de 300 m.
- Ausencia de todo tipo de segregación con el entorno.
- Permite el estacionamiento de vehículo, para lo cual deberá contar con banda especial, la que tendrá un ancho consistente con la disposición de los vehículos que se adopte.
- La distancia entre líneas oficiales no debe ser inferior a 15 m.
- El ancho mínimo de sus calzadas pavimentadas no debe ser inferior a 7 m., tanto si se trata de un solo sentido de tránsito o doble sentido de tránsito.

- Debes estar conformada por un solo cauce.
- Deberán existir aceras a ambos costados, cada una de ellas de 2,5 m. de ancho mínimo, en su condición más desfavorable.
- Puede o no existir ciclovías.

Vía Local

- Su rol es establecer las relaciones entre las vías Troncales, Colectoras y de Servicios y de acceso a la vivienda.
- Su calzada atienden desplazamientos a cortas distancias. Ausencia de continuidad funcional para servicios de transporte. Velocidad de diseño entre 20 y 30 km/h.
- Tiene capacidad media o baja de desplazamiento de flujos vehiculares.
- Flujo de automóviles y vehículos de tracción animal o humana excepcionalmente locomoción colectiva.
- Los cruces pueden ser a cualquier nivel, manteniéndose la preferencia de esta vía sólo respecto de pasajes.
- No hay limitaciones para establecer el distanciamiento entre sus cruces con otras vías.
- Presenta alto grado de accesibilidad con su entorno.
- Permite el estacionamiento de vehículo en su calzada.
- La distancia entre líneas oficiales no debe ser inferior a 11 m.
- El ancho mínimo de sus calzadas pavimentadas no debe ser inferior a 7 m., tanto si se trata de un solo sentido de tránsito o doble sentido de tránsito.
- Cuando este tipo de vía cuente con acceso desde un solo extremo, la mayor distancia entre el acceso a un predio y la vía vehicular continua más cercana será de 100 m., debiendo contemplar en su extremo opuesto un área pavimentada que permita el giro de vehículos livianos. Podrá prolongarse dicha longitud hasta un máximo de 200 m., si cuenta con un tramo inicial equivalente con un mínimo al 50% de la longitud total, de 15 m. de ancho entre líneas oficiales y un ancho de calzada pavimentada no inferior a 7 m., que permita el estacionamiento adicional de vehículos en uno de sus costados a lo menos en 2 m. de ancho. Cuando su longitud sea inferior a 50 m. podrán tener hasta 1 m. menos las medidas contempladas en los dos puntos anteriores.
- Deberán existir aceras a ambos costados, cada una de ellas de 2 m. de ancho mínimo.
- No se contempla en ellas la presencia de ciclovías.

La clasificación de las vías en diferentes categorías permite una estratificación significativa desde el punto de vista estadístico, lo que permite distribuir de manera más eficiente los puntos de medición y conteo de flujo vehicular.

A la fecha, muchas comunas no cuentan con la clasificación de las vías según la tipología que se debe utilizar (REDEVU). A continuación se incluye una descripción general de la información que se tuvo disponible y su utilización en este estudio. El Ministerio de Medio Ambiente realizó las gestiones correspondientes a reunir esta información de cada municipio. En la medida que ésta se recibió, se envió al equipo consultor para ser incorporada al proyecto. En la siguiente tabla se expone aquella información recibida por esta vía (mediante comunicación o email al Ministerio del Medio Ambiente), y aquella obtenida desde una Ordenanza Municipal, o información similar. Se consultó, además, la superficie urbana censal según el INE [31] para efectos de la planificación del trabajo en terreno y distribución de estaciones de medición.

Tabla 1. Información de Clasificación Vial por Comuna del Gran Santiago

	Comuna	Clasificación Vial MMA	Clasificación Vial Consultor	Clasificación Vial en GIS MMA
1	Cerrillos	X		
2	Cerro Navia	X		X
3	Conchalí	X		X
4	El Bosque	X	X*	X-
5	Estación Central		X	
6	Huechuraba		X	
7	Independencia	X	X	
8	La Cisterna	X	X	
9	La Florida	X	X	X
10	La Granja		X*	
11	La Pintana	X-	X*	
12	La Reina	X	X	
13	Las Condes		X	
14	Lo Barnechea	X	X	
15	Lo Espejo	X		X
16	Lo Prado	X	X	
17	Macul	X	X	

	Comuna	Clasificación Vial MMA	Clasificación Vial Consultor	Clasificación Vial en GIS MMA
18	Maipú		X	
19	Ñuñoa	X	X	
20	Pedro Aguirre Cerda		X*	
21	Peñalolén	X	X	
22	Providencia	X	X	
23	Pudahuel	X		X
24	Quilicura		X*	
25	Quinta Normal		X*	
26	Recoleta		X	
27	Renca	X		
28	San Joaquín		X*	
29	San Miguel	X	X	
30	San Ramón		X*	
31	Santiago	X	X	X
32	Vitacura	X	X	
33	San Bernardo		X*	
34	Puente Alto		X	

X*: Información Parcial generada por especialista de equipo consultor (no incluye la clasificación de todos tipos de vías)

X-: Información Parcial (no se incluye toda la información de los tipos de vías)

Para aquellos municipios en que no se contó con toda la información asociada a la clasificación vial, fue el equipo consultor quien realizó una clasificación con los antecedentes disponibles, y que permitió llevar a buen término el proyecto. Para tal efecto, el asesor urbanista del equipo determinó la clasificación a utilizar. La clasificación vial por municipio se encuentra en el Anexo 1.

3.1.3.2. Análisis de flujos de tránsito vehicular y de niveles de ruido

En el proceso de conteo de flujos vehiculares se obtuvieron 1057 datos, que contemplaron separación de vehículos livianos, pesados y motos. De los 1057 datos 721 corresponden a horario valle (9:00 – 18:00/ 20:00 – 21:00) y 336 a horario punta (7:00 – 9:00/ 18:00 – 20:00). Los datos de flujo vehicular se encuentran en el Anexo 2.

3.1.3.2.1. Análisis de flujos de tránsito según tipo de vía

Inicialmente se incluye el análisis general de los flujos vehiculares obtenidos, separando solo por tipo de vías y sin considerar una separación por zona. Posteriormente, se generaron datos de número de vehículos equivalentes considerando una equivalencia de 7 vehículos livianos por cada pesado [29] y 2 por cada moto [30], que para efectos de este estudio permitirá estimar el comportamiento de la categorización de vías y su flujo vehicular. A continuación se muestran los resultados del análisis estadístico de flujo vehicular por categorías en horario valle y horario punta. Posteriormente se incluye un análisis desde la variable acústica de esta distribución (que es lo más relevante).

Tabla 2. Información estadística de Flujos vehiculares (N° de vehículos equivalentes/hora) para el Horario Valle, separado según tipo de vía.

	n	Promedio	S	CV (%)	Mediana	Media Rec 10%	Mínimo	Máximo	Rango
Expresas	11	6.208	3.112	50,1	5384	6132	1.780	11.168	9.388
Troncales	153	2.277	1.542	67,7	1912	2047	116	6.928	6.812
Colectoras	224	895	617	68,9	700	842	84	3.836	3.752
Servicios	67	675	507	75,1	560	628	64	2.596	2.532
Locales	266	192	187	97,7	126	171	4	1.108	1.104
Todas las vías	721	989	1.344	135,8	532	791	4	11.168	11.164

Tabla 3. Información estadística de Flujos vehiculares (N° de vehículos equivalentes/hora) para el Horario Punta, separado según tipo de vía.

	n	Promedio	S	CV (%)	Mediana	Media Rec. 10%	Mínimo	Máximo	Rango
Expresas	5	7.816	3.815	48,8	7.164	7.645	4.484	14.220	9.736
Troncales	86	3.072	2.266	73,8	2.354	2.697	300	10.328	10.028
Colectoras	101	969	636	65,7	868	890	84	3.500	3.416
Servicios	22	730	721	98,7	446	587	136	2.908	2.772
Locales	121	300	319	106,4	172	241	12	1.656	1.644
Todas las vías	336	1.350	1.853	137,3	710	950	12	14.220	14.208

En las siguientes figuras se representan los valores promedios de flujo vehicular para cada caso. Se puede apreciar claramente una tendencia de disminución de flujo promedio al bajar desde la categoría expresa hacia categoría local.

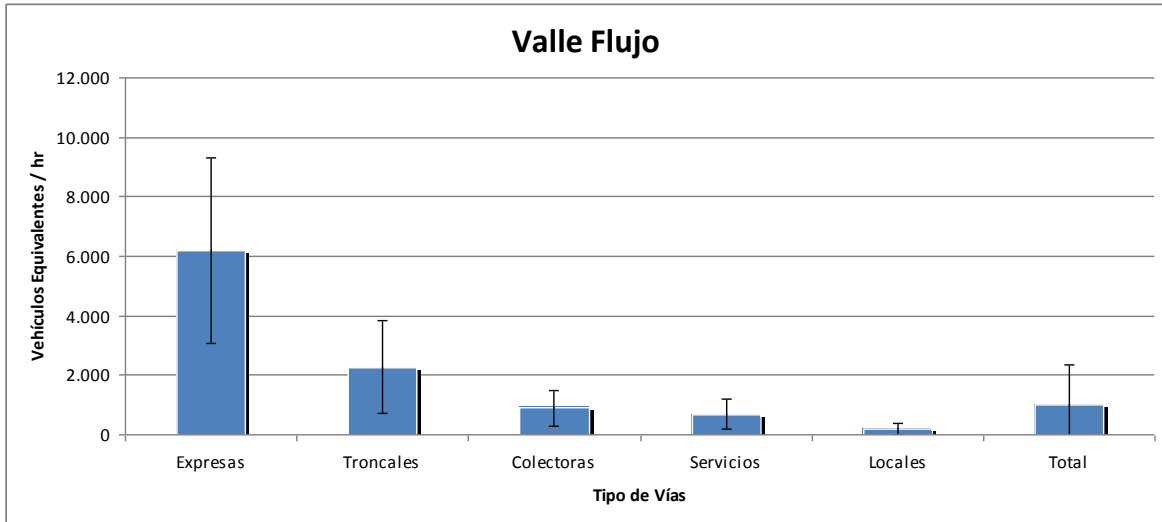


Fig. 5. Distribución de flujo vehicular promedio (N° de vehículos equivalentes/hora), separado según tipo de vía, en Horario Valle.

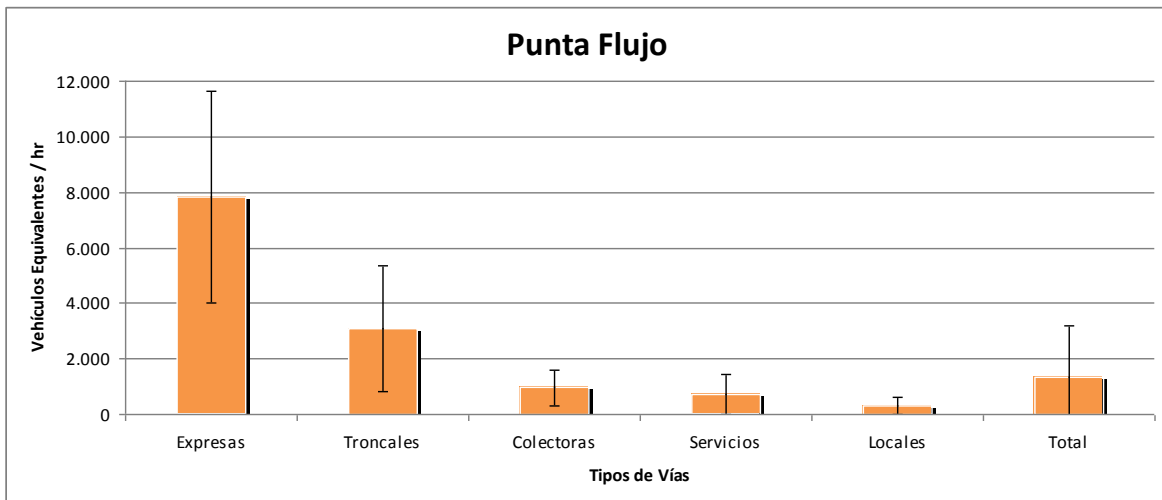


Fig. 6. Distribución de flujo vehicular promedio (N° de vehículos equivalentes/hora), separado según tipo de vía, en Horario Punta.

Mediante los siguientes gráficos de cajas y bigotes, es posible tener una mejor apreciación de la distribución general de los flujos vehiculares según tipos de vías. Para el caso de hora valle, el 50% de las mediciones de flujos se encuentra entre 3.500 y 9.000. En la hora punta para la vía expresa el 50% de las mediciones fluctúa en un rango más pequeño, (4.000 y 7.500 aprox.). En las otras vías esta situación va bajando hasta tener una mínima dispersión en la distribución en los flujos, por ejemplo, en la vía local el 75% de las mediciones no superan 250 vehículos equivalentes para hora valle y 500 vehículos equivalentes para hora punta (valores aproximados).

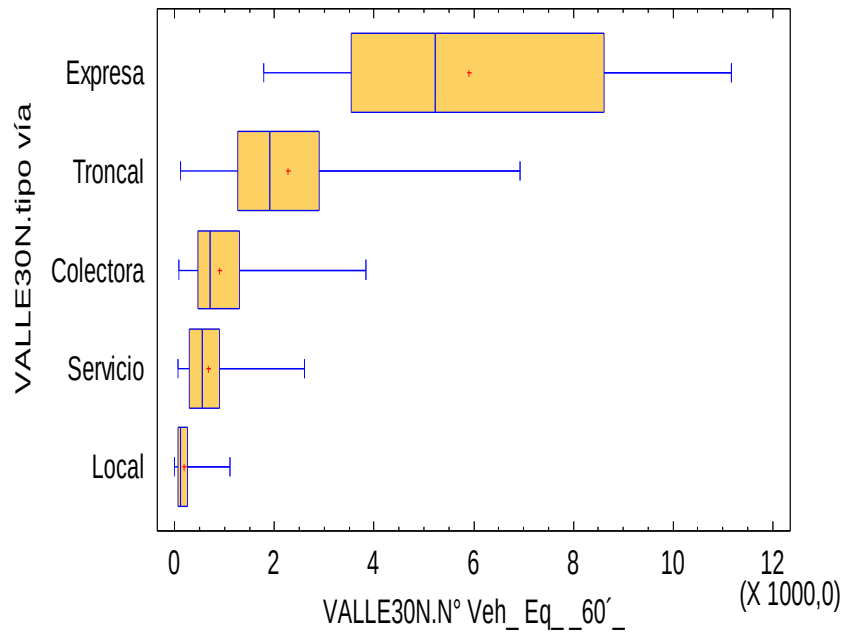


Fig. 7. Distribución de flujo vehicular promedio, separado según tipo de vía, en horario valle.

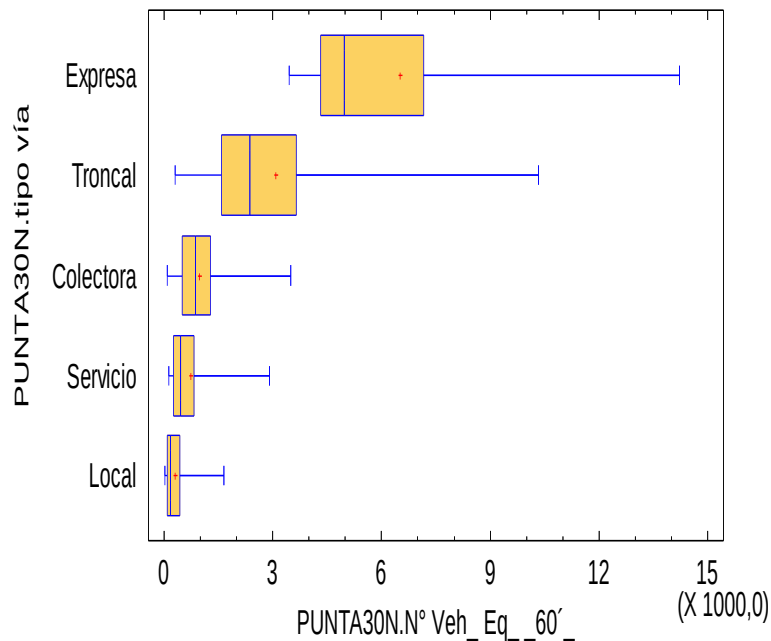


Fig. 8. Distribución de flujo vehicular promedio, separado según tipo de vía, en horario punta.

3.1.3.2.2. Análisis de niveles de ruido según tipo de vía

La interpretación de los resultados anteriores podría llevar a concluir que la dispersión de los datos de flujo, por ejemplo en las vías expresas, es demasiado alta. Sin embargo, es importante recordar que el interés final está puesto en el nivel de ruido asociado a tales flujos. Según lo indicado en el análisis del punto 3.1.2 los niveles de ruido asociados a una vía están relacionados logarítmicamente con los valores de flujo vehicular. Debido a esto, se presenta además, un análisis estadístico en función del nivel ruido en lugar del flujo.

El modelo de ruido de tránsito vehicular a utilizar (RLS-90) considera el nivel de emisión (L_{me}). Este término se utilizará para el análisis de los niveles de ruido según tipo de vía, pero considerando sólo aquellos términos que dependen exclusivamente del flujo (vehículos/hora y velocidad promedio).

El RLS-90 establece para el nivel L_n en un punto debido al tránsito vehicular, una ecuación que depende fundamentalmente del nivel de emisión L_{me} más una serie de factores dependientes de la distancia a la vía, tipo de suelo, obstáculos, altura de receptor, etc. La ecuación del nivel L_n , es la siguiente:

$$L_n = L_{me} + D_S + D_{BM} + D_B$$

Donde L_{me} es el nivel de emisión; el término D_S corresponde atenuación por distancia y absorción del aire; D_{BM} atenuación por tipo de suelo y variables meteorológicas; y el término D_B corresponde a atenuación por geografía.

La ecuación del nivel de emisión L_{me} , es la siguiente:

$$L_{me} = L_m^{(25)} + D_v + D_{StrO} + D_{Stg} + D_E$$

Donde $L_m^{(25)}$ es el nivel estimado a 25m de acuerdo a ciertas condiciones establecidas en la norma, que dependen de la superficie de rodado, pendiente del camino y otras condiciones; el D_v corresponde a una corrección por velocidad de la vía; el término D_{StrO} corresponde a corrección por tipo de superficie de rodado; el término D_{Stg} corresponde a corrección por pendiente de la vía; y el término D_E corresponde a corrección por reflexiones.

De los diferentes factores involucrados, solo el $L_m^{(25)}$ y el D_v dependen de los datos relacionados con el flujo vehicular, cantidad de vehículos, porcentaje de vehículos pesados y velocidades. El resto de los parámetros no dependen de la variable flujo vehicular, por lo cual se ha utilizado para este análisis de distribución de niveles por categorías el nivel L_{me} , sin considerar correcciones dependientes de reflexiones, pendientes, tipo de carpeta, representadas por el resto de los parámetros. Es decir, se ha simplificado el L_{me} a:

$$L_{me} = L_m^{(25)} + D_v$$

Este L_{me} corresponde al nivel estimado a 25 metros de la vía según lo establecido en la norma RLS-90, considerando solo la corrección por velocidad.

Respecto a la velocidad, si bien existen diferentes valores posibles para distintos tipos de vía y rangos de flujo vehicular, para efectos de este análisis, se ha asumido 80 km/h para las vías expresas y 50 km/h para el resto de las categorías.

De manera análoga al caso de flujos vehiculares, en las siguientes tablas y figuras se incluyen los resultados respecto a niveles de emisión (L_{me}) y tipos de vías. En este caso, el flujo vehicular y porcentaje de vehículos pesados según lo que requiere el modelo utilizado.

Tabla 4. Información estadística de niveles de emisión de ruido L_{me} en dBA debido a flujos vehiculares para el Horario Valle separado según tipo de vía.

	n	Promedio	S	CV(%)	Mediana	Media Rec. 10%	Min	Max	Rango
Expresas	11	72,7	3,5	4,8	72,7	73,0	65,6	76,8	11,2
Troncales	153	65,3	3,5	5,3	65,4	65,4	53,3	72,0	18,7
Colectoras	224	60,6	3,6	6,0	60,9	60,8	50,0	67,2	17,2
Servicios	67	59,5	4,3	7,3	60,3	59,8	48,2	66,8	18,6
Locales	266	51,9	5,1	9,9	51,9	52,1	36,7	65,7	29,0
Todas las vías	721	58,5	7,0	11,9	59,2	58,7	36,7	76,8	40,1

Tabla 5. Información estadística de niveles de emisión de ruido L_{me} en dBA debido a flujos vehiculares para el Horario Punta separado según tipo de vía.

	n	Promedio	S	CV(%)	Mediana	Media Rec. 10%	Mín.	Máx.	Rango
Expresas	5	74,8	2,8	3,7	74,1	74,4	72,8	79,6	6,8
Troncales	86	66,4	3,8	5,8	66,1	66,5	57,0	73,8	16,8
Colectoras	101	60,7	3,6	5,9	61,4	60,9	49,7	68,9	19,2
Servicios	22	59,3	4,7	7,9	59,0	59,1	51,9	70,1	18,2
Locales	121	53,3	5,5	10,2	53,5	53,4	41,5	66,4	24,9
Todas las vías	335	59,6	7,1	11,8	60,3	59,8	41,5	79,6	38,1

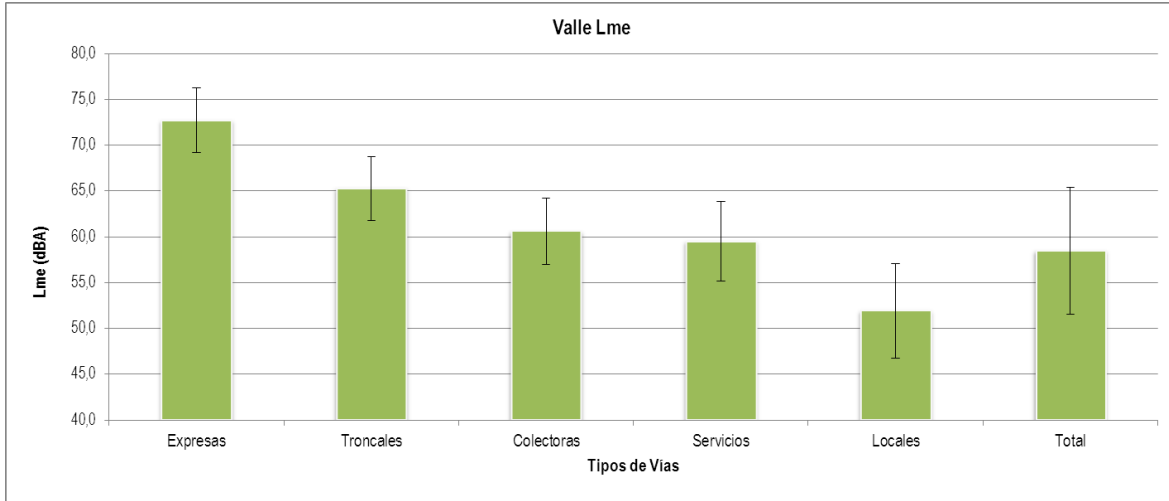


Fig. 9. Distribución de promedios de nivel de emisión de ruido L_{me} debidos a flujo vehicular, separado según tipo de vía, en Horario Valle.

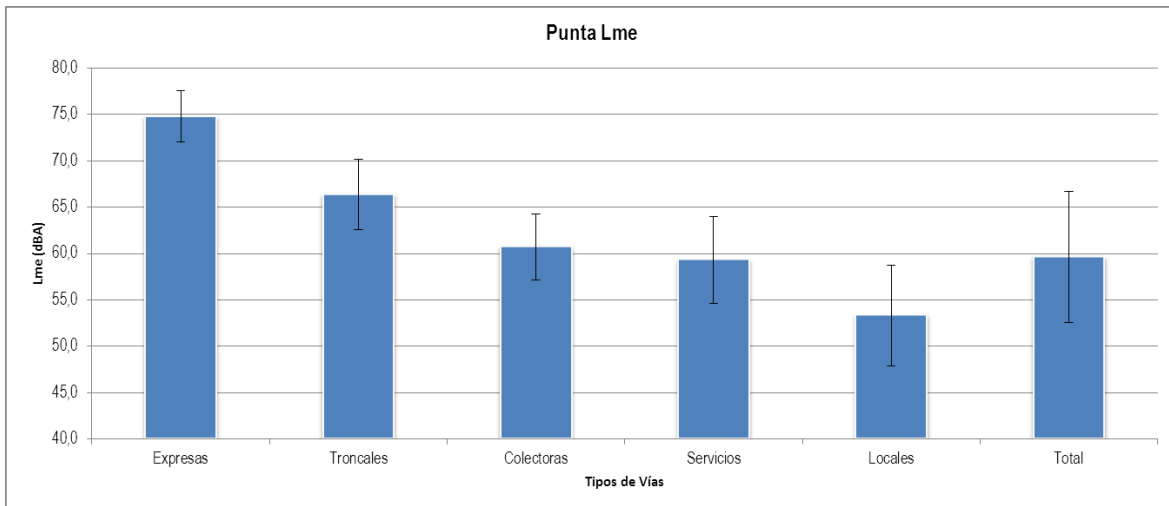


Fig. 10. Distribución de promedios de nivel de emisión de ruido L_{me} debidos a flujo vehicular, separado según tipo de vía, en Horario Punta.

Realizando el análisis de cajas y bigotes para los niveles de emisión, se aprecia en las figuras siguientes, para el caso de hora valle, que la distribución de los niveles de emisión presentan un rango en general menor que en el flujo de vehículos equivalente, estos se mueven, para el 50% central en el tipo de vía expresa entre 72 y 77 dBA, en tipo de vía troncal entre 64 y 68 dBA, en el caso de la vía local es donde presentan mayor fluctuación las cuales se mueven entre 49 a 56 dBA, situación similar se observa en la figura 12 donde la mayor fluctuación se presenta también en la vía local donde el 50% central de las mediciones se mueve entre los 54 y 65 dBA (valores aproximados).

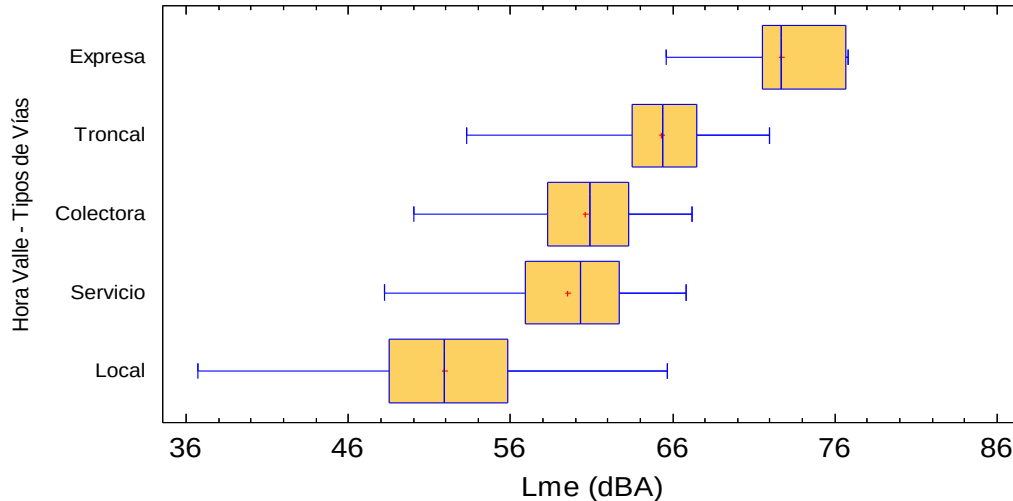


Fig. 11. Distribución de nivel de emisión L_{me} promedio, separado según tipo de vía, en Horario Valle.

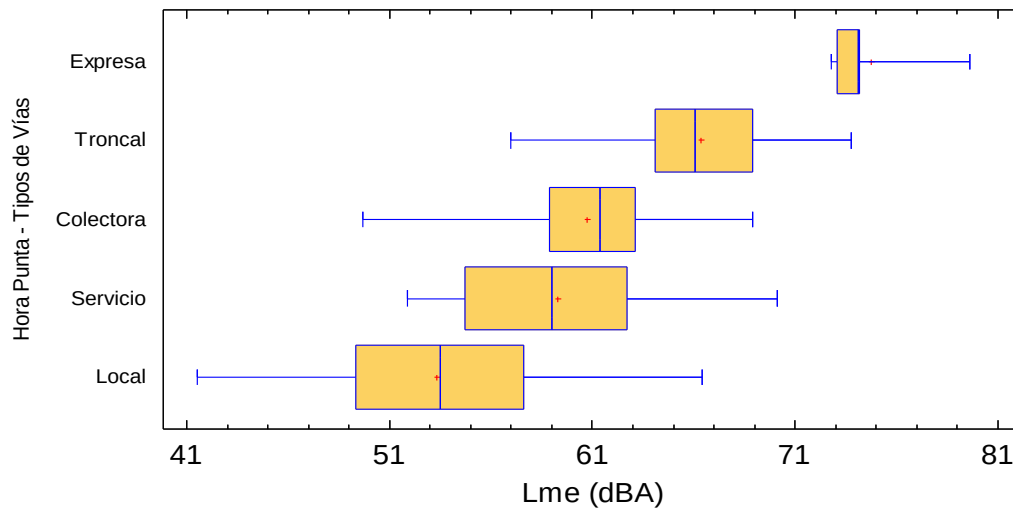


Fig. 12. Distribución de nivel de emisión L_{me} promedio, separado según tipo de vía, en Horario Punta.

Las grandes diferencias en dispersión presentadas con los flujos tienden a reducirse en el caso de los niveles y, como es de esperar, se producen dispersiones mayores en la categoría más baja (vía Local). Ambos análisis confirman la utilización de las categorías establecidas en la OGUC como adecuada. Los flujos y los niveles (promedios, mínimos y máximos) muestran la tendencia de disminución al bajar de categoría desde Expresa a Local. También es posible concluir que las categorías Colectora y Servicio muestran similitud, y con estudios futuros, podría llegarse a la conclusión que eventualmente podrían agruparse como una sola categoría para fines de estudios acústicos. Esto permitiría optimizar la distribución de puntos de medición y conteos de flujo al realizar el mapa de ruido de una ciudad. Mantener las categorías mencionadas separadas no afecta necesariamente la calidad del mapa ruido. Es importante recordar que el objetivo de utilizar la categorización es caracterizar flujos por tipos de vías, y esta discusión estadística permite concluir que existe una tendencia clara en la distribución de flujos, y que también hay similitud en dos categorías de vías.

3.1.3.2.3. Análisis niveles de ruido considerando zonas de estudio

a) Distribución por tipo de vía y zona

Se analiza la distribución de niveles de emisión L_{me} por categorías pero, considerando también las diferentes zonas en que se dividió la ciudad para su estudio. Se analiza si existe alguna diferencia clara entre estas siete zonas, las que son explicadas en el punto 3.1.3.5. de este informe. En las siguientes tablas se muestra la distribución niveles de emisión L_{me} promedio, por categoría y por zona.

Tabla 6. Información estadística de niveles de emisión de ruido L_{me} en dBA debido a flujos vehiculares para el Horario Valle separado según tipo de vía y zona.

Valle- L_{me}					
	Expresa	Troncal	Colectora	Servicio	Local
Norte	74,8	65,5	63,0	61,9	54,6
Nor-poniente	65,6	63,4	61,9	53,1	48,9
Nor-Oriente	72,6	64,6	59,9	58,1	52,4
Sur	76,7	64,9	60,2	59,5	51,0
Sur Poniente	72,5	68,1	62,1	60,1	51,3
Sur - oriente	72,6	63,7	60,1	59,4	51,2
Central		66,4	60,7	60,0	53,4
Total	72,7	65,3	60,6	59,5	51,9

Tabla 7. Información estadística de niveles de emisión de ruido L_{me} en dBA debido a flujos vehiculares para el Horario Punta separado según tipo de vía y zona.

Punta - L_{me}					
	Expresa	Troncal	Colectora	Servicio	Local
Norte		66,3	58,8	59,2	52,6
Nor-Poniente		62,5	61,0	55,9	48,7
Nor-Oriente	73,1	64,5	60,3	59,8	54,3
Sur		66,9	60,9	55,8	53,2
Sur Poniente	76,2	69,2	63,0	62,4	56,2
Sur-Oriente	74,2	64,7	61,1	62,2	52,4
Central		68,5	61,3		54,0
Total	74,8	66,4	60,7	59,3	53,3

En los siguientes gráficos se muestra la distribución de flujo promedio de vehículos equivalente y niveles de emisión L_{me} , por categoría y por zona. Las figuras muestran los resultados para flujos y niveles de emisión L_{me} , el horario punta y valle respectivamente.

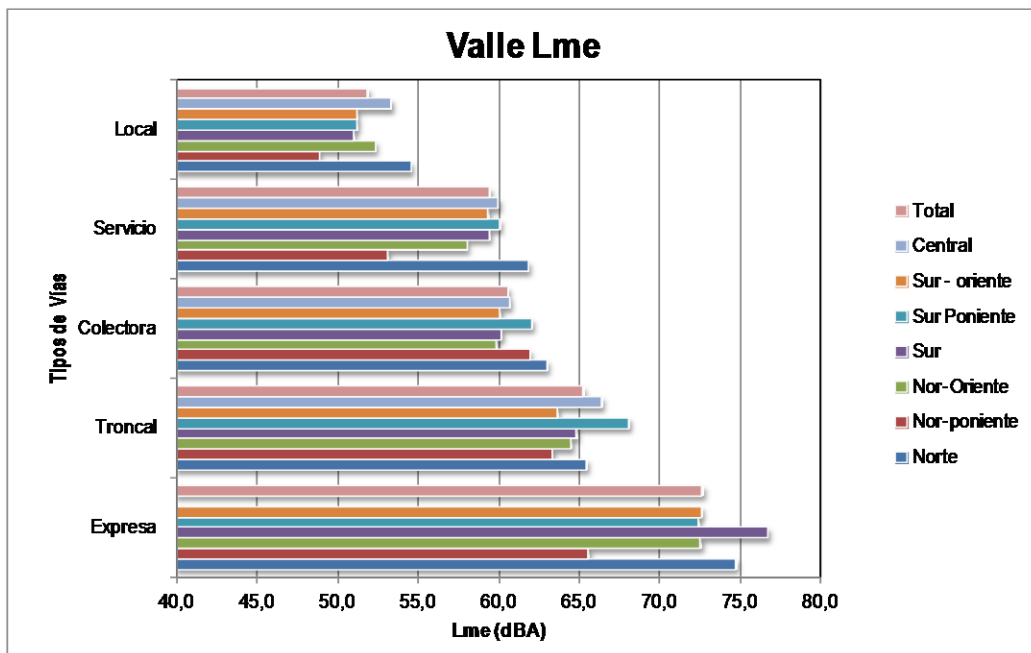


Fig. 13. Distribución de nivel de emisión L_{me} , según tipo de vía y zona, en Horario Valle.

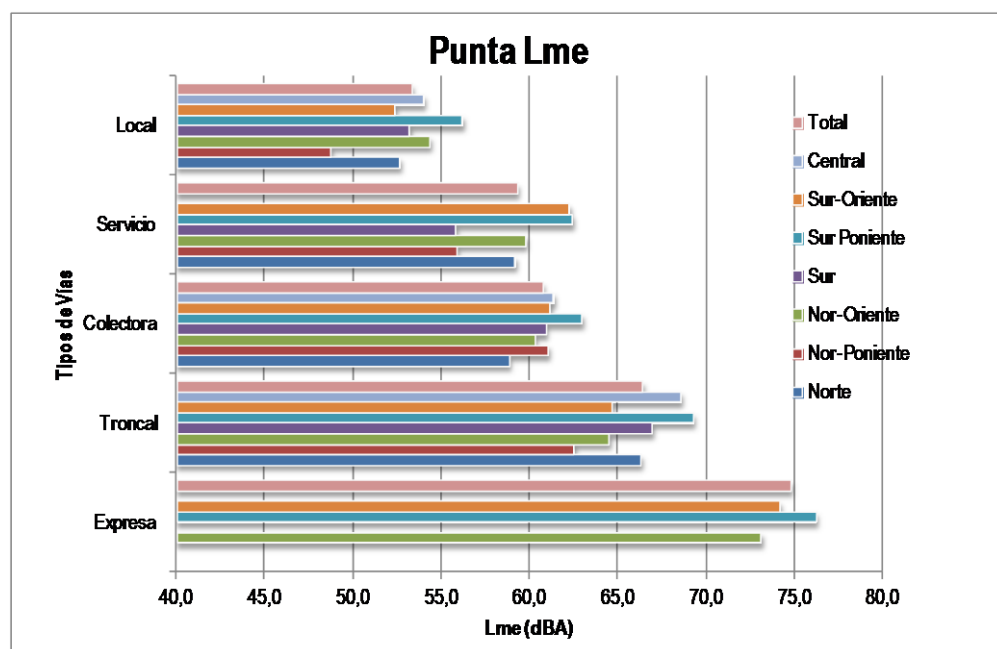


Fig. 14. Distribución de nivel de emisión L_{me} , separado según tipo de vía y zona, en Horario Punta.

No se observa una diferenciación clara entre el comportamiento acústico entre las distintas zonas, la tendencia del análisis general se mantiene, y las diferencias por zonas no son significativas. Esto último permite establecer que no es imprescindible diferenciar por tipo de zona y que la diferenciación fundamental es por tipo de vía.

b) Análisis de efecto acústico de valores de flujos y velocidades (datos SECTRA)

Con el fin de verificar la calidad de los datos utilizados para modelar, se ha realizado una comparación de valores de emisión L_{me} obtenidos a partir de los datos de flujo y velocidades de un estudio de la SECTRA [32], y aquellos asignados en el presente estudio para la modelación, por tipo de vía.

Tabla 8. Comparación entre el cálculo del L_{me} a partir de flujos y velocidades SECTRA y valores definidos para la modelación en este estudio.

Tipo de vía	Diferencia Absoluta Promedio	Desviación Estándar	% Dif. Menor a 3 dBA	% Dif. Menor a 5 dBA	Datos analizados
Troncal	2,6	2,2	62%	83%	84
Colectora	2,3	1,9	64%	88%	33
Servicio	1,6	1,6	100%	100%	3
Local	4,3	3,1	38%	52%	50

Se puede apreciar de la tabla que los valores de flujo y velocidad asignados mediante la metodología en el presente estudio, arrojan valores acústicos calculados que resultan razonablemente cercanos respecto a los valores de entrada según los datos de flujo y velocidades medidos en el estudio de SECTRA [32], considerando la magnitud y escala del presente estudio. Es conveniente mencionar que para este análisis fue necesario clasificar según REDEVU cada una de las vías del estudio de SECTRA, y se consideraron valores de flujo y velocidad por hora y media hora, según se entregaron los datos. No se consideraron calles Expresas en esta comparación, ya que se contó sólo con una calle de esta categoría, con flujos y velocidades correspondientes a una vía Troncal, y no es representativo.

3.1.3.2.3. Efecto de buses de transporte público (Transantiago)

Los vehículos pesados, entre los cuales han sido considerados los buses urbanos, emiten mayores niveles de ruido. Por esta razón, suele plantearse la interrogante sobre el efecto del sistema de buses urbanos (Transantiago) en los niveles de ruido debidos al tránsito vehicular.

El aumento del tránsito de buses puede implicar un aumento de los niveles de ruido, sin embargo no se debe olvidar que un buen sistema de transporte público, con un mayor número de buses, recorridos y frecuencia, debería implicar un aumento del porcentaje de habitantes que utilizan dicho sistema de transporte, y por lo tanto, reducir el flujo de vehículos livianos en su conjunto. También es necesario tener presente la relación logarítmica que existe entre niveles de ruido y flujos vehiculares.

Es posible realizar algunos comentarios a partir del análisis de ciertos escenarios, los que aportarían a establecer un orden de magnitud sobre la influencia del Transantiago en el ruido ambiental de la ciudad. Con este objetivo, se han considerado cuatro escenarios, de cuatro vías distintas, en las que se tienen mediciones acústicas e información del flujo vehicular. Para este análisis se presentan los mapas de pequeñas zonas, donde se han representado los niveles de ruido modelado a partir de los datos de terreno (considerado horarios valle y punta), y los resultados utilizando exclusivamente el flujo del Transantiago (datos aportados por SECTRA).

Fig. 15 a. Análisis de aporte de Transantiago: Calle San Martín, Tipo de Vía Colectora

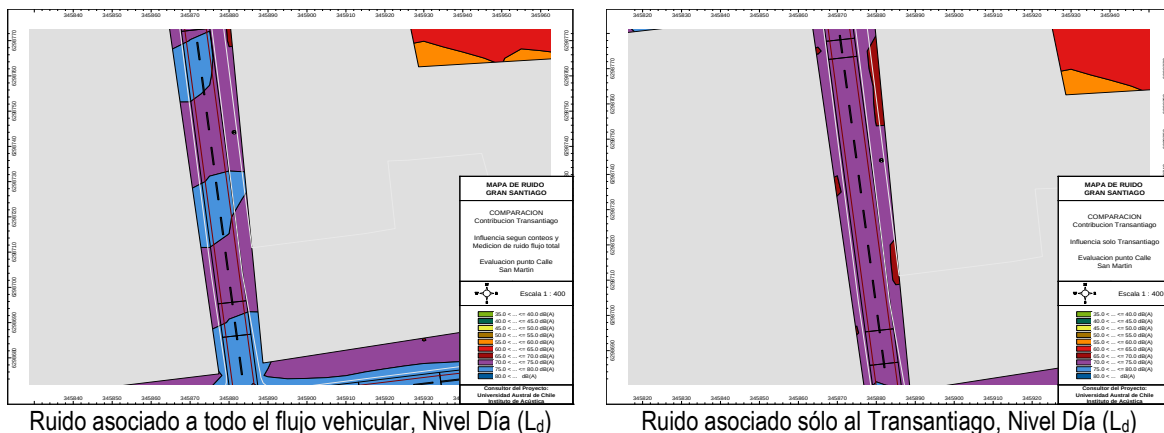


Fig. 15 b. Análisis de aporte de Transantiago: Alameda B. O'Higgins calzada sur, Tipo de Vía Troncal

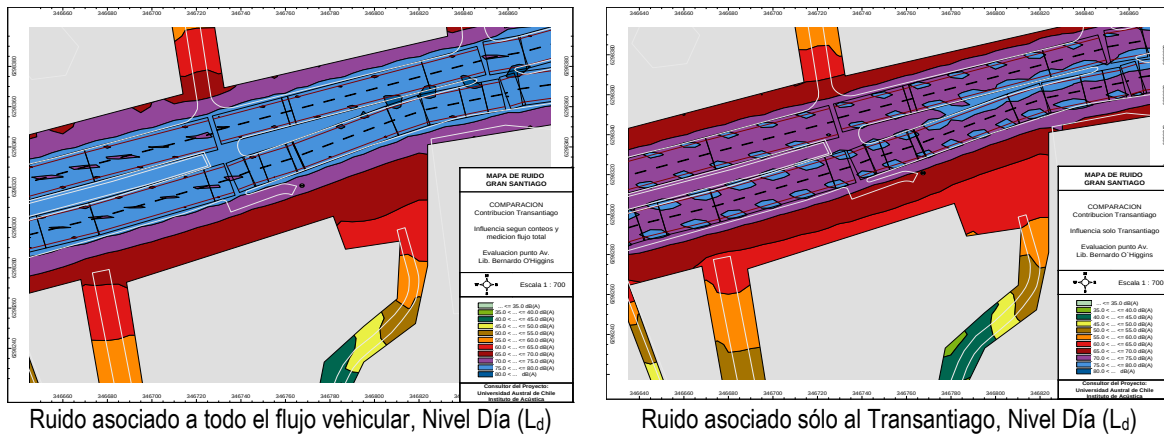


Fig. 15c. Análisis de aporte de Transantiago:Calle Antonio Varas, Tipo de Vía Colectora

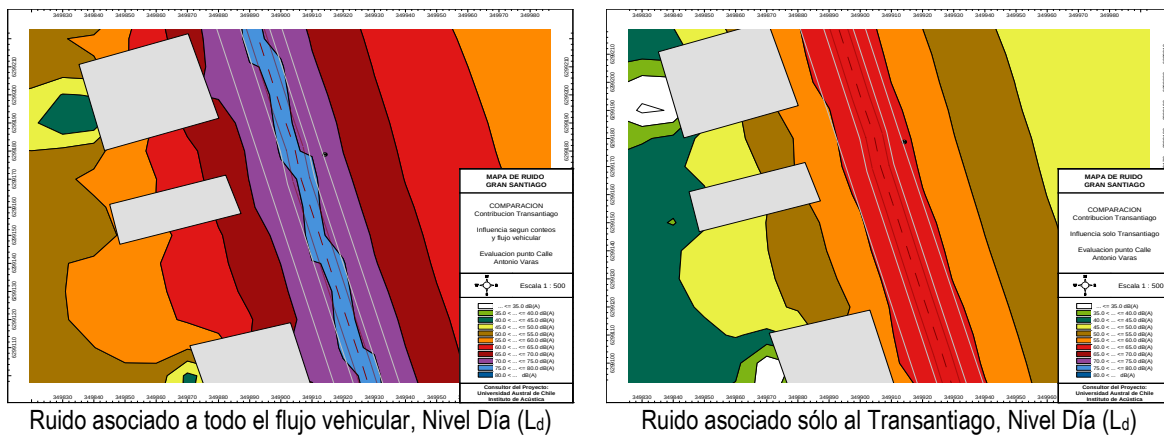


Fig. 15d. Análisis de aporte de Transantiago:Calle Carlos Antúnez, Tipo de Vía Colectora

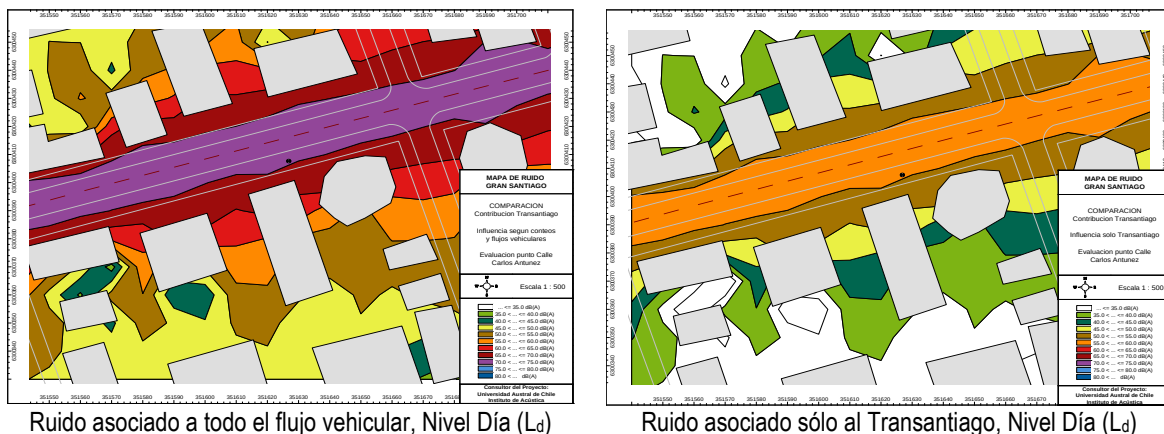


Fig. 15. Análisis de aporte de Transantiago en distintos escenarios, Nivel Día (L_d).

Adicionalmente, se ha elaborado un análisis de los niveles de ruido medido en cada situación, y se ha estimado el nivel de ruido sin el Transantiago, a partir de la diferencia energética entre el ruido medido con todos los vehículos y el modelado sólo con Transantiago. Estos datos se incluyen en la siguiente tabla.

Tabla 9. Análisis de aporte de Transantiago en distintos escenarios.

Calle	Categoría	Leq (dBA) Medido (1)	Leq (dBA) Modelado Transantiago	Leq (dBA) Estimado Sin Transantiago (2)	Diferencia (1) – (2) (dBA)
San Martín	Colectora	71,4	69,0	67,7	3,7
B. O'Higgins calzada sur	Troncal	71,7	70,1	66,6	5,1
A. Varas	Colectora	72,3	60,9	72,0	0,3
C. Antúnez	Colectora	70,6	55,5	70,5	0,1

De estos datos se puede estimar que en el tipo de calles analizadas, el aporte del Transantiago no es tan significativo, a excepción de calles como la Alameda B. O'Higgins que poseen un elevado número de buses (del orden de 170 buses por hora).

Los alcances del presente estudio no permiten analizar con datos específicos el aporte real del Transantiago en los niveles de ruido ambiental. Para tales efectos se debería contar con datos adicionales que permitan por ejemplo, discriminar la emisión de los distintos tipos de buses. Sería necesario diseñar una campaña de mediciones especial que haga posible modelar apropiadamente esta fuente de ruido, de forma de analizar con suficientes datos y mediciones su influencia.

3.1.3.3. Tipología de edificaciones

Dado que este estudio pretende caracterizar la vasta extensión del Gran Santiago, se hace necesaria una simplificación de la información cartográfica respecto a edificaciones. De esta manera, se utilizaron bloques representativos de grupos de viviendas, edificios y/o manzanas.

3.1.3.3.1. Bloques de edificaciones

Se ha realizado el ejercicio de esta simplificación a modo de ejemplo, basado en experiencias similares de otros estudios, tal como se muestra en la siguiente figura.

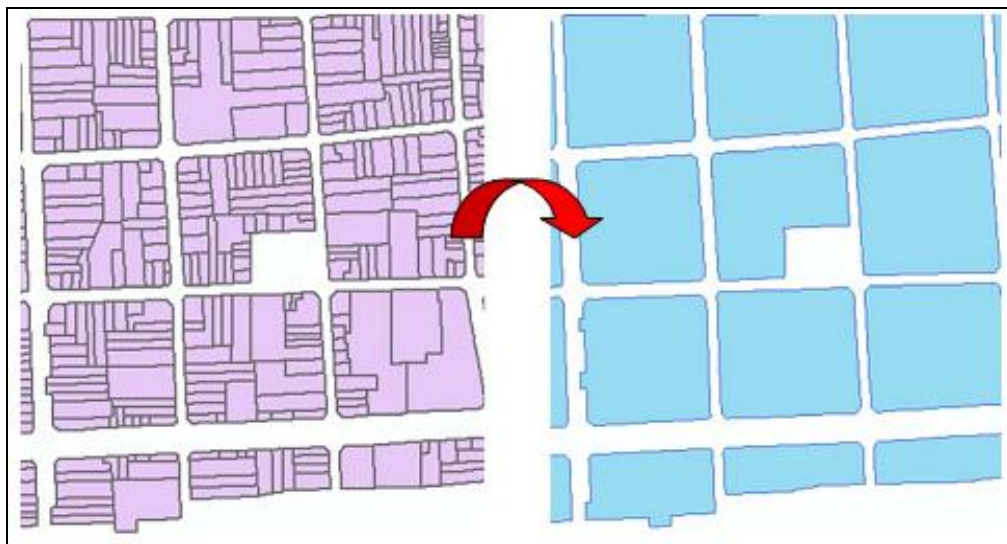


Fig. 16. Simplificación del número de edificaciones [20].

En las siguientes figuras se aprecia el ejercicio realizado para la Comuna de Santiago.



Fig. 17. Modelo completo de la Comuna de Santiago: 23.000 edificios.



Fig. 18. Modelo simplificado de la Comuna de Santiago: 1.516 bloques de edificios.

Se puede apreciar que en el modelo completo la Comuna de Santiago incluye 23.000 edificaciones, y en el modelo simplificado éstos corresponden a 1.516 bloques de edificios.

Esta simplificación trae consigo ventajas y desventajas. Esta estrategia permitirá modelar la superficie completa del proyecto, pero sacrificando el detalle de resultados en fachadas laterales de las edificaciones, proyecciones en patios interiores y todo espacio más allá que la primera fachada. Se conservará la fachada más expuesta de las edificaciones al ruido de tránsito vehicular.

Visto lo anterior, parece apropiado considerar como descriptor el nivel de ruido en la fachada más expuesta como un indicador de los efectos del ruido en la ciudad.

Se realizó el ejercicio de modelar la Comuna de Santiago con la simplificación de edificaciones, con buenos resultados. En este ejercicio de modelación simplificado, se estimó una reducción importante en los tiempos de modelación. Así, para el área del triángulo correspondiente a la zona centro (zona nororiente de la comuna), el tiempo de modelación bajó de 45 horas a 45 minutos. Esto permitió estimar cuán posible era generar apropiadamente los mapas producto de este estudio, con las condiciones de operación iniciales de hardware de trabajo en el Ministerio de Medio Ambiente.

En virtud que las edificaciones de la ciudad tienen alturas diversas, y que para efectos de la modelación debe acordarse una altura de trabajo, se propuso trabajar con una modelación de niveles de ruido a una altura de 1,5 m sobre el suelo, como se explica más adelante en este informe.

3.1.3.3.2. Agrupación de edificaciones

Se adoptó una metodología de simplificación de edificaciones basada en criterios que evalúan el agrupamiento de las viviendas al interior de la manzana. Se realizó una simplificación de edificaciones para la comuna de Santiago (información Fase III [18]) y se establecieron casos típicos de agrupamiento de acuerdo a información cartográfica disponible. Se obtuvieron los siguientes criterios para la simplificación de edificaciones:

a) **Fachada continua:** la simplificación consiste en la fusión de todas las unidades de vivienda/edificaciones en un bloque que representa toda la manzana. El borde de dicho bloque corresponde a la unificación de las fachadas enfrentadas a la calle².



Fig. 19. Simplificación de edificaciones en condición de fachada continua.

b) **Fachada discontinua:** en base a la clasificación anterior, se define como fachada discontinua a aquellas que presentan intersticios, separación entre edificaciones. En este caso se optó por ignorar dichas discontinuidades y completar el borde del bloque a semejanza del caso anterior. Se consideró un criterio similar en el caso de calles sin salida, accesos a condominios y calles peatonales al interior de la manzana³.



Fig. 20. Simplificación de edificaciones en condición de fachada discontinua.

² Se utilizó la línea de fachada, que puede no corresponder con la línea de edificación establecida en las respectivas ordenanzas.

³ Se considera que la dimensión de este tipo de elementos de la trama urbana es despreciable teniendo en cuenta la escala del estudio. Por otro lado, se conserva el criterio de evaluar en la condición de exposición al ruido generado por el tránsito vehicular más desfavorable (condición más desfavorable = fachada más expuesta = mayor cercanía a la fuente).

c) Manzana parcialmente ocupada: en este caso, solo se creará un bloque correspondiente a la superficie ocupada. Se pueden diferenciar dos casos particulares de esto:

i) Conjunto de edificaciones agrupado en una sección de la manzana, por lo general corresponde a grupos de viviendas. El bloque se construye de acuerdo al los criterios anteriores aplicado al área ocupada.

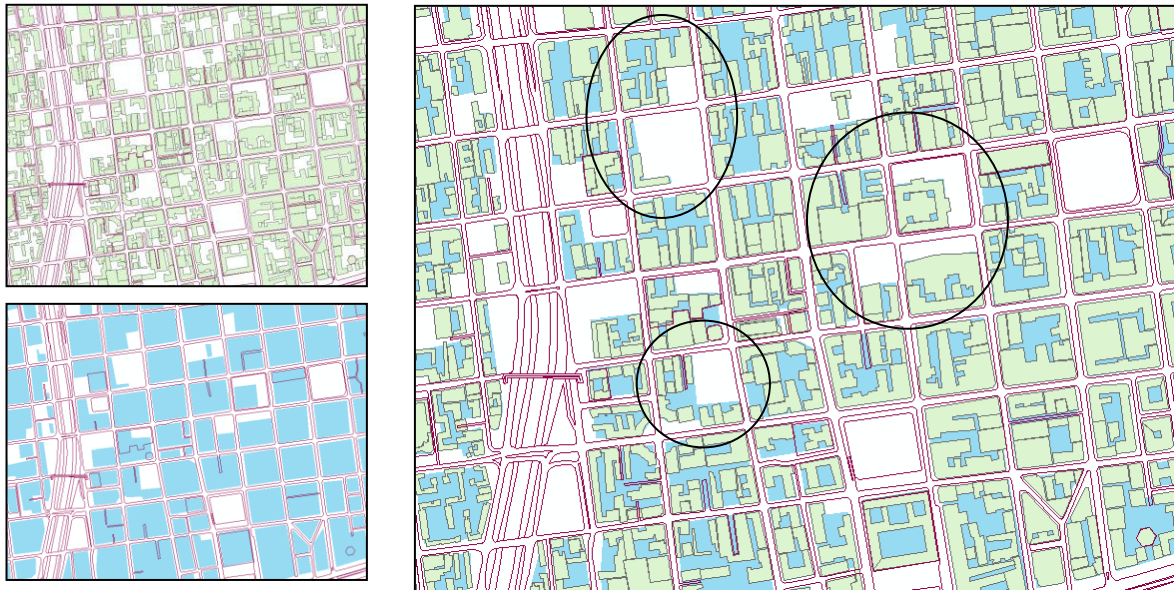


Fig. 21. Simplificación de edificaciones en condición manzana parcialmente ocupada tipo a).

ii) Edificaciones aisladas distribuidas al interior de la manzana, por su dimensión y emplazamiento es fácil distinguir las unidades como individuales y no como parte de un agrupamiento. No se construye bloque, se considera la edificación.



Fig. 22. Simplificación de edificaciones en condición manzana parcialmente ocupada tipo b).

3.1.3.3. Efectos de Simplificación de Edificaciones en Niveles de Ruido en Fachada

Para respaldar la efectividad de la metodología de simplificación, y estudiar el posible efecto que ésta tiene sobre los niveles de ruido en fachada, se ha realizado un análisis con varios escenarios de casos con edificaciones simplificadas. A continuación se presentan 4 situaciones representativas de distintos tipos de edificaciones. En cada caso, el diagrama de la izquierda representa la situación original (sin simplificación de edificaciones), y la del lado derecho, aquella resultante de la simplificación (bloque). En ambas se señala con línea gruesa continua, el conjunto de receptores en fachada con los que se llevó a cabo el análisis [23].

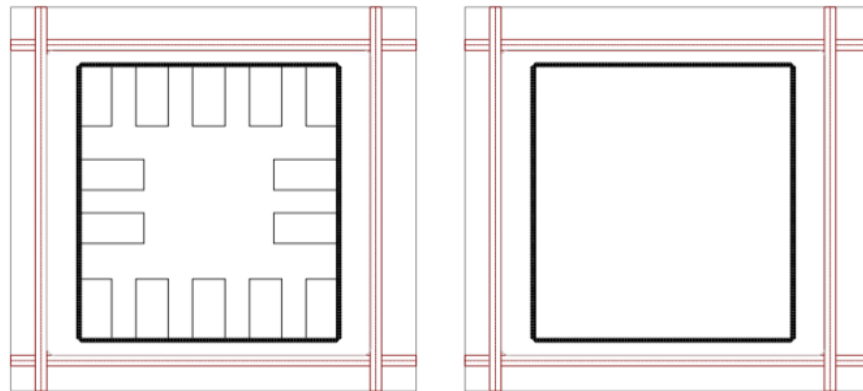


Fig. 23. Caso 1: Edificaciones en baja altura (casas de hasta tres pisos).

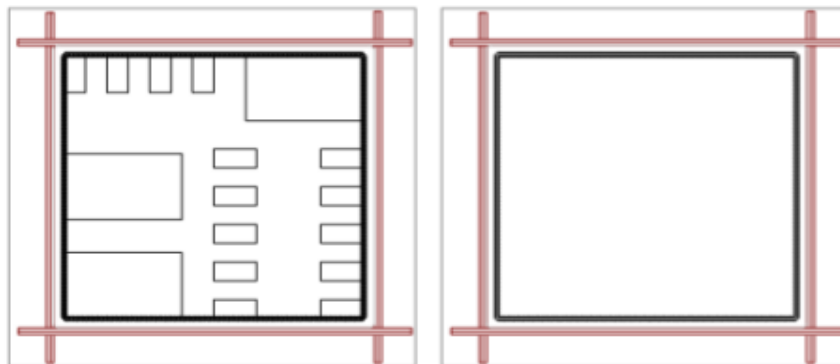


Fig. 24. Caso 2: Caso 1 más edificaciones de hasta 20m (edificios de departamentos y similares).

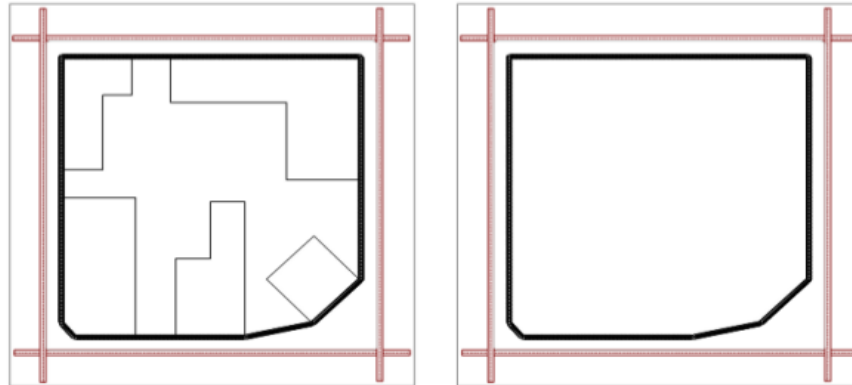


Fig. 25. Caso 3: Edificios en altura, muy distanciados uno de otro (patrón de edificio isla).

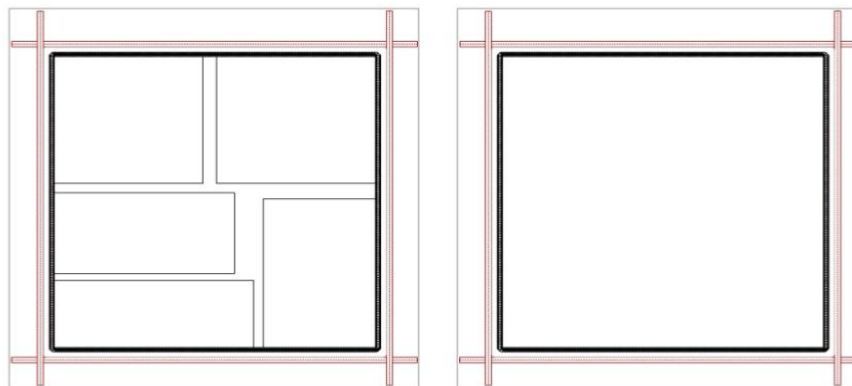


Fig. 26. Caso 4: Edificios en altura, muy cercanos.

Se creó una manzana para el caso “real” y otra similar pero “simplificada”, incorporando edificaciones para que cumplieran con los patrones determinados por los casos. Las dimensiones de las manzanas fueron distintas: para el caso 1 se tomó una manzana cuadrada de lado 100m; para el caso 2, lo mismo pero de lado 150m; y para los casos 3 y 4 una manzana cuadrada igualmente de 200m de lado. Los receptores se distribuyeron uniformemente en las fachadas, distanciados 1m uno de otro (se aprecia como línea gruesa continua).

Se evaluaron el Nivel Continuo Equivalente día L_D , tarde L_E , noche L_N y día-tarde-noche L_{DEN} , y se consideraron dos alturas de receptores, 1,5m y 4m de altura con respecto al suelo, de manera de establecer la variación de niveles en fachada para cada situación. La distancia de receptor a fachada se hizo tan pequeña como fue posible, usando el valor extremo de acercamiento (0,05m de la fachada) permitido por CadnaA. La distancia de los receptores a la vía más próxima es de 5m aproximadamente. Se realizó un análisis para distintas alturas de edificaciones, las alturas escogidas para los receptores a 1,5m del suelo,

fueron 4m, 8m, 12m, 16m y 20m para todas las situaciones (excepto el Caso 1, dado que no se justifica tomar alturas mayores a 12m). Para una altura de receptor de 4m se realizó análisis para alturas de edificios de 8, 12, 16 y 20m (excepto el Caso 1, del cual se tomó 8m y 12m). La idea de trabajar a distintas alturas fue comparar las variaciones de las diferencias de niveles de la situación simplificada con respecto a la original, es decir, si al aumentar la altura de las edificaciones varía la diferencia entre la situación original y la simplificada.

Se asignó niveles de ruido a las vías, y se consideró el mismo valor para todas las vías. Los niveles de ruido asignados para los diferentes horarios son:

- Día 62 dBA
- Tarde 57 dBA
- Noche 47 dBA

Mediante la modelación con CadnaA se obtuvo los niveles en los puntos receptores y se procedió a comparar las situaciones originales respecto a las simplificadas. Se consideraron diferencias promedio de todos los receptores, las diferencias promedio de los receptores de fachada existente y fachada no existente de manera separada. Esto se realizó para todos los casos, considerando todas las distintas configuraciones de alturas de edificios y ambos casos de alturas de receptor.

Se espera que puedan existir diferencias en las zonas donde los receptores están frente a un espacio donde originalmente no existe fachada, es decir, donde aparece una fachada al realizar la simplificación de las edificaciones. En las zonas donde existe fachada en ambas situaciones (edificaciones y simplificación), se espera que el cambio sea mínimo.

En las tablas siguientes se presentan los resultados obtenidos mediante el procesamiento de los datos arrojados por los receptores en el Caso 1, para 1,5m y 4m de altura de receptores respectivamente. Es conveniente mencionar que los datos se entregan con varios decimales para efectos de comparación de valores, ya que las diferencias obtenidas son extremadamente bajas (para efectos reales de niveles de ruido, estos decimales no tiene relevancia).

Tabla 10. Diferencias de Niveles de Ruido con y sin simplificación de edificaciones. Valores promedio de todos los receptores (Diferencia Promedio), de los receptores donde siempre hubo fachada (Fachada Promedio) y de los receptores donde se agregó fachada (No fachada Promedio), para el Caso 1. (h es la altura de las edificaciones. Receptores a 1,5m del suelo).

Diferencia Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
4	0,9961	0,9961	0,9961	0,9997	0,9970
8	1,0226	1,0226	1,0226	1,0211	1,0222
12	1,0253	1,0253	1,0253	1,0274	1,0258
Fachada Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
4	0,0142	0,0142	0,0142	0,0175	0,0150
8	0,0156	0,0156	0,0156	0,0156	0,0156
12	0,0146	0,0146	0,0146	0,0203	0,0160
No fachada Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
4	2,6750	2,6750	2,6750	2,6790	2,6760
8	2,7444	2,7444	2,7444	2,7371	2,7425
12	2,7532	2,7532	2,7532	2,7492	2,7522

Tabla 11. Diferencias de Niveles de Ruido con y sin simplificación de edificaciones. Valores promedio de todos los receptores (Diferencia Promedio), de los receptores donde siempre hubo fachada (Fachada Promedio) y de los receptores donde se agregó fachada (No fachada Promedio), para el Caso 1. (h es la altura de las edificaciones. Receptores a 4m del suelo).

Diferencia Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
8	1,0143	1,014	1,0143	1,0158	1,0147
12	1,0190	1,0190	1,0190	1,0190	1,0190
Fachada Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
8	0,0123	0,0123	0,0123	0,0151	0,0130
12	0,0137	0,0137	0,0137	0,0132	0,0136
No fachada Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
8	2,7274	2,7274	2,7274	2,7266	2,7272
12	2,7379	2,7379	2,7379	2,7387	2,7381

Se puede apreciar que hay una diferencia promedio en torno a 1dBA en ambas situaciones, una diferencia de nivel en los lugares donde se añadió fachada de aproximadamente 2,7dBA y que en los lugares donde se mantuvo la fachada prácticamente no varía el nivel de ruido, pues la variación es del orden de centésimas de dBA.

Si se compara las magnitudes de los parámetros revisados con respecto a la altura de las edificaciones, la variación es muy pequeña. Por otro lado, comparando las situaciones a diferentes alturas de receptor, no se observa diferencias notables, de hecho dichas diferencias, como el caso de la variación de niveles en receptores donde se mantuvo fachada, son del orden de centésimas de dBA.

En las Tablas 12 y 13 se muestra de manera resumida los resultados obtenidos mediante el procesamiento de los datos arrojados por los receptores en el Caso 2, para 1,5m y 4m de altura de receptores respectivamente.

Tabla 12. Diferencias de Niveles de Ruido con y sin simplificación de edificaciones. Valores promedio de todos los receptores (Diferencia Promedio), de los receptores donde siempre hubo fachada (Fachada Promedio) y de los receptores donde se agregó fachada (No fachada Promedio), para el Caso 2. (h es la altura de las edificaciones. Receptores a 1,5m del suelo).

Diferencia Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
4	0.9869	0.9869	0.9869	0.9876	0.9871
8	1.0040	1.0040	1.0040	0.9969	1.0022
12	1.0126	1.0126	1.0126	1.0034	1.0103
16	1.0153	1.0153	1.0153	1.0061	1.0130
20	1.0160	1.0160	1.0160	1.0072	1.0138

Fachada Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
4	0.0567	0.0567	0.0567	0.0575	0.0569
8	0.0583	0.0583	0.0583	0.0583	0.0583
12	0.0621	0.0621	0.0621	0.0559	0.0601
16	0.0638	0.0638	0.0638	0.0561	0.0619
20	0.0635	0.0635	0.0635	0.0561	0.0616

No fachada Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
4	2.7931	2.7931	2.7931	2.7937	2.7933
8	2.8402	2.8402	2.8402	2.8243	2.8362
12	2.8582	2.8582	2.8582	2.8434	2.8545
16	2.8630	2.8630	2.8630	2.8508	2.8599
20	2.8656	2.8656	2.8656	2.8540	2.8627

Tabla 13. Diferencias de Niveles de Ruido con y sin simplificación de edificaciones. Valores promedio de todos los receptores (Diferencia Promedio), de los receptores donde siempre hubo fachada (Fachada Promedio) y de los receptores donde se agregó fachada (No fachada Promedio), para el Caso 2. (h es la altura de las edificaciones. Receptores a 4m del suelo).

Diferencia Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
8	0.9906	0.9906	0.9906	0.9921	0.9910
12	0.9959	0.9959	0.9959	0.9930	0.9951
16	0.9995	0.9995	0.9995	0.9946	0.9982
20	1.0002	1.0002	1.0002	0.9959	0.9991
Fachada Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
8	0.0531	0.0531	0.0531	0.0518	0.0528
12	0.0540	0.0540	0.0540	0.0526	0.0536
16	0.0542	0.0542	0.0542	0.0526	0.0538
20	0.0542	0.0542	0.0542	0.0526	0.0538
No fachada Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
8	2.8111	2.8111	2.8111	2.8180	2.8128
12	2.8249	2.8249	2.8249	2.8190	2.8234
16	2.8349	2.8349	2.8349	2.8238	2.8321
20	2.8370	2.8370	2.8370	2.8275	2.8347

Sobre los diferentes parámetros más importantes (diferencia promedio de todos los receptores y de los receptores de fachada existente) se observa las mismas tendencias que en el caso anterior. También se obtiene la misma tendencia respecto a la variación de las diferencias de todos los receptores, los receptores de fachada y los de no fachada a distintas alturas de edificaciones, es decir, las diferencias se mantienen constantes con respecto a la altura de las edificaciones.

Comparando las simulaciones con receptores a 1,5m y 4m de altura, no se aprecian diferencias en el efecto de simplificación de edificaciones.

En las Tablas 14 y 15 se presentan los resultados obtenidos mediante el procesamiento de los datos arrojados por los receptores en el Caso 3, para 1,5m y 4m de altura de receptores respectivamente.

Tabla 14. Diferencias de Niveles de Ruido con y sin simplificación de edificaciones. Valores promedio de todos los receptores (Diferencia Promedio), de los receptores donde siempre hubo fachada (Fachada Promedio) y de los receptores donde se agregó fachada (No fachada Promedio), para el Caso 3. (h es la altura de las edificaciones. Receptores a 1,5m del suelo).

Diferencia Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
4	0.9869	0.9869	0.9869	0.9876	0.9871
8	1.0040	1.0040	1.0040	0.9969	1.0022
12	1.0126	1.0126	1.0126	1.0034	1.0103
16	1.0153	1.0153	1.0153	1.0061	1.0130
20	1.0160	1.0160	1.0160	1.0072	1.0138
Fachada Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
4	0.0567	0.0567	0.0567	0.0575	0.0569
8	0.0583	0.0583	0.0583	0.0583	0.0583
12	0.0621	0.0621	0.0621	0.0559	0.0601
16	0.0638	0.0638	0.0638	0.0561	0.0619
20	0.0635	0.0635	0.0635	0.0561	0.0616
No fachada Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
4	2.7931	2.7931	2.7931	2.7937	2.7933
8	2.8402	2.8402	2.8402	2.8243	2.8362
12	2.8582	2.8582	2.8582	2.8434	2.8545
16	2.8630	2.8630	2.8630	2.8508	2.8599
20	2.8656	2.8656	2.8656	2.8540	2.8627

Tabla 15. Diferencias de Niveles de Ruido con y sin simplificación de edificaciones. Valores promedio de todos los receptores (Diferencia Promedio), de los receptores donde siempre hubo fachada (Fachada Promedio) y de los receptores donde se agregó fachada (No fachada Promedio), para el Caso 3. (h es la altura de las edificaciones. Receptores a 4m del suelo).

Diferencia Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
8	0.9906	0.9906	0.9906	0.9921	0.9910
12	0.9959	0.9959	0.9959	0.9930	0.9951
16	0.9995	0.9995	0.9995	0.9946	0.9982
20	1.0002	1.0002	1.0002	0.9959	0.9991
Fachada Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
8	0.0531	0.0531	0.0531	0.0518	0.0528
12	0.0540	0.0540	0.0540	0.0526	0.0536
16	0.0542	0.0542	0.0542	0.0526	0.0538
20	0.0542	0.0542	0.0542	0.0526	0.0538
No fachada Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
8	2.8111	2.8111	2.8111	2.8180	2.8128
12	2.8249	2.8249	2.8249	2.8190	2.8234
16	2.8349	2.8349	2.8349	2.8238	2.8321
20	2.8370	2.8370	2.8370	2.8275	2.8347

Comparando las situaciones con receptores a 1,5m y 4m, no hay diferencias notables, por lo que las tendencias comparativas de los casos anteriores se repiten.

En las Tablas 16 y 17 se resume los resultados obtenidos mediante el procesamiento de los datos arrojados por los receptores en el Caso 4, para 1,5m y 4m de altura de receptores respectivamente.

Tabla 16. Diferencias de Niveles de Ruido con y sin simplificación de edificaciones. Valores promedio de todos los receptores (Diferencia Promedio), de los receptores donde siempre hubo fachada (Fachada Promedio) y de los receptores donde se agregó fachada (No fachada Promedio), para el Caso 4. (h es la altura de las edificaciones. Receptores a 1,5m del suelo).

Diferencia Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
4	0.1259	0.1259	0.1259	0.1243	0.1255
8	0.1269	0.1269	0.1269	0.1261	0.1267
12	0.1279	0.1279	0.1279	0.1266	0.1276
16	0.1275	0.1275	0.1275	0.1263	0.1272
20	0.1279	0.1279	0.1279	0.1261	0.1274
Fachada Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
4	0.0025	0.0025	0.0025	0.0011	0.0021
8	0.0031	0.0031	0.0031	0.0007	0.0025
12	0.0037	0.0037	0.0037	0.0015	0.0032
16	0.0033	0.0033	0.0033	0.0015	0.0029
20	0.0036	0.0036	0.0036	0.0012	0.0030
No fachada Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
4	2.6686	2.6686	2.6686	2.6629	2.6671
8	2.6771	2.6771	2.6771	2.7086	2.6850
12	2.6857	2.6857	2.6857	2.7029	2.6900
16	2.6857	2.6857	2.6857	2.6971	2.6886
20	2.6886	2.6886	2.6886	2.6971	2.6907

Tabla 17. Diferencias de Niveles de Ruido con y sin simplificación de edificaciones. Valores promedio de todos los receptores (Diferencia Promedio), de los receptores donde siempre hubo fachada (Fachada Promedio) y de los receptores donde se agregó fachada (No fachada Promedio), para el Caso 4. (h es la altura de las edificaciones. Receptores a 4m del suelo).

Diferencia Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
8	0.1255	0.1255	0.1255	0.1229	0.1249
12	0.1272	0.1272	0.1272	0.1237	0.1264
16	0.1270	0.1270	0.1270	0.1234	0.1261
20	0.1270	0.1270	0.1270	0.1237	0.1262
Fachada Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
8	0.0010	0.0010	0.0010	0.0017	0.0011
12	0.0017	0.0017	0.0017	0.0011	0.0015
16	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014
20	0.0012	0.0012	0.0012	0.0011	0.0012
No fachada Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
8	2.6914	2.6914	2.6914	2.6886	2.6907
12	2.7143	2.7143	2.7143	2.6943	2.7093
16	2.7143	2.7143	2.7143	2.6943	2.7093
20	2.7171	2.7171	2.7171	2.6943	2.7114

Debido a que el espacio de sin fachada en el modelo original es bastante menor que el del caso 3, se obtiene una menor diferencia promedio del total de receptores, la que asciende a 0,1dBA. La diferencia de nivel en donde se mantuvo la fachada es del orden de milésimas de dBA, por lo que claramente también es de magnitud despreciable. Donde surge una nueva fachada por la simplificación se da cuenta de una variación en torno de los 2,7dBA.

Respecto a la variación de las diferencias en función de la altura de los edificios, no se observa diferencias importantes, tal como en los casos anteriores. Lo mismo pasa al comparar las diferencias con respecto a las alturas de receptor.

Lo que se hace común en todos los casos es que no hay variaciones importantes de las tendencias con respecto a la altura de edificaciones y de receptor. La variación de los niveles en fachada no depende de las alturas de las edificaciones, sino más bien de su ubicación con respecto a la fuente sonora y de los posibles cambios generados por la simplificación de edificaciones. Las variaciones de nivel son despreciables en los lugares donde existe fachada en ambos casos (simplificado y no simplificado), y en aquellos donde aparece una fachada producto de la simplificación, hay variaciones cercanas a los 3dBA en esta nueva fachada, debido a la aparición de una reflexión inexistente en el modelo no simplificado.

Además de los casos anteriores y considerando específicamente el caso de viviendas de baja altura que serían modeladas con bloques de altura mayor se incluye la siguiente tabla que muestra las diferencias obtenidas para el caso 1, considerando siempre el modelo sin simplificación con casas de 4 m de altura y el bloque simplificado con 4, 6 y 8 m de altura. Los resultados permiten apreciar que el utilizar bloques de altura mayor no afecta en absoluto los niveles en fachada.

Tabla 18. Diferencias de Niveles de Ruido con y sin simplificación de edificaciones. Valores promedio de todos los receptores (Diferencia Promedio), de los receptores donde siempre hubo fachada (Fachada Promedio) y de los receptores donde se agregó fachada (No fachada Promedio), para el Caso 1. (h es la altura de las edificaciones. Receptores a 1,5m del suelo), manteniendo la altura de las viviendas a 4m.

Diferencia Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
4	0,9961	0,9961	0,9961	0,9997	0,9970
6	0,9973	0,9973	0,9973	1,0033	0,9988
8	0,9979	0,9979	0,9979	1,0039	0,9993
Fachada Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
4	0,0142	0,0142	0,0142	0,0175	0,0150
6	0,0142	0,0142	0,0142	0,0175	0,0150
8	0,0142	0,0142	0,0142	0,0175	0,0150
No fachada Promedio					
h (m)	ΔL_D (dBA)	ΔL_E (dBA)	ΔL_N (dBA)	ΔL_{DEN} (dBA)	ΔL_{prom} (dBA)
4	2,6750	2,6750	2,6750	2,6790	2,6760
6	2,6750	2,6750	2,6750	2,6790	2,6760
8	2,6750	2,6750	2,6750	2,6790	2,6760

Se realizaron varios ejercicios de modelación que permiten confirmar que la metodología de simplificación propuesta genera buenos resultados. Se observa que en general no existen diferencias significativas en los niveles en fachadas, utilizando diferentes alturas de edificación. Sin embargo, pueden existir algunos pocos casos en que el efecto de apantallamiento pudiera influir en los valores modelados. Esto queda en evidencia en los mapas desarrollados e incluido en anexo (mapas de ruido de comparación con diferentes alturas de modelación y diferentes alturas de edificaciones simplificadas), donde se puede apreciar que se producen diferencias mayores en casos donde la fuente no está cercana a la zona de modelación, por ejemplo, en zonas peatonales. Tales situaciones son casos muy específicos y donde normalmente los niveles de ruido de tránsito son bajos, además de ser casos poco frecuentes respecto a la superficie a modelar.

En virtud de lo anterior, y con el objetivo de obtener el mejor mapa de ruido modelado al alcance del proyecto, se ha utilizado dos alturas de bloques de edificaciones para efectos de la modelación: 4 m en manzanas donde sólo hay viviendas de uno y dos pisos, y 10 m para los otros casos con edificaciones de más alturas.

3.1.3.4. Altura de modelación

Si bien en la Fase III [18] se realizaron los mapas de ruido a una altura de 4 metros según la Directiva 2002/49/CE de la Comunidad Europea, en el presente estudio se ha propuesto la realización de los mapas a una altura de 1,5 metros. Considerando que la ciudad posee muchas edificaciones de un piso, y que las mediciones de calibración se realizan a dicha altura, permitiendo una comparación directa entre valores modelados y mediciones de ruido, la opción de modelar a 1,5 m es la alternativa más apropiada. Se procede a realizar un ejercicio de comparación entre mapas realizados a 4 metros y 1.5 metros con el fin de analizar sus diferencias.

3.1.3.4.1. Modelación de escenarios

Se realizó un ejercicio de modelación, donde se utilizó el mapa de ruido de la Comuna de Santiago, específicamente el cuadrante Nor Oriente. En los siguiente mapas se muestran las modelaciones realizadas a una altura de 4 metros y 1.5 metros respectivamente.

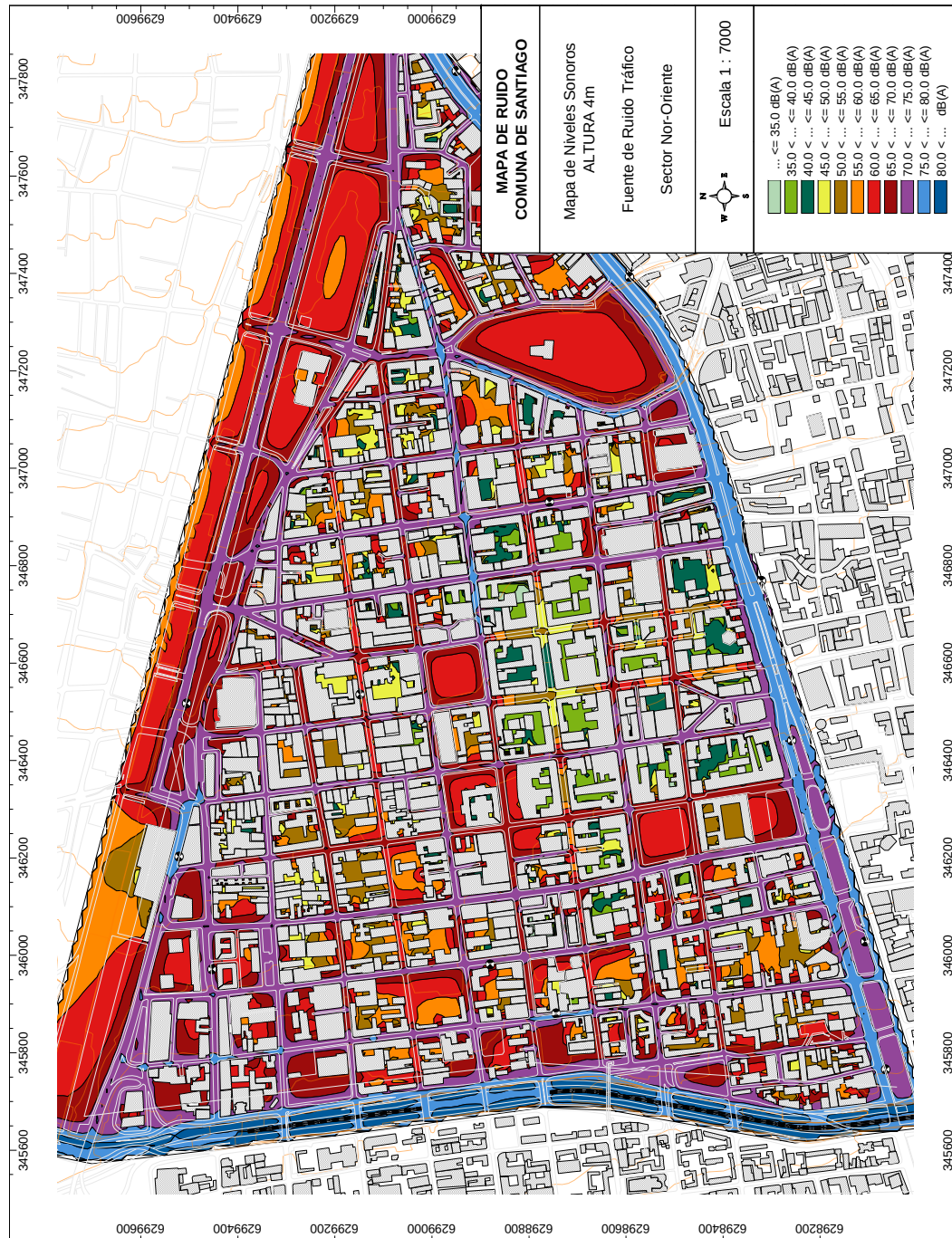


Fig. 27. Mapa de Ruido evaluado a una altura de 4 metros.

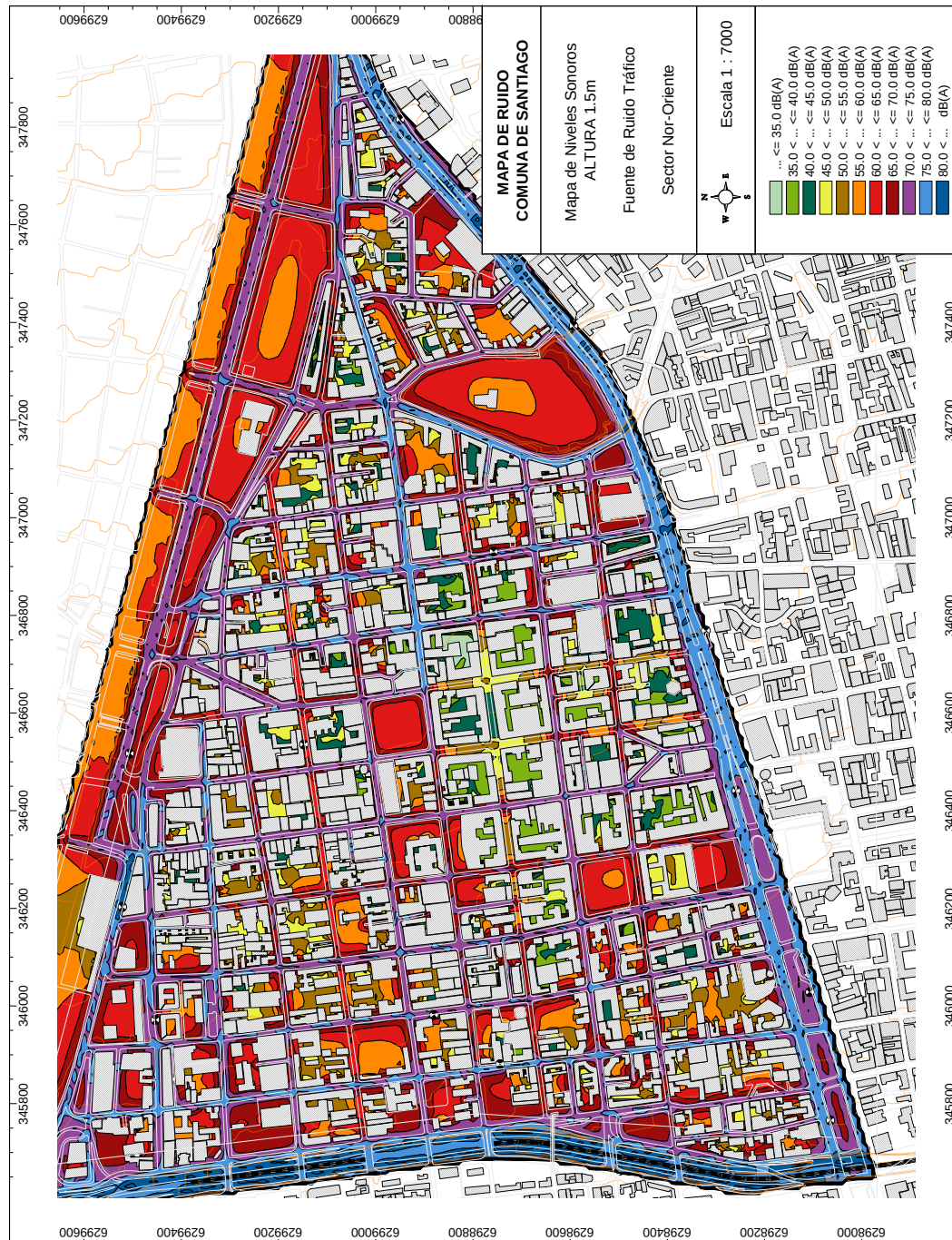


Fig. 28. Mapa de Ruido evaluado a una altura de 1,5 metros.

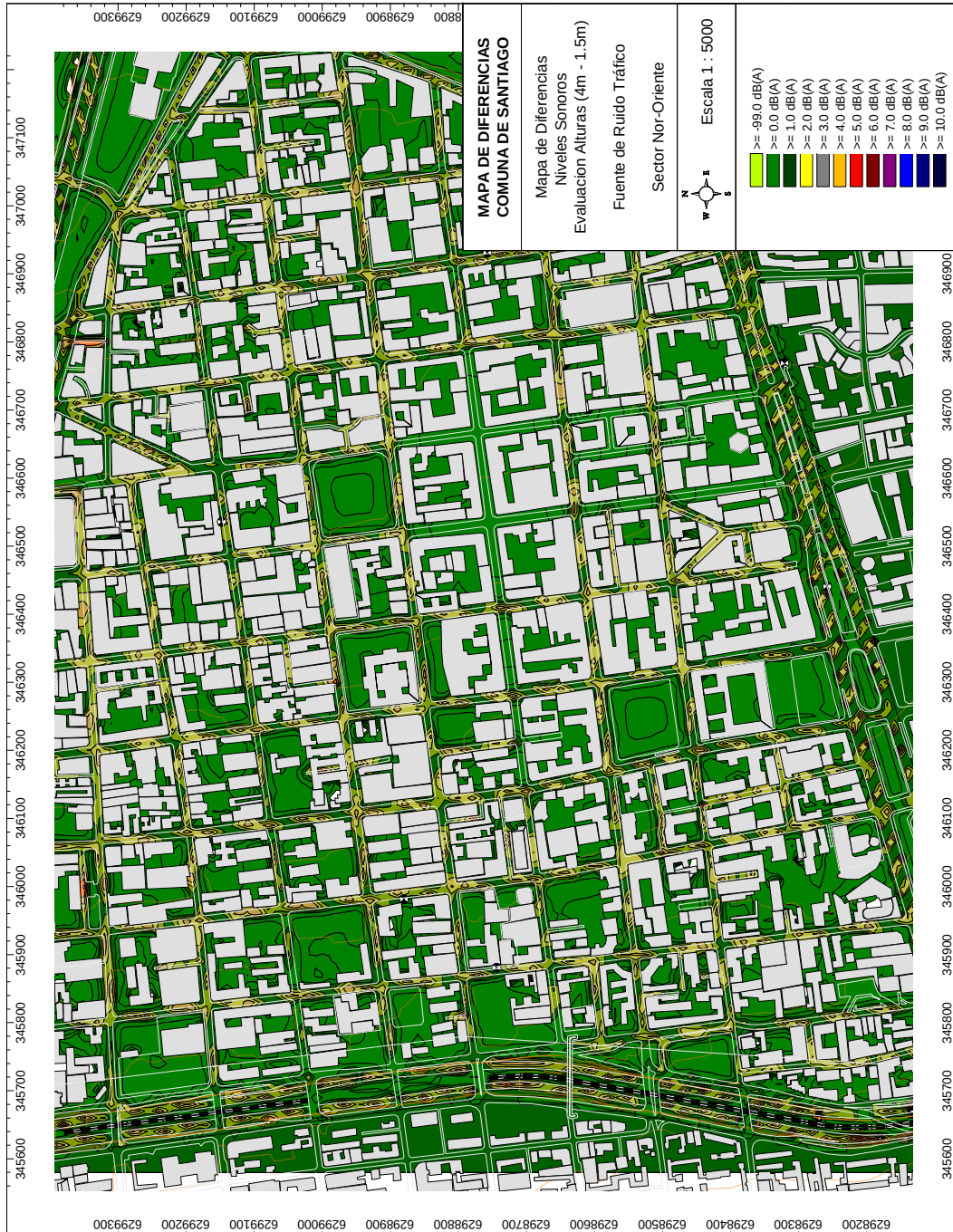


Fig. 29. Mapa de diferencias entre mapas de ruido evaluados a 4m y 1.5m.

En el mapa de diferencias se puede apreciar claramente que la mayoría de los sectores tienen diferencias menores a 1 dBA. Es posible observar algunas pequeñas zonas donde existen diferencias en torno a 2 – 3dB(A). Estas zonas correspondientes a las vías propiamente tal, lo que es esperable, pues disminuye la distancia hacia la fuente. Esto no es relevante, pues interesan los niveles de exposición (y no de emisión).

Adicionalmente se realiza una evaluación en los puntos receptores utilizados para la calibración del mapa (Fase III). Se incluye una tabla con la comparación de los puntos receptores utilizados en la calibración de la Fase III, donde se observan diferencias menores a 0,5dB(A) como promedio. Lo anterior indica que los valores cercanos a las fachadas de los edificios no habría mayores diferencias con respecto a utilizar una altura de evaluación menor.

Tabla 19. Comparación Evaluación Receptores. Según Mapa de Ruido Comuna de Santiago a 4m y 1.5m (Sin Simplificación Edificaciones).

Nombre	ID	Nivel 4m (dBA)	Nivel 1.5m (dBA)	Diferencias (dBA)
Alameda (Maipú/Chacabuco)	1.1	76,4	76,5	0,1
Alameda (R.Sotomayor/García Reyes)	1.2	76,2	76,1	0,1
Alameda (J.M.Carrera/Cienfuegos)	1.3	76,2	75,5	0,7
Alameda (Tucapel Jiménez/San Martín)	1.4	75,1	74,9	0,2
Alameda (San Martín/Amunátegui)	1.5	73,1	73,6	0,5
Alameda (Morandé/Bandera)	1.6	75,3	75,2	0,1
Alameda (Estado/San Antonio)	1.7	72,4	72,9	0,5
Alameda (Santa Lucía/Lira)	1.9	76,9	76,5	0,4
Alameda (R.Corvalán Melgarejo/Namur)	1.10	76,7	76	0,7
Matucana (San Pablo/Martínez de Rosas)	2.1	73,4	72,9	0,5
Pdte. Balmaceda (Maturana/Av. Brasil)	2.2	74,4	73,8	0,6
Balmaceda	2.3	78,8	78,4	0,4
Cardenal J.M.Caro (Puente/Estado)	2.4	71	70,5	0,5
Vicuña Mackenna (Eulogia Sánchez/Viña del Mar)	2.5	70,7	70,3	0,4
Vicuña Mackenna (Gral. Jofré /Marín)	2.6	70,8	70,4	0,4
Vicuña Mackenna (Santa Elvira/Victoria)	2.7	74	72,4	1,6
Manuel A. Matta (Rogelio Ugarte/Madrid)	2.8	74,6	74,4	0,2
Manuel A. Matta (cura Marchant/Santa Rosa)	2.9	74,9	74,7	0,2
Blanco Encalada	2.10	75	74,8	0,2
Carmen (Marín/Santa Victoria)	3.1	73	72,7	0,3
Rondizzoni (Capitán Wood/Luis Cousiño)	3.2	69,2	69,4	0,2

Nombre	ID	Nivel 4m (dBA)	Nivel 1.5m (dBA)	Diferencias (dBA)
Ñuble (San Diego/A. Prat)	3.3	72,7	72,5	0,2
Exposición (Toesca/Blanco Encalada)	3.4	68,7	68,2	0,5
San Martín (Huérfanos/Compañía)	3.5	75,6	75,2	0,4
Gral. Mackenna (Amunategui/Teatinos)	3.6	72,8	72	0,8
Mc Iver (Huérfanos/Agustinas)	3.7	72,1	71,6	0,5
El Mirador (Gaspar de la Barrera/Manuel de Amat)	3.8	68,3	67,9	0,4
San Pablo (Cueto/García Reyes)	3.9	72	72,1	0,1
Mapocho (Brasil/Almte. Barroso)	3.10	70,7	70	0,7
Viel Oriente (Sgt. Aldea/Elena Barros)	3.11	75,5	76,2	0,7
Viel Poniente (Viel/Gral. Rondizzoni)	3.12	76,1	76,8	0,7
Santa Elena (Maule/Ñuble)	4.1	67,6	66,9	0,7
Abate Molina (Tucapel/Fray Luis de la Peña)	4.2	69,6	68,2	1,4
Franklin (Artemio Gutiérrez/Sierra Bella)	4.3	71,2	70,7	0,5
Moneda (Cumming/Maturana)	4.4	65,1	64,8	0,3
Nataniel Cox (Mensia de los Nidos/Santa Isabel)	4.5	71,9	71,4	0,5
Victoria (Aldunate/Lord Cochrane)	4.6	69,5	69,3	0,2
San Francisco (Eleuterio Ramírez/Cóndor)	4.7	72,5	72,4	0,1
Sazié (Av. España/República)	4.8	64,4	64,4	0
Amunategui (Catedral/Compañía)	4.9	70,4	69,9	0,5
10 de Julio	4.11	72,3	70,4	1,9
Andes (R. Sotomayor/Cueto)	5.1	72,1	71,8	0,3
Salvador San Fuentes (Av. España/República)	5.2	66,3	66	0,3
Libertad (Erasmus Escala/Moneda)	5.3	71	70,5	0,5
Eyzaguirre (Santa Rosa/San Isidro)	5.4	69,5	69,5	0
Grajales (Abate Molina/Av. España)	5.5	66,3	65,5	0,8
José M. Carrera (Sazie/Grajales)	5.6	64,9	64,4	0,5
Chiloé (Santiaguillo Marina de Gaete/Victoria)	5.7	69,6	68,6	1
García Reyes (Mapocho/Andes)	5.8	66,9	66,8	0,1
Arauco (Eduardo Matte/Berta Fernández)	5.9	72,9	72	0,9
Maipú (San Pablo/Rosas)	5.10	65,3	65,2	0,1
Santo Domingo (Puente/21 de Mayo)	5.11	60,6	60,4	0,2
PROMEDIO				0,5

3.1.3.4.2. Ejercicio de Modelación y Validación según altura y simplificación de edificaciones

Con la intención de probar la estrategia de trabajo para la modelación, particularmente en lo referido a la Tipología de Edificaciones, se realizaron modelaciones de un sector de la Comuna de Santiago (ya modelada en la Fase III [18]), con la metodología de simplificación de edificaciones. La idea es validar la metodología y establecer las posibles diferencias en términos de niveles de ruido (dBA) debidas a la utilización de la técnica de simplificación.

Ya que se propuso realizar la modelación de los niveles de ruido a 1.5 metros de altura, resulta razonable asumir una altura constante de 4 metros para todos los bloques de edificaciones en este ejercicio. En la siguiente tabla se muestra el resultado de nivel modelado para los puntos de calibración con el modelo detallado, el modelo simplificado y las correspondientes diferencias para L_{día} y L_{noche}.

Tabla 20. Diferencias entre los niveles modelados con y sin simplificación de edificaciones en la Comuna de Santiago, utilizando mediciones de calibración de la elaboración del Mapa de Ruido de la Comuna de Santiago

	ID	ORIGINAL Edificios		SIMPLIFICACION Bloque Edificios		DIFERENCIA	
		Día (dBA)	Noche (dBA)	Día (dBA)	Noche (dBA)	Día dBA	Noche dBA
Alameda (Maipú/Chacabuco)	1.1	76,4	68,1	75,9	67,7	0,5	0,4
Alameda (R. Sotomayor/García Reyes)	1.2	76,2	68	75,4	67,2	0,8	0,8
Alameda (J.M.Carrera/Cienfuegos)	1.3	76,2	68	76	67,9	0,2	0,1
Alameda (Tucapel Jiménez/San Martín)	1.4	75,1	66,9	74,9	66,7	0,2	0,2
Alameda (San Martín/Amunátegui)	1.5	73,1	65	72,7	64,5	0,4	0,5
Alameda (Morande/Bandera)	1.6	75,3	67,2	75	67	0,3	0,2
Alameda (Estado/San Antonio)	1.7	72,3	64,1	71,8	63,6	0,5	0,5
Alameda (Santa Lucía/Lira)	1.9	76,9	68,7	76,7	68,5	0,2	0,2
Alameda (R.Corvalán Melgarejo/Namur)	1.10	76,3	68	76,2	68	0,1	0
Matucana (San Pablo/Martínez de Rosas)	2.1	73,4	65,2	73,2	65,1	0,2	0,1
Pdte.Balmaceda (Maturana/Av. Brasil)	2.2	74,4	66,1	73,7	65,4	0,7	0,7
Balmaceda	2.3	78,8	70,4	77,8	69,4	1	1
Cardenal J.M.Caro (Puente/Estado)	2.4	71	62,7	70,9	62,7	0,1	0
Vicuña Mackenna (Eulogia Sánchez/Viña del Mar)	2.5	70,2	61,9	70,2	61,9	0	0
Vicuña Mackenna (Gral.Jofre/Marín)	2.6	70,6	62,2	70,4	62	0,2	0,2
Vicuña Mackenna (Santa Elvira/Victoria)	2.7	73,3	64,7	73,1	64,4	0,2	0,3
Manuel A. Matta (Rogelio Ugarte/Madrid)	2.8	74,5	65,9	74,2	65,6	0,3	0,3
Manuel A. Matta (cura Marchant/Santa Rosa)	2.9	74,9	66,6	74,7	66,4	0,2	0,2
Blanco Encalada	2.10	75	66,6	73,8	65,5	1,2	1,1

		ORIGINAL Edificios		SIMPLIFICACION Bloque Edificios		DIFERENCIA	
	ID	Día (dBA)	Noche (dBA)	Día (dBA)	Noche (dBA)	Día dBA	Noche dBA
Carmen (Marín/Santa Victoria)	3.1	73	64,4	71,7	63,1	1,3	1,3
Rondizzoni (Capitán Wood/Luis Cousiño)	3.2	69,1	61	68,9	60,8	0,2	0,2
Ñuble (San Diego/A. Prat)	3.3	72,7	64,8	71,9	63,9	0,8	0,9
Exposición (Toesca/Blanco Encalada)	3.4	68,6	60,3	68,5	60,1	0,1	0,2
San Martín (Huérfanos/Compañía)	3.5	75,5	67,3	74,6	66,4	0,9	0,9
Gral. Mackenna (Amunátegui/Teatinos)	3.6	72,7	64,7	72,4	64,4	0,3	0,3
Mc Iver (Huérfanos/Agustinas)	3.7	72,1	64	71,7	63,6	0,4	0,4
El Mirador (Gaspar de la Barrera/Manuel Amat)	3.8	68,2	60,1	67,9	59,8	0,3	0,3
San Pablo (Cueto/García Reyes)	3.9	72	63,7	70,6	62,3	1,4	1,4
Mapocho (Brasil/Almte.Barroso)	3.10	70,6	62,6	70,4	62,3	0,2	0,3
Viel Oriente (Sgto. Aldea/Elena Barros)	3.11	75	66,4	75	66,3	0	0,1
Viel Poniente (Viel/Gral.Rondizzoni)	3.12	75,8	67	75,8	66,9	0	0,1
Santa Elena (Maule/Ñuble)	4.1	67,3	59	67,3	58,9	0	0,1
Abate Molina (Tucapel/Fray Luis de la Peña)	4.2	69,6	61,3	68,7	60,5	0,9	0,8
Franklin (Artemio Gutiérrez/Sierra Bella)	4.3	71,1	62,9	70,2	62	0,9	0,9
Moneda (Cumming/Maturana)	4.4	65	57,1	64,7	56,7	0,3	0,4
Nataniel Cox (Mensia de los Nidos/Santa Isabel)	4.5	71,9	63,7	71	62,8	0,9	0,9
Victoria (Aldunate/Lord Cochrane)	4.6	69,5	61,4	68,7	60,6	0,8	0,8
San Francisco (Eleuterio Ramírez/Cóndor)	4.7	72,5	64,3	71,5	63,3	1	1
Sazie (Av. España/República)	4.8	64,4	56	63,2	54,9	1,2	1,1
Amunátegui (Catedral/Compañía)	4.9	70,4	62,3	69,9	61,8	0,5	0,5
10 de Julio	4.11	70,4	62,2	69,9	61,7	0,5	0,5
Andes (R. Sotomayor/Cueto)	5.1	72	63,6	71	62,7	1	0,9
Salvador San Fuentes (Av. España/República)	5.2	66,2	58	65,4	57,1	0,8	0,9
Libertad (Erasmus Escala/Moneda)	5.3	71	62,8	70	61,8	1	1
Eyzaguirre (Santa Rosa/San Isidro)	5.4	70,1	61,8	69,8	61,5	0,3	0,3
Grajales (Abate Molina/Av. España)	5.5	66,2	58,1	65,7	57,5	0,5	0,6
José M.Carrera(Sazie/Grajales)	5.6	64,9	56,7	64,1	56	0,8	0,7
Chiloé (Santiaguillo Marina de Gaete/Victoria)	5.7	69,4	61	68,5	60	0,9	1
García Reyes (Mapocho/Andes)	5.8	66,8	58,5	62,7	54,3	4,1	4,2
Arauco (Eduardo Matte/Berta Fernández)	5.9	72,9	64,6	72,1	63,9	0,8	0,7

		ORIGINAL Edificios		SIMPLIFICACION Bloque Edificios		DIFERENCIA	
	ID	Día (dBA)	Noche (dBA)	Día (dBA)	Noche (dBA)	Día dBA	Noche dBA
Maipú (San Pablo/Rosas)	5.10	65,3	57,2	65,2	57,1	0,1	0,1
Santo Domingo (Puente/21 de Mayo)	5.11	60,6	52,5	59	51	1,6	1,5

En las figuras siguientes se muestran gráficamente los valores de nivel día y nivel noche obtenidos con el modelo original detallado y con la simplificación de bloques de edificios.

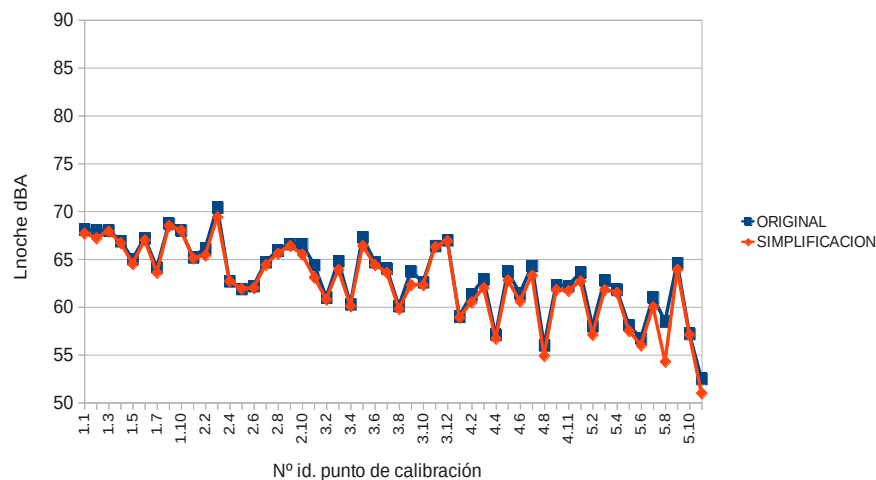


Fig. 30. Niveles día modelados sin simplificación (original) y con simplificación de edificaciones.

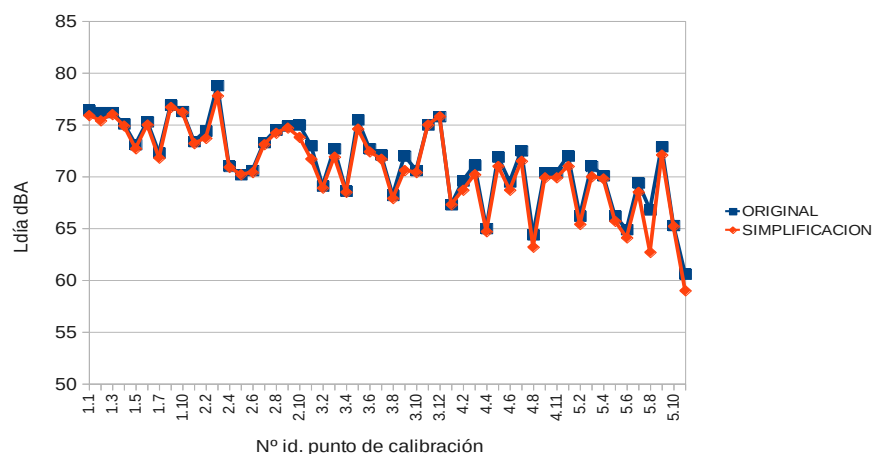


Fig. 31. Niveles noche modelados sin simplificación (original) y con simplificación de edificaciones.

Como se puede apreciar, las diferencias son poco significativas y permiten confirmar que la metodología de simplificación de edificaciones es una herramienta eficiente para la realización de mapas de ruido modelados de gran tamaño.

Adicionalmente se ha realizado un análisis estadístico para estos escenarios, determinando si las modelaciones de ruido con edificios y bloques de edificios (caso simplificado), presentan diferencias significativas a nivel medio. Se realizaron análisis descriptivos e inferenciales, para esto se cuenta con dos bases de datos ya mencionada.

Tabla 21. Estadísticas de resumen para modelaciones de ruido, día y noche según edificios y bloques de edificios.

Base general	n	Media	S	CV	Mínimo	Máximo	Mediana
Edificios Día	52	71.5	3.8	5.34%	60.6	78.8	72.0
Bloque edificios Día	52	70.9	4.0	5.68%	59	77.8	71.0
Edificio Noche	52	63.2	3.8	5.95%	52.5	70.4	63.7
Bloques Edificios Noche	52	62.6	4.0	6.36%	51	69.4	62.8

En esta tabla podemos apreciar claramente que a nivel medio tanto las cifras comparativas día y noche en relación a las modelaciones de ruido con edificios y bloques de edificios presentan cifras similares, la media para el día en edificios es de 71.5 ± 3.8 dBA y para el bloque de edificios es de 70.9 ± 4.0 dBA, para la noche en el caso de edificios el valor medio es de 63.2 ± 3.8 y para el bloque de edificios es de 62.6 ± 4.0 . Ambos grupos (edificios y bloques de edificios) tanto para el día como para la noche, presenta una variación porcentual baja que no supera el 6.5%. En la siguiente figura, se puede apreciar lo ya mencionado.

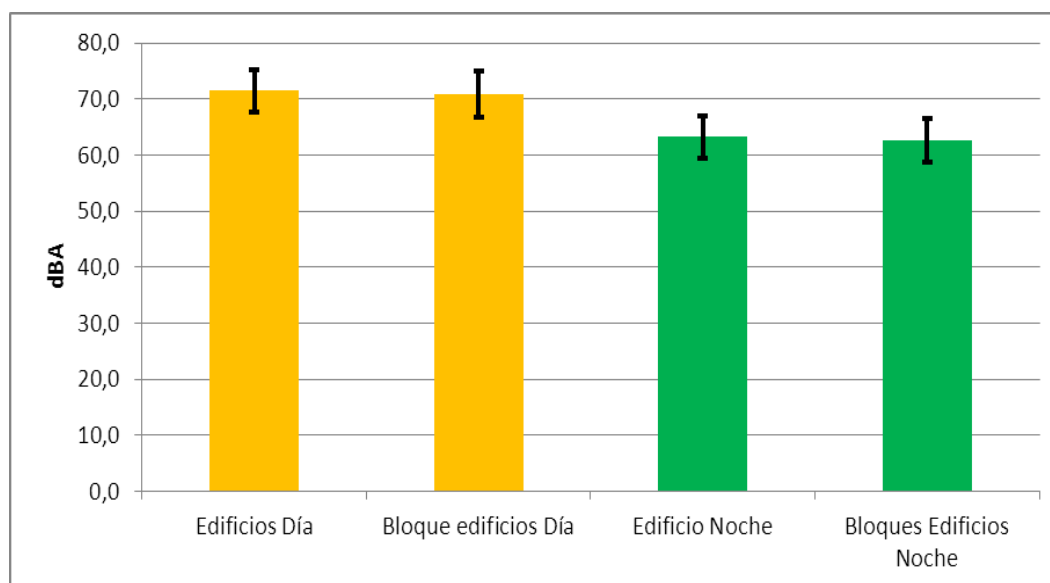


Fig. 32. Comparación media y desviación estándar para modelaciones de ruido con edificios y bloque de edificios, tanto para el día como noche.

Para determinar si las medias de Edificios y Bloque de edificios difieren, se realizaron pruebas de hipótesis de diferencias de medias, tanto para el día como para la noche. Como se observa en la Tabla 13, en ambos casos, no presentaron diferencias significativas, es decir, se puede inferir que las medias poblaciones de edificios y bloques de edificios son similares.

Tabla 22. Pruebas de hipótesis diferencias de modelaciones de ruido entre el escenario de edificios y el de bloques de edificios, para el día y la noche.

Día	Noche
Hipótesis $H_0: \mu_{\text{Edificio}} = \mu_{\text{Bloque de edificios}}$ $H_1: \mu_{\text{Edificio}} \neq \mu_{\text{Bloques de Edificios}}$	Hipótesis $H_0: \mu_{\text{Edificio}} = \mu_{\text{Bloque de edificios}}$ $H_1: \mu_{\text{Edificio}} \neq \mu_{\text{Bloques de Edificios}}$
Decisión No se rechaza H_0 p-valor =0,424 NS	Decisión No se rechaza H_0 p-valor =0,418 NS

3.1.3.5. Puntos de medición de la campaña de terreno

La clasificación de las vías en diferentes categorías, según las recomendaciones para el diseño de elementos de infraestructura urbana (REDEVU), permite una estratificación significativa desde el punto de vista estadístico, además de una distribución de los puntos de medición y conteos de flujo vehicular de manera más eficiente. Esta técnica consiste en muestrear diferentes vías asumiendo que las de la misma categoría presentarán niveles de ruido y flujos vehiculares similares.

3.1.3.5.1. Agrupación de municipios por zonas

Para el trabajo de terreno las comunas se agruparon por zonas según se aprecia en la figura y tabla:



Fig. 33. División zonal de las comunas del Gran Santiago.

Tabla 23: Agrupación de Comunas para Campaña de Terreno

Zona Sur	Zona Sur Oriente	Zona Sur Poniente	Zona Norte	Zona Nor-Oriente	Zona Nor-Poniente	Zona Centro
Pedro Aguirre Cerda	Macul	Cerrillos	Recoleta	La Reina	Renca	Santiago
La Cisterna	Peñalolén	Maipú	Conchalí	Ñuñoa	Quinta Normal	
Lo Espejo	La Florida	Estación Central	Quilicura	Las Condes	Pudahuel	
La Granja	Puente Alto		Huechuraba	Lo Barnechea	Cerro Navia	
San Joaquín			Independencia	Providencia	Lo Prado	
San Miguel				Vitacura		
San Ramón						
El Bosque						
La Pintana						
San Bernardo						

3.1.3.5.2. Distribución de puntos de medición

Con el fin de obtener resultados más confiables, y teniendo en consideración que la principal variable de entrada para la modelación del ruido de tránsito vehicular es el flujo vehicular por categorías viales, se estableció la cantidad de puntos de medición de flujo vehicular a distribuirse según la superficie de cada zona, obteniendo un factor de ponderación a partir del promedio de superficie del conjunto de zonas. La superficie considerada para estos casos corresponde a la superficie urbana censal, según el INE [31]

Tabla 24. Número de mediciones de flujo vehicular para el Gran Santiago.

Zona	Superficie Km2 (INE)	Factor Ponderación	Mediciones de Flujo H. Valle	Mediciones de Flujo H. Punta
Zona Sur	160,03	1,29288814	93	46
Zona Sur-Oriente	170,06	1,500600157	107	55
Zona Sur-Poniente	86,93	0,762257052	55	26
Zona Norte	94,22	0,761206777	55	26
Zona Nor-Oriente	237,56	1,919255805	137	68
Zona Nor-Poniente	71,34	0,576358432	40	21
Zona Central	23,2	0,187433636	13	7
Promedio superficie	123,8	7	500	249

Se consideró un máximo de 500 mediciones de flujo vehicular en horario Valle, acorde con la capacidad logística según los alcances del proyecto. La distribución de los puntos se obtiene al dividir la superficie de cada zona por el promedio de ellas (factor de ponderación). Adicionalmente se consideró agregar un máximo de 250 mediciones de flujo vehicular en horario punta, bajo el mismo criterio utilizado con las mediciones en horario Valle. Así, se cubre la posible variabilidad que presentan las vías en diferentes horas del día y, de esta manera lograr resultados más ajustados a la realidad de la ciudad.

Para efectos de distribución de los puntos de medición por tipo de vía (REDEVU), se consideró la información disponible para el estudio, previo a la realización de la campaña de mediciones. Esta información corresponde a trece comunas: La Florida, La Reina, Estación Central, Independencia, La Cisterna, Lo Prado, Macul, Maipú, Ñuñoa, Peñalolén, Recoleta, Santiago, Vitacura. Así, se obtuvo una distribución promedio de los tipos de vías, que se ha asumido como una distribución típica para efectos de la programación de la campaña de terreno. Esta proporción fue utilizada para asignar una cantidad de puntos por cada tipo de vía mediante muestreo estratificado por número de vías. De esta manera, se obtuvo que a partir de esta clasificación de 1.313 vías consideradas en este conjunto de 13 comunas, un 2,9% corresponden a vías expresas, un 15,9% a vías troncales, un 23,5% a vías colectaras, un 16,5% a vías de servicio y un 41,1% a vías locales. Si bien esta distribución obedece a sólo algunos municipios, es un promedio razonable considerando la información de base que se contó para el diseño de la campaña de mediciones.

Considerando esta ponderación, se presenta a continuación la cantidad de vías por zona y categoría, con datos de flujo vehicular y mediciones acústicas:

Tabla 25. Número de mediciones de flujo vehicular según Zona y tipo de Vía del Gran Santiago.

Zona	Tipo de Vía	Cantidad de vías por tipo	%	Cantidad de mediciones de flujo H. Valle	Cantidad de mediciones de flujo H. Punta	Cantidad de mediciones acústicas H. Valle
Zona Norte	Expresas	39	2,9	2	1	1
	Troncales	212	15,9	9	4	3
	Colectoras	313	23,5	13	6	4
	Servicio	219	16,5	9	4	3
	Locales	547	41,1	22	11	7
Zona Nor-Oriente	Expresas	39	2,9	4	2	1
	Troncales	212	15,9	22	11	6
	Colectoras	313	23,5	32	16	9
	Servicio	219	16,5	23	11	7
	Locales	547	41,1	56	28	16
Zona Nor-Poniente	Expresas	39	2,9	1	1	1
	Troncales	212	15,9	6	3	2
	Colectoras	313	23,5	10	5	3
	Servicio	219	16,5	6	3	2
	Locales	547	41,1	17	9	5
Zona Sur-Poniente	Expresas	39	2,9	2	1	1
	Troncales	212	15,9	9	4	3
	Colectoras	313	23,5	13	6	4

Zona	Tipo de Vía	Cantidad de vías por tipo	%	Cantidad de mediciones de flujo H. Valle	Cantidad de mediciones de flujo H. Punta	Cantidad de mediciones acústicas H. Valle
Zona Sur-Oriente	Servicio	219	16,5	9	4	3
	Locales	547	41,1	22	11	7
	Expresas	39	2,9	3	2	1
	Troncales	212	15,9	17	9	5
	Colectoras	313	23,5	25	13	8
	Servicio	219	16,5	18	9	5
	Locales	547	41,1	44	22	13
	Expresas	39	2,9	3	1	1
	Troncales	212	15,9	15	7	4
	Colectoras	313	23,5	22	11	6
Zona Sur	Servicio	219	16,5	15	8	4
	Locales	547	41,1	38	19	11
	TOTAL			487	242	146

En esta distribución no se ha considerado la Zona Central que corresponde la Comuna de Santiago, ya que se cuenta con los datos de la Fase III [18] para efectos de información útil, y no es necesario destinar nuevas mediciones en esa zona. Como se aprecia en la tabla anterior, con este procedimiento también se presentan las mediciones acústicas ofrecidas para este proyecto.

La etapa de terreno del Gran Santiago se realizó desde el día 15 de septiembre hasta el 18 de noviembre. Con respecto a instrumental, para realizar las mediciones necesarias para el estudio, el Instituto de Acústica se dispuso 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. Se tuvo especial cuidado de obtener una representación confiable de los datos medidos, evitando medidas en días de festividades nacionales u otros en que el comportamiento de la zona de estudio no sea el habitual.

Una vez clasificadas las vías, o tramos de vías (una calle podría tener tramos asignados a diferentes categorías), se realizó una selección de distintos puntos de medida considerando los siguientes criterios:

- La carpeta no debe poseer alteraciones tales como hoyos, tapas de cámaras de alcantarillado sueltas y reductores de velocidad.
- Descartar sectores con actividades de esparcimiento en la cercanía.
- El punto de medición se ubicará idealmente a una distancia de 7.5 metros perpendicular al eje de la calzada, de no ser posible se podrá alejar, pero nunca una distancia mayor a 25 metros.

- Los puntos de medición deberán estar suficientemente alejados de cruces con semáforos, con Disco Pare, con Ceda el Paso, que afecten el flujo vehicular (velocidad, frenado, etc.).
- No debe existir apantallamiento acústico por elementos sólidos entre la fuente de ruido (tránsito vehicular) y el punto de medición.
- El número de puntos de medida en cada una de las categorías será similar evitando la presencia de puntos equivalentes (dos puntos localizados en la misma sección de la calle sin ninguna intersección entre ellos que le suministre o reste un flujo de tránsito vehicular importante con respecto al flujo del tránsito vehicular de la categoría donde se encuentran los puntos).

La selección de cada punto de medición definitivo se realizó en terreno, donde se verificó que efectivamente si se cumple con los criterios planteados y que el punto de medición no se afectó por otras fuentes de ruido externas a la evaluar.

Según los antecedentes [18], cada medición de L_{eq} (nivel de presión sonora continuo equivalente) fue de 15 minutos. Durante cada medición se realizó un conteo de vehículos, con el objetivo de descartar el efecto de la variable flujo vehicular sobre la relación entre valor de L_{eq} medido y modelado. Las mediciones de 15 minutos se realizaron en horario valle (9:00 – 18:00/ 20:00 – 21:00) y en horario punta (7:00 – 9:00/ 18:00 – 20:00), según lo acordado con la Contraparte Técnica.

Los puntos de medición acústica deben permitir comparar, realizar posibles ajustes y validar el modelo en cuanto al nivel generado por cada fuente (vía de tránsito vehicular) considerada en el estudio. Se distribuyeron un total de 209 mediciones, que en conjunto con las mediciones realizadas en estudios anteriores [16] [18], suman un total de 305 mediciones acústicas, cantidad razonables para los fines y alcance del proyecto. Así, se midieron 178 puntos durante esta etapa, que sumados con los puntos de etapas anteriores, suman 274 puntos de medición considerados en los análisis.

3.1.3.5.3. Campaña de Terreno Preliminar

Con la idea de obtener una metodología acorde a los alcances del proyecto, y tomando en consideración la nueva clasificación vial a utilizar en esta oportunidad, se procedió a realizar una campaña de terreno preliminar en la Comuna de Santiago (caso de estudio [18]). El objetivo de esta campaña es la recopilación de elementos de juicio que permitan orientar el trabajo de manera de conocer si la clasificación vial a utilizar en esta oportunidad se encuentra dentro de lo esperable en cuanto a flujo vehicular y nivel de ruido.

Esta fase preliminar se realizó desde el día 30 agosto hasta el día 8 de septiembre. Contempló mediciones en las 5 zonas de la Comuna de Santiago (Zona Nororiente, Zona Norponiente, Zona Surponiente y Zona Suroriente 1 y Suroriente 2). Para cada zona se escogieron 3 puntos de manera de incluir por cada zona un punto ya medido también en estudio de esa comuna, y dos puntos en vías no estudiadas anteriormente y de distinto tipo de vía. Se realizaron un total de 62 mediciones durante la campaña temprana, las cuales se detallan en el Anexo 3.

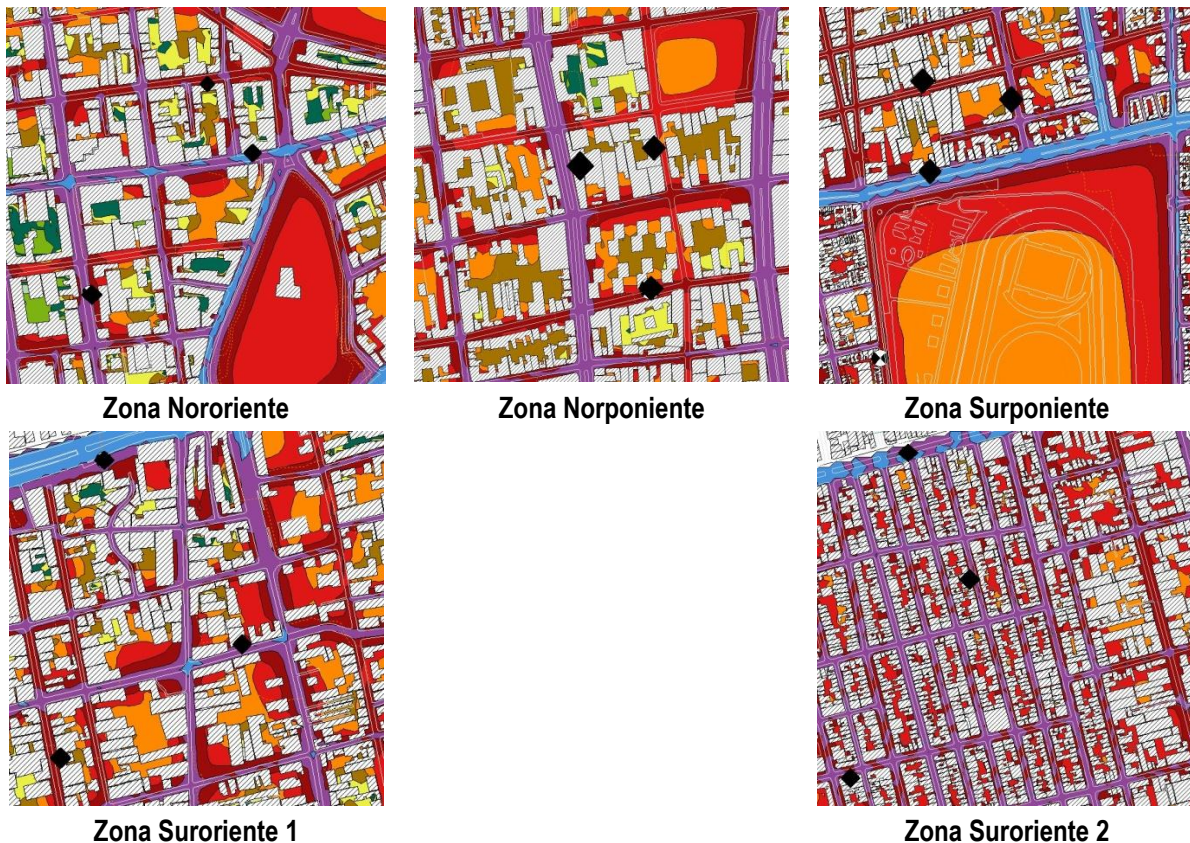


Fig. 34. Puntos Campaña de Terreno Preliminar.

Tabla 26. Comparación de Valores Medidos en Campañas de 2010 y 2011 en la Comuna de Santiago.

Nombre Vía	Año	Horario	N° Veh. Liv.	N° Veh. Pes.	N° Motos	Leq (dBA)	Ld (dBA)
Moneda Código 4.4	2010	H.Valle	113	0	3	63,6	64,9
		H.Punta	164	3	9	66,1	
	2011	H.Valle	123	1	0	64,1	64,7
			127	2	5	65,2	
			126	2	8	62,9	
		H. Punta	172	5	5	66,0	
Av. M.A. Matta Código 2.8	2010	H.Valle	535	17	13	73,2	74,0
		H.Punta	458	14	40	74,6	
	2011	H.Valle	479	18	25	72,9	73,0
			477	26	15	71,2	
			499	16	27	73,1	
		H. Punta	460	12	32	74,3	
Almte. Blanco Encalada Código 2.10	2010	H. Valle	440	24	11	73,0	74,4
		H. Punta	392	28	6	75,8	
	2011	H. Valle	416	18	19	73,7	73,9
			500	16	10	72,1	
			506	18	20	74,1	
		H. Punta	527	26	28	75,2	
Alameda Código 1.7	2010	H. Valle	630	43	33	71,7	73,2
		H. Punta	790	52	14	73,2	
	2011	H. Valle	485	32	25	71,1	71,9
			586	35	20	70,9	
			550	50	26	70,3	
			595	42	20	71,0	
Enrique McIver Código 3.7	2010	H. Valle	180	15	15	71,7	71,8
		H. Punta	190	25	10	70,2	
	2011	H. Valle	194	14	16	72,7	74,6
			208	14	22	73,7	
			183	21	22	76,3	
		H. Punta	205	20	25	74,8	

Se puede apreciar que las diferencias en los puntos son 0.2; 1.0; 0.5; 1.3 y 2.8 dBA respectivamente. Considerando que las mediciones se han realizado en años distintos, y observando que las distribuciones de flujo vehicular son relativamente similares (aunque en el punto 3.7 se tiene mucho más flujo, de motos principalmente, en la medición 2011, lo que puede explicar el mayor nivel de ruido), las diferencias parecen razonables en un contexto general.

En la siguiente tabla se presenta un análisis de los quince puntos medidos en esta campaña temprana y los valores que se reflejan en el mapa de ruido de la Comuna de Santiago [18]:

Tabla 27. Análisis de Mediciones de Campaña Temprana 2011 y Mapa de Ruido 2010 de la Comuna de Santiago.

Código	Nombre Vía	Categoría	Ld Medido 2011	Nivel Mapa
	R.Cumming	Servicio	70,8	70-75
1.7	Alameda	Troncal	71	70-75
2.10	Blanco Encalada	Troncal	73,9	70-75
	Tarapacá	Colectora	69,5	70-75
2.8	M.Matta	Troncal	73,0	70-75
3.7	Enrique Mc Iver	Troncal	74,6	70-75
	Merced	Colectora	74,0	70 - 75
4.4	Moneda	Local	64,7	65-70
	A. Prat	Colectora	65,7	65-70
	Victoria	Colectora	66,5	70 - 75
	Av. España	Servicio	66,8	65-70
	Monjitas	Servicio	67,3	65 - 70
	Maturana	Local	60,4	60-65
	Claudio Gay	Local	61,7	65-70
	Cuevas	Local	60,4	65 - 70

Se puede apreciar en la tabla anterior que diez de los quince puntos tienen valores medidos que corresponden a los reflejados en el mapa de ruido de la Comuna de Santiago 2010. De los cinco casos donde no ocurre esto, dos de ellos corresponden a diferencias de menos de 0,5 dBA, y los otros tres casos corresponden a diferencias de 3.5 dBA; 3.3 dBA y 4.6 dBA. Respecto a este último caso, la diferencia de niveles de ruido se explica por los datos de flujo vehicular en ambos años (en el 2010 son 273 v/h y en el año 2011 corresponden a 56 v/h). Todos estos casos corresponden a calles donde se asignaron flujos promedio para realizar el mapa de ruido.

Visto lo cercano de los niveles de ruido de ambas campañas, o al comparar el mapa de ruido 2010 con mediciones 2011, sólo queda suponer que la diferencias existentes obedecen a la apropiada asignación que se haga de cada vía a una categoría y a la exactitud del dato de flujo vehicular asociado.

3.1.3.5.4. Campaña de medición y etapa de terreno

Previo a la campaña de terreno, se realizó una reunión con el equipo a cargo de levantar información de terreno, donde se explicó los alcances de la información que levantarían en terreno en las diferentes zonas del Gran Santiago. Este equipo se dividió en dos grupos: aquellos encargados de mediciones de flujo vehicular y los encargados de mediciones acústicas. Básicamente, se les entregó un mapa impreso detallado con la clasificación de las vías por zonas, según información disponible a la fecha, además de la cantidad de mediciones por categoría y zona a realizar. Además, se entregó una ficha de medición diferenciada entre los dos grupos, con la finalidad de levantar información lo más detallada posible. Se diseñaron rutas que facilitaran el trabajo de terreno tomando en consideración que las vías de una misma categoría tienen un comportamiento similar en cuanto a flujo vehicular y nivel de ruido. El tiempo de muestreo para ambos tipos de mediciones fue de 15 minutos.

Para las mediciones acústicas, se adquirieron los siguientes descriptores: L_{eq} dB(A) (nivel de presión sonora continuo equivalente), L_{max} y L_{min} (nivel máximo y nivel mínimo), y niveles percentiles L_{10} , L_{50} y L_{90} (Anexo 4). Conjuntamente, durante cada medición acústica se realizó un conteo de vehículos. Se registraron datos de las características de la vía como ancho (m), velocidad de circulación (Km/h), distancia a la fachada más próxima (m), distancia al borde de la calzada (m), distancia entre líneas oficiales, entre otras. Todos estos datos se encuentran en el Anexo 4, al igual que las fotos de todos los puntos de medición. Los equipos utilizados para la campaña acústica fueron 2 sonómetros Rion NL-20 Tipo 2, debidamente calibrados, los cuales cumplen con la normativa IEC 61672.

Para las mediciones de flujo vehicular se contabilizaron vehículos livianos (automóviles particulares, camionetas, mini-buses, camiones chicos con un máximo de 2 ejes), vehículos pesados (buses interurbanos, buses urbanos, camiones de 2 ejes o más) y motos (motocicletas, scooter), además se registraron características de la vía como ancho (m), velocidad (Km/h), comuna, categoría, etc.

a) Selección de puntos para mediciones de flujo vehicular

En primer lugar, la jornada diaria se dividió en dos periodos horarios, Valle (09:00-18:00) y Punta (07:00-09:00/18:00-20:00) [16], donde se escogieron los puntos por categoría y zona.

Para los municipios en los que no fue posible contar con su información respecto a la clasificación vial, según REDEVU, fue el especialista del equipo consultor quien realizó una clasificación con los antecedentes disponibles, y que permitió llevar a buen término el proyecto.

En la tabla a continuación, se entrega la información en detalle de la cantidad de puntos de medición de flujo vehicular por zona, categoría y horario. El dato % H. Valle y % H. Punta corresponde al nivel de cumplimiento de las mediciones ofrecidas por cada zona, categoría y horario. De acuerdo a la distribución por zona y categoría, debido a la falta de información al momento de comenzar con la campaña de terreno, algunos puntos debieron ser redistribuidos como se indica. El detalle de las vías con sus respectivos flujos para las diferentes categorías se incluye en el Anexo 2.

Tabla 28. Resumen mediciones de flujo vehicular según Zona, tipo de Vía y periodo Horario del Gran Santiago.

Zona	Tipo de Vía	Propuestas H. Valle	Realizadas H. Valle	Propuestas H. Punta	Realizadas H. Punta	% H. Valle	% H. Punta
Zona Norte	Expresas	2	2	1	1	100,0	100,0
	Troncales	17	9	5	4	188,9	125,0
	Colectoras	12	13	7	6	92,3	116,7
	Servicio	10	9	3	4	111,1	75,0
	Locales	17	22	14	11	77,3	127,3
Zona Nor-Oriente	Expresas	3	4	1	2	75,0	50,0
	Troncales	23	22	13	11	104,5	118,2
	Colectoras	50	32	23	16	156,3	143,8
	Servicio	1	23	1	11	4,3	9,1
	Locales	61	56	31	28	108,9	110,7
Zona Nor-Poniente	Expresas	2	1	0	1	200,0	0,0
	Troncales	6	6	3	3	100,0	100,0
	Colectoras	10	10	5	5	100,0	100,0
	Servicio	6	6	3	3	100,0	100,0
	Locales	16	17	10	9	94,1	111,1
Zona Sur-Poniente	Expresas	4	2	2	1	200,0	200,0
	Troncales	9	9	7	4	100,0	175,0
	Colectoras	14	13	4	6	107,7	66,7
	Servicio	13	9	4	4	144,4	100,0
	Locales	22	22	9	11	100,0	81,8
Zona Sur-Oriente	Expresas	2	3	2	2	66,7	100,0
	Troncales	20	17	12	9	117,6	133,3
	Colectoras	31	25	17	13	124,0	130,8
	Servicio	10	18	5	9	55,6	55,6
	Locales	52	44	24	22	118,2	109,1
Zona Sur	Expresas	1	3	0	1	33,3	0,0
	Troncales	19	15	6	7	126,7	85,7
	Colectoras	27	22	16	11	122,7	145,5
	Servicio	6	15	5	8	40,0	62,5
	Locales	46	38	14	19	121,1	73,7
TOTAL		512	487	247	242		

b) Selección de puntos para mediciones de niveles de ruido

Las mediciones de niveles de ruido se realizaron en horario Valle. A continuación, se entrega la información general de la cantidad de puntos de medición de niveles de ruido por zona y categoría.

El detalle de las mediciones de ruido realizadas en el estudio se incluye en el Anexo 4.

De acuerdo a la distribución por zona y categoría, debido a la falta de información al momento de comenzar con la campaña de terreno, se realizaron algunos ajustes, los cuales se incluyen en el cuadro siguiente.

Tabla 29. Resumen de mediciones acústicas según Zona y tipo de Vía del Gran Santiago.

Zona	Tipo de Vía	Propuestas H. Valle	Realizadas H. Valle	Cumplimiento de % H. Valle
Zona Norte	Expresas	1	0	0,0
	Troncales	3	8	266,7
	Colectoras	4	3	75,0
	Servicio	3	3	100,0
	Locales	7	4	57,1
Zona Nor-Oriente	Expresas	1	1	100,0
	Troncales	6	10	166,7
	Colectoras	9	16	177,8
	Servicio	7	1	14,3
	Locales	16	13	81,3
Zona Nor-Poniente	Expresas	1	1	100,0
	Troncales	2	2	100,0
	Colectoras	3	3	100,0
	Servicio	2	2	100,0
	Locales	5	5	100,0
Zona Sur-Poniente	Expresas	1	1	100,0
	Troncales	3	4	133,3
	Colectoras	4	6	150,0
	Servicio	3	4	133,3
	Locales	7	8	114,3
Zona Sur-Oriente	Expresas	1	0	0,0
	Troncales	5	7	140,0
	Colectoras	8	9	112,5
	Servicio	5	3	60,0
	Locales	13	14	107,7
Zona Sur	Expresas	1	0	0,0
	Troncales	4	5	125,0
	Colectoras	6	7	116,7
	Servicio	4	2	50,0
	Locales	11	10	90,9
	TOTAL	146	152	

c) Estimación de velocidad

Se realizaron medidas durante la campaña de mediciones de flujo vehicular a lo largo de las categorías viales expresas y troncales donde fue posible transitar junto al grupo de vehículos, según el método basado en la técnica GPS llamada vehículo flotante [28]. La técnica básicamente consiste en transitar con el grupo de vehículos que circulan por la vía a una velocidad "cruce" e ir adquiriendo con el dispositivo un registro por tramo de la vía.

En las otras categorías no es posible seguir una velocidad con un "grupo" de vehículos, así que se estimó la velocidad de acuerdo al tiempo que demora el vehículo en recorrer dos puntos de distancia conocida.

Por otro lado, el modelo de predicción a utilizar (RLS-90) incluye en sus variables la velocidad máxima permitida para cada vía. Las velocidades de diseño para cada tipo de vía, en este caso, están definidas por la OGUC. Visto lo anterior, se realizó una comparación entre los valores promedios estimados para cada categoría, y el rango de velocidades de diseño. Además, se analizaron 170 datos de medición de flujos realizados para la SECTRA [32], para vehículos livianos (se analizó información de los 15 puntos base y los otros 50 puntos). Este análisis se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 30. Comparación velocidades de diseño y estimadas, por tipo de vía.

Categoría	Velocidad de Diseño según OGUC [Km/h]	Promedio Estimado en Terreno [Km/h]	Promedio Medido Datos Estudio SECTRA Veh. Livianos [Km/h]	Valor Promedio Utilizado en Modelación [Km/h]
Expresa	80 - 100	80	-	80
Troncal	50 - 80	47,0	44,1	50
Colectora	40 - 50	45,7	44,5	45
Servicio	30 - 40	40,0	46,3	40
Local	20 - 30	36,0	38,0	30

Se aprecia que existe bastante cercanía entre los valores promedio estimados en terreno y aquellos de diseño. Por esto mismo, se optó por un criterio de selección de velocidades de modelación donde se escogió el valor promedio estimado (cuando coincide con el rango de la OGUC), el valor mayor o menor de diseño, cuando la estimación en terreno fue mayor o menor que el rango de diseño, según corresponde, y el valor medio del rango de diseño cuando el valor estimado se acercó a éste.

3.1.3.5.5. Modelación de Tránsito de Trenes

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. La posibilidad de incluir esta fuente sonora en la modelación de ruido ambiental ha dependido de los datos disponibles durante la ejecución del estudio, que corresponde al Metro y al Metro-Tren.

a) METRO

Se modela la red de metro que transita sobre la superficie, tanto a nivel de suelo (líneas 1, 2, 4 y 4A), como por vía elevada (línea 5). Se han utilizado los siguientes parámetros asociados:

- Red ferroviaria (capa shape), proporcionada por SECTRA en Fase III [18]. La data de esta información es del año 2007, por lo que se agrega a la red, la línea 5 hacia la comuna de Maipú.
- Frecuencia y velocidades comerciales de circulación de trenes, según información entregada (se entrega a modo de ejemplo), de frecuencia por horas.

Tabla 31. Ejemplo de distribución de frecuencias de trenes

Línea 5 QN-PM					
Horario (Horas)		Cantidad y Frecuencia (Trenes)			
De	A	Vía 1	TELL (min)	Vía 2	TELL (min)
6	7	17	3,5	19	3,2
7	8	24	2,5	24	2,5
8	9	23	2,6	24	2,5
9	10	23	2,6	21	2,9
10	11	15	4,0	15	4,0
11	12	16	3,8	14	4,3
12	13	15	4,0	16	3,8
13	14	15	4,0	15	4,0
14	15	16	3,8	15	4,0
15	16	15	4,0	16	3,8
16	17	16	3,8	14	4,3
17	18	20	3,0	21	2,9
18	19	22	2,7	22	2,7
19	20	24	2,5	24	2,5
20	21	23	2,6	23	2,6
21	22	24	2,5	23	2,6
22	23	20	3,0	21	2,9
23	24	4	15,0	12	5,0

*TELL: TIEMPO ENTRE LLEGADAS

El número de trenes diario se toma a partir de la información indicada anteriormente. Para el caso particular de la extensión de línea 5 de Metro hacia Maipú (vía elevada), en horario diurno corresponde a 309 y 306 trenes para cada vía.

Con respecto a la velocidad circulación se toma en consideración la siguiente información:

Tabla 32. Cuadro de velocidades de líneas de METRO

	Jan 11	Feb 11	Mrz 11
Velocidad Comercial PAM			
Línea 1	26,75	25,99	25,69
Línea 2	37,34	37,03	35,68
Línea 4A	44,29	45,20	43,99
Línea 4	38,25	39,23	36,46
Línea 5	37,50	36,09	36,31
Velocidad Comercial Programada Punta AM			
Línea 1	[23 - 25]	[23 - 25]	[23 - 25]
Línea 2	[34 - 36]	[34 - 36]	[34 - 36]
Línea 4A	[41 - 43]	[41 - 43]	[41 - 43]
Línea 4	[35 - 37]	[35 - 37]	[35 - 37]
Línea 5	[35 - 37]	[35 - 37]	[35 - 37]
Velocidad Comercial Punta PM			
Línea 1	26,38	26,49	24,79
Línea 2	36,29	36,62	35,38
Línea 4A	45,06	44,01	43,88
Línea 4	38,61	38,90	37,72
Línea 5	34,35	34,51	33,52
Velocidad Comercial PUNTA Prom			
Línea 1	26,57	26,24	25,24
Línea 2	36,82	36,83	35,53
Línea 4A	44,68	44,61	43,93
Línea 4	38,43	39,07	37,09
Línea 5	35,93	35,30	34,92

Se observa un poco variabilidad con respecto a la velocidad de circulación, asignándose valores resaltados en color rojo.

Con respecto al largo de los trenes, se utiliza los siguientes largos dependiendo de la línea (trenes en línea 5 son los más cortos, seguidos por líneas 4, 2 y 1 respectivamente).



Fig. 35. Largo de trenes para efectos de modelación.

Dado que en esta etapa la inclusión de fuentes relacionadas con trenes fue realizada por primera vez, se utiliza el modelo alemán Schall 03. La razón de escoger de 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. En particular, el modelo Schall 03 incluye explícitamente dentro de las clases de trenes a una categoría denominada Metro. Solo los modelos SRM II y Schall 03 tienen dentro de sus categorías de trenes al Metro. Se realizó una prueba entre los dos modelos, observándose que los valores medidos (mediciones en cercanías de la estación metro Ñuble) se acercaban más al modelo Schall 03.

Para el caso de ruido de Metrotren se utiliza como información el flujo diario y velocidad determinada a partir de información de itinerarios y tiempo de llegada entre estaciones. En el software fue utilizada la categoría (clase) correspondiente a trenes eléctricos del tipo expreso.

Se realizaron mediciones en cercanías de Estación Ñuble de la Línea 5, a una distancia de 3 metros, del paso de los trenes. La medición de niveles de ruido considera el registro de niveles máximos debido al paso de los vagones. 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). De un conjunto de mediciones realizadas, se ha considerado como representativa la medición llevada a cabo en horario punta (19:45 hr; 24-11-2011), de Leq 74,1 dB(A). Distancia a fuente sonora 3m, duración del registro 8 s (paso del tren, descartando ruido ambiente producto de la ausencia de esta fuente), y coordenadas del punto 349046.48 m E; 6295641.24 m 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 Metro 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 velocidad (determinada a partir de información según Metro), se ingresaron al modelo utilizando la categoría correspondiente a Metro según modelo de emisión alemán Schall 03.

El software entregó un valor modelado para esta situación de 74,1 dB(A), y la medición registrada para este mismo escenario fue de 74,7 dB(A) a 3 m paso tren Metro. Se observa que variaciones entre niveles medidos y modelados alcanzan diferenciadas menores a 1 dB(A), por lo cual la utilización de la categoría **Metro** del modelo Schall 03 entrega un buen comportamiento respecto a los niveles modelados según la información de Metro de Santiago.

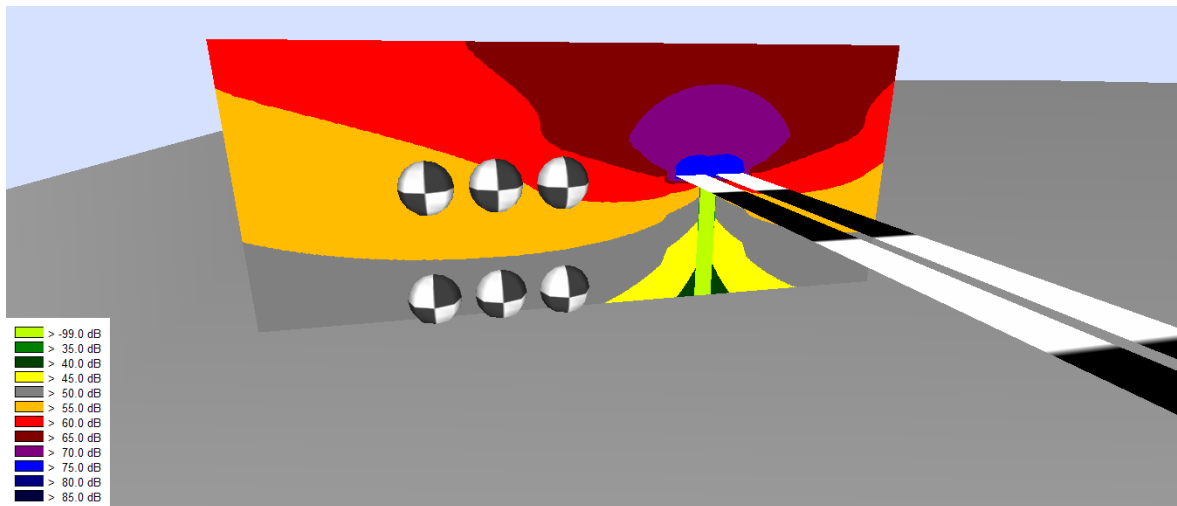


Fig. 36 Ejemplo de distribución de niveles de ruido en torno a una línea de metro elevada, mediante el modelo Schall 03.

b) RED METROTREN

Se utilizó la información disponible en el sitio web de Metrotren, la cual consiste en los itinerarios de lunes a viernes en dirección hacia y desde la Alameda (dos sentidos).

Se pudo determinar que el promedio diario es de 25 viajes por día para cada vía (50 viajes en total). La velocidad de circulación se determinó de acuerdo a los tiempos de llegada entre estaciones del núcleo urbano de Santiago (Stgo – San Bernardo), debido a que pasado el Río Maipo, la velocidad aumenta notoriamente. La velocidad corresponde a 70 Km/hr.

En cuanto al ferrocarril, debido a la variabilidad de itinerarios y la falta de información, no fue posible considerarlos en la generación de los mapas de ruido.

Para el caso de Metrotren, se utilizó como fuente de referencia la información extraída de tabla 4.23 de estudio Fase I [1], en donde se señalan niveles referenciales de ruido de trenes. El valor considerado corresponde al de locomotora eléctrica (red de Metrotren dispone de trenes de este tipo), cuyos valores referenciales son un SEL de 90 dB(A) y 86 Lmax dB(A) a 15 m de distancia. Comparando este valor con la categoría utilizada para trenes de la red Metrotren en el software de modelación, se asume el desplazamiento continuo de trenes sobre la vía, lo que implica un número diario de trenes igual a 50.400. La longitud y velocidad promedio de circulación son extraídas a partir de información publicada en Internet (trenes modelo UT440) y tiempo en el que se demora en llegar a cada estación.

El software entregó un valor modelado para esta situación con el modelo Schall 03 a 15 m de 86,8 dB(A), y el dato de referencia para este mismo escenario es de Lmax 86 dB(A) a 15 m. Se observa la existencia de una correspondencia entre valores entregados mediante el uso de niveles de referencia con respecto al uso de la categoría denominada **Expreso** en el modelo alemán Schall 03.

3.1.3.6. Relación entre mediciones acústicas y flujos vehiculares

Para estudiar la relación entre flujo y las mediciones de ruido, se realizó un análisis de regresión para determinar que modelos mejor se ajustaban, tanto a las observaciones en hora punta como en hora valle. Este análisis sólo tiene el fin de mostrar la relación entre el flujo vehicular y los niveles de ruido medidos, con intenciones didácticas. No constituye un modelo de predicción de ruido de tránsito para el Gran Santiago.

A continuación se muestran el resumen de ambas bases de datos. En el Horario Punta se cuenta con 11 observaciones en tanto que en el Horario Valle se cuenta con 318 observaciones. El término "N° Veh_ Eq_ _60_" corresponde a vehículos equivalentes por hora, y "Leq_dBA" al nivel de presión sonora continuo equivalente.

Tabla 33. Cuadro resumen de análisis de datos de flujo vehicular y mediciones acústicas en Horario Punta.

Hora Punta		
	N° Veh_ Eq_ _60_	Leq_dBA_
Recuento	11	10
Promedio	632	65,3
Desviación Estándar	861	5,3

Tabla 34. Cuadro resumen de análisis de datos de flujo vehicular y mediciones acústicas en Horario Valle.

Hora Valle		
	N° Veh_ Eq_ _60_	Leq_dBA_
Recuento	318	293
Promedio	1.182	67,3
Desviación Estándar	1.144	6,1

3.1.3.6.1. Ajuste modelo para Hora Punta.

La siguiente tabla muestra el resumen de la comparación de distintos modelos para los datos en hora punta, en el podemos observar que los mejores ajustes se producen con los modelos "cuadrado -Y Log X y Logaritmo de X, con 86,77 y 86,51% de ajuste. Esto significa que el grado de explicación del flujo sobre la predicción de las mediciones alcanza dichos porcentajes, las gráficas siguientes muestran estos ajustes con sus respectivas bandas de confianza y predicción.

Tabla 35. Cuadro resumen de ajuste de comparación de distintos modelos en Horario Punta.

Ajuste Hora Punta	r	R²
Cuadrado-Y Log-X	0,9315	86,77%
Logaritmo de X	0,9301	86,51%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	0,929	86,30%
Multiplicativa	0,9276	86,04%
Inversa-Y Log-X	-0,924	85,39%

Gráfico del Modelo Ajustado- Hora Punta

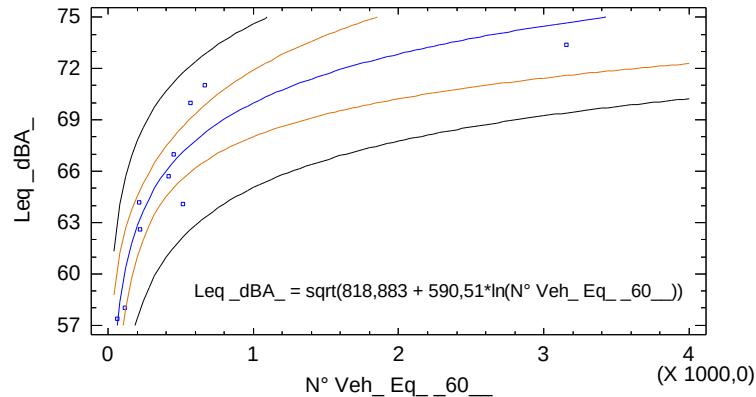


Fig. 37. Ajuste modelo Cuadrado Y Log X – Hora Punta

Se observa en los resultados al ajustar un modelo Y-cuadrada log-X para describir la relación entre $Leq_dBA_$ y $N^\circ Veh_Eq_60_$. La ecuación del modelo ajustado es

$$Leq_dBA_ = \sqrt{818,883 + 590,51 \cdot \ln(N^\circ Veh_Eq_60_)}$$

Puesto que el $p < 0,05$, existe una relación estadísticamente significativa entre $Leq_dBA_$ y $N^\circ Veh_Eq_60_$ con un nivel de confianza del 95,0%. El coeficiente de determinación R^2 indica que el modelo ajustado explica 86,77% de la variabilidad en $Leq_dBA_$. El coeficiente de correlación es igual a 0,931504, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 264,42.

Gráfico del Modelo Ajustado- Hora Punta

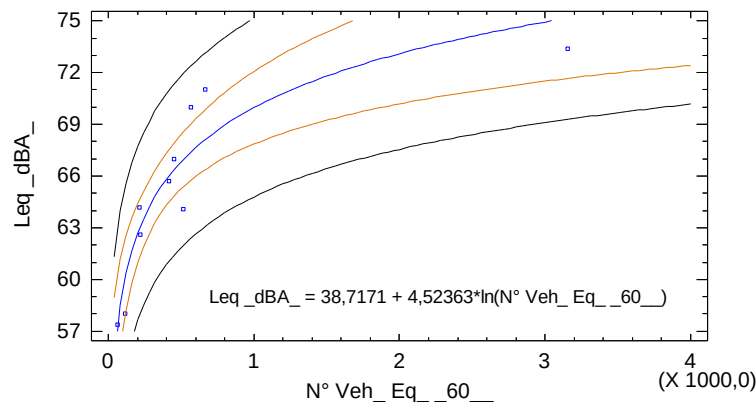


Fig. 38. Ajuste modelo Logarítmico Log X – Hora Punta

Se aprecian los resultados de ajustar un modelo log-X para describir la relación entre Leq_dBA_y $N^\circ Veh_Eq_60_$. La ecuación del modelo ajustado es

$$Leq_dBA_ = 38,7171 + 4,52363 \cdot \ln(N^\circ Veh_Eq_60_)$$

Puesto que $p < 0,05$, existe una relación estadísticamente significativa entre Leq_dBA_y $N^\circ Veh_Eq_60_$ con un nivel de confianza del 95,0%.

El coeficiente de determinación R^2 indica que el modelo ajustado explica 86,5% de la variabilidad en $Leq_dBA_$ después de transformar a una escala $Y/(1-Y)$ para linealizar el modelo. El coeficiente de correlación es igual a 0,930085, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 2,04884. El error absoluto medio (MAE) de 1,51051 es el valor promedio de los residuos.

3.1.3.6.1. Ajuste modelo para Hora Valle

La siguiente tabla muestra el resumen de la comparación de distintos modelos para los datos en Hora Valle. Se puede observar que los mejores ajustes se producen con los modelos “multiplicativo” y “Logaritmo de X”, con 88,37 y 87,73% de ajuste. Esto significa que el grado de explicación del flujo sobre la predicción de las mediciones alcanza dichos porcentajes. Las gráficas siguientes muestran estos ajustes con sus respectivas bandas de confianza y predicción.

Tabla 36. Cuadro resumen de ajuste de comparación de distintos modelos en Horario Valle.

Hora Valle		
Modelo	r	R^2
Multiplicativa	0,94	88,37%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	0,9386	88,11%
Logaritmo de X	0,9366	87,73%
Cuadrado-Y Log-X	0,9308	86,64%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0,8764	76,81%

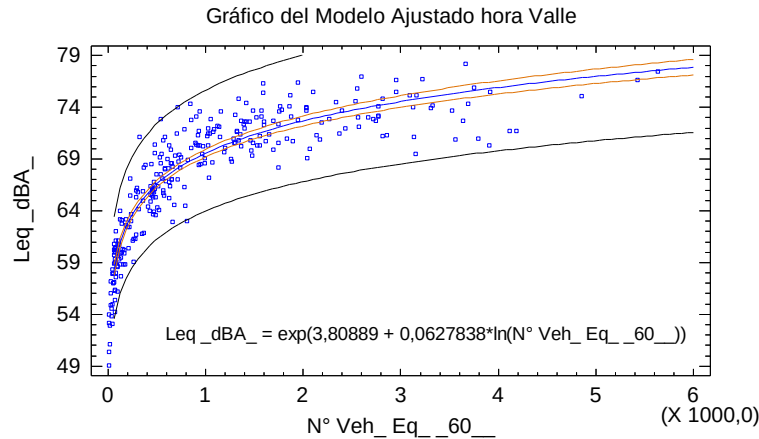


Fig. 39 Ajuste modelo Multiplicativo Hora Valle

Se observa los resultados de ajustar un modelo multiplicativo para describir la relación entre Leq_dBA_ y N° Veh_ Eq_ _60__. La ecuación del modelo ajustado es

$$Leq_dBA_ = \exp(3,80889 + 0,0627838 \cdot \ln(N^\circ Veh_Eq_ _60_))$$

ó

$$\ln(Leq_dBA_) = 3,80889 + 0,0627838 \cdot \ln(N^\circ Veh_Eq_ _60_)$$

Puesto que el $p < 5$, existe una relación estadísticamente significativa entre Leq_dBA_ y N° Veh_ Eq_ _60__ con un nivel de confianza del 95,0%.

El R^2 indica que el modelo ajustado explica 88,3655% de la variabilidad en Leq_dBA_. El coeficiente de correlación es igual a 0,940029, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,0322788. El error absoluto medio (MAE) de 0,025752 es el valor promedio de los residuos.

Gráfico del Modelo Ajustado hora Valle

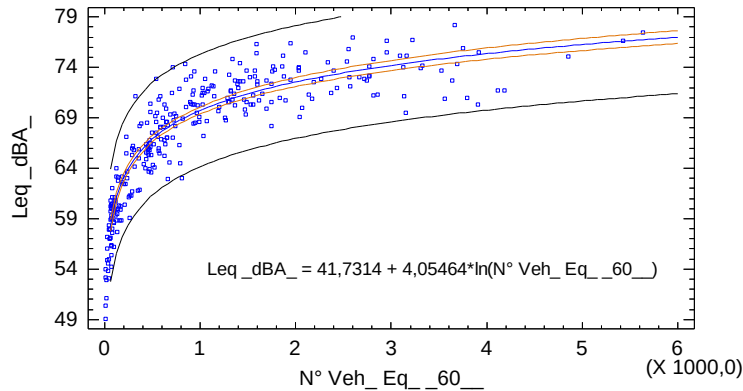


Fig. 40. Ajuste modelo log-X Hora Valle

Se puede observar salida muestra los resultados de ajustar un modelo log-X para describir la relación entre Leq_dBA_ y N° Veh_ Eq_ _60_. La ecuación del modelo ajustado es

$$Leq_dBA_ = 41,7314 + 4,05464 \cdot \ln(N^\circ Veh_Eq__{60_})$$

Puesto que el $p < 0,05$, existe una relación estadísticamente significativa entre Leq_dBA_ y N° Veh_ Eq_ _60_ con un nivel de confianza del 95,0%.

El R^2 indica que el modelo ajustado explica 87,7263% de la variabilidad en Leq_dBA_ después de transformar a una escala $Y/(1-Y)$ para linealizar el modelo. El coeficiente de correlación es igual a 0,936623, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 2,14889. El error absoluto medio (MAE) de 1,71991 es el valor promedio de los residuos.

Finalmente, vistos estos análisis, puede resultar de interés tener presente las siguientes ecuaciones de predicción de ruido por tránsito vehicular (tipo modelo "Log x"), que destacan por su sencillez y bajo error:

$$Leq = 41,7314 + 4,05464 \ln(Qe) \quad \text{Para Hora Valle}$$

$$Leq = 38,7171 + 4,52363 \ln(Qe) \quad \text{Para Hora Punta}$$

El término Qe corresponde a vehículos equivalentes por hora, vale decir, donde los vehículos pesados valen 7 vehículos livianos y las motos 2 vehículos livianos.

3.1.3.7. Mediciones acústicas

Según lo indicado en el punto 3.1.3.5.4., se realizaron 152 mediciones acústicas, las que se analizaron en conjunto con las mediciones de la Fase II y Fase III [16] [18], que fueron pertinentes de incluir, es decir, aquellas que corresponden a la zona de estudio y que permitieran realizar comparaciones entre mediciones y modelación de manera apropiada.

En esta apartado se han considerado una comparación entre valores de ruido medidos y valores modelados con el promedio de la categoría, y no con el valor del flujo del punto de medición acústica. Este aspecto es sumamente relevante, pues permite comparar mediciones reales con los valores que se han proyectado en el mapa de ruido entregado. Por lo tanto, las diferencias que se pueden apreciar corresponden fundamentalmente a las diferencias entre el flujo asignado a la calle (por su categoría), y el flujo existente en el momento de la medición de la vía.

El total de datos analizados corresponde a 191 mediciones, que se encuentran en el Anexo 4. Los datos presentaron las siguientes características:

Tabla 37. Comparación entre modelación y mediciones

Categoría	Cantidad de datos	Leq Promedio Medido	Leq Promedio Modelado	Promedio Diferencia Absoluta	Desviación Estándar Diferencia Absoluta
Expresa	4	73,3	75,0	1,7	1,1
Troncal	80	71,8	72,9	1,5	1,4
Colectora	59	68,4	70,1	2,1	1,7
Servicio	19	66,5	68,1	2,6	3,1
Local	29	61,2	62,2	3,1	3,3

Se puede apreciar que existe una tendencia a la disminución de niveles de ruido promedio en categorías de vías de menor flujo, tanto en la medición como en la modelación. Por otro lado, a medida que disminuyen los flujos vehiculares por categoría, aumentan las diferencias y su desviación estándar.

También se observa que las diferencias promedios y sus desviaciones son bastantes aceptables al comparar los datos medidos y modelados, en consideración de la gran superficie de estudio y la diversidad de tipos de vías involucradas.

En la siguiente figura se muestra la distribución de las diferencias entre valores medidos y modelados, por tipo de vía.

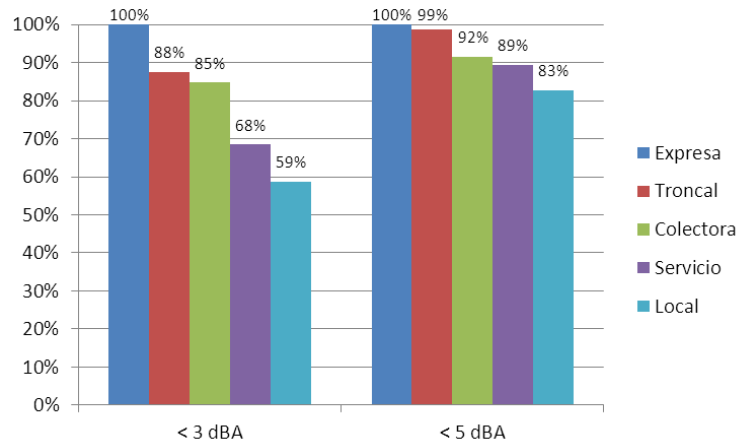


Fig. 41. Comparación entre modelación y mediciones por tipo de vía.

Se puede observar que los valores modelados se acercan más a los valores medidos en aquellas vías con mayor tránsito vehicular. En las vías con bajo flujo se observa, como es de esperar, una mayor diferencia entre los datos modelados y medidos. En estas categorías, como la categoría Local, se registraron flujos vehiculares considerablemente bajos en algunos casos, en comparación al promedio de la categoría, lo que explica las mayores diferencias entre los datos acústicos. Para futuros estudios se deja planteado considerar la posibilidad de definir un criterio que permita subdividir de la categoría Local, por ejemplo, en Local Flujo Alto y Local Flujo Bajo. Además, debería considerarse la posibilidad de extender por mayor tiempo la medición de flujo vehicular en estas vías, de manera de permitir datos promedios diarios.

3.1.4. Mapa de Ruido

El mapa de ruido se entrega como una nueva cobertura *shapefile*, de acuerdo a las Especificaciones Técnicas para Nuevos Productos Cartográficos del Ministerio del Medio Ambiente, incluyendo la respectiva *Metadata*.

Para la realización de los mapas de ruido, las calles (fuentes sonoras) incluidas en la generación de los mapas, fueron consideradas de acuerdo al listado de clasificación de vías confeccionado a partir de la información entregada por las municipalidades, los Instrumentos de Planificación Territorial y otras fuentes disponibles durante el desarrollo del estudio.

Para los municipios, en los cuales no fue posible adquirir información respecto a la clasificación vial, según REDEVU, fue el especialista del equipo consultor quien realizó una clasificación mediante al análisis de la red vial estructurante comunal. Así, se adoptó un procedimiento para poder complementar esa información, principalmente en base a la identificación de las características de funcionalidad de las vías, ante la imposibilidad de conocer datos de diseño físico de las mismas.

El procedimiento se puede resumir en los siguientes pasos:

- a) Contar con la cartografía digital de las vías urbanas del Gran Santiago. Se utilizaron coberturas del proyecto OTAS, otras de la SECTRA y otras entregadas por los municipios, con el objetivo de tener la red completa y conocer la funcionalidad de las vías especialmente lo referente a en la identificación de la **vías expresas** (autopistas, carreteras urbanas) de conexión interregional e intercomunal, así como identificar las principales vías intercomunales como las **vías troncales** que permiten establecer la conexión entre las diferentes zonas urbanas de una intercomuna. Dada la similitud de las características de las **vías colectoras** y **vías de servicios**, estas se agruparon como colectoras, y la principal funcionalidad de ellas es la distribución entre la residencia y los centros de empleo y de servicios, y de repartición y/o captación hacia o desde la trama vial de nivel inferior.
- b) Todas las vías de nivel inferior a las identificadas anteriormente se caracterizaron como **vías locales**.
- c) En algunos casos para identificar el nombre de las vías se requirió el apoyo de portales de identificación de calles como Mapcity <http://mapcity.cl/>, también se usó el Observatorio de Planificación Territorial de GORE RM <http://observatorio.gorerm.cl/>, y para resolver dudas específicas se recurrió también a las páginas web de los municipios, que en algunos casos cuentan con la cartografía y la definición de características de las vías.
- d) El análisis se realizó por comuna, considerando la totalidad de sus vías e identificando la tipología antes indicada, considerando las vías de toda la intercomuna para definir las expresas, troncales y colectoras que tienen carácter intercomunal principalmente.
- e) Luego de contar con la cartografía se realiza una tabla con las vías identificadas por comuna en la cartografía, se agrega el campo "tipo" y se les asocia la tipología definida para cada vía.

- f) Posteriormente se revisa en SIG la tipología definida buscando corregir posibles incoherencias y complementando vías que del análisis por comuna pudieran quedar discontinuadas.

Toda esta información abasteció los procesos posteriores de modelación, que conforman los productos de este trabajo. Con esos criterios se pudo complementar la información y llevar a buen término el proyecto.

La información de la trama vial utilizada como base, corresponde a un archivo “shape” de vías de la Región Metropolitana proporcionado por SECTRA en Fase III [18]. Como esta información corresponde al año 2007, es posible que en algunos casos muy puntuales, al asignar la clasificación a las calles por comuna, algunas calles no aparecieran en el shape de vías, y no se pudieron modelar.

En la tabla siguiente se explica el proceso que permitió elaborar el mapa de ruido, según las vías, su clasificación y posterior modelación. Es necesario comentar que el número de segmentos de calles no está necesariamente relacionado con la cantidad de calles por comuna. Por ejemplo, en la comuna de San Bernardo los segmentos estaban unidos y cada calle correspondió precisamente a un segmento, sin embargo, en casi la totalidad de las otras comunas cada calle está conformada por más de un segmento. Visto lo anterior, cada segmento no representa una calle necesariamente, y los datos en la tabla sirven para tener una primera referencia. Por otro lado, aquellas calles (o segmentos) sin clasificar, se han asumido como vías Locales. No se han incluido pasajes y calles sin salida en la modelación.

Tabla 38. Clasificación de vías y proceso de modelación por comuna.

Comuna	Total Segmentos de Calles	Calles sin Clasificar	Observación	Fuente de Información Vías
Vitacura	3648	0	Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por Municipio
Santiago	4544	364	Vías de tipo Pasaje según SECTRA, no se considera en modelación	Shape proporcionado por SECTRA, usado en estudio Fase III
Providencia	1818	0		Shape proporcionado por Municipio, usado en estudio Fase II
Ñuñoa	4117	1060	Vías de tipo Pasaje según SECTRA, no se considera en modelación. Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por SECTRA (información Fase III)
Las Condes -	9435	1153	Vías de tipo Pasaje según SECTRA, no se considera en modelación	Shape proporcionado por SECTRA (información Fase III)
Lo Barnechea			Vías sin clasificación se consideran Locales	
La Reina	3363	1005	Vías de tipo Pasaje según SECTRA, no se considera en modelación Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por SECTRA (información Fase III)

Comuna	Total Segmentos de Calles	Calles sin Clasificar	Observación	Fuente de Información Vías
Independencia	1718	165	Vías de tipo Pasaje según SECTRA, no se considera en modelación Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por SECTRA (información Fase III)
Conchalí	3701	1523	Vías de tipo Pasaje según SECTRA, no se considera en modelación Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por SECTRA (información Fase III)
Huechuraba	2369	606	Vías de tipo Pasaje según SECTRA, no se considera en modelación Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por SECTRA (información Fase III)
Quilicura	3685	1368	Vías de tipo Pasaje según SECTRA, no se considera en modelación Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por SECTRA (información Fase III)
Recoleta	3531	868	Vías de tipo Pasaje según SECTRA, no se considera en modelación Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por SECTRA (información Fase III)
Cerro Navia	1663	0		Shape proporcionado por Municipio
Renca	3209	0	Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por Municipio
Lo Prado	1863	839	Vías de tipo Pasaje según SECTRA, no se considera en modelación Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por Municipio
Pudahuel	8595	6965	Se indica explícitamente calles sin clasificación	Shape proporcionado por Municipio
Maipú	8473	0	Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por SECTRA (información Fase III)
Cerrillos	3756	1169	Vías de tipo Pasaje según SECTRA, no se considera en modelación Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por SECTRA (información Fase III)
Estación Central	3346	1080	Vías de tipo Pasaje según SECTRA, no se considera en	Shape proporcionado por SECTRA (información

Comuna	Total Segmentos de Calles	Calles sin Clasificar	Observación	Fuente de Información Vías
			modelación Vías sin clasificación se consideran Locales	Fase III)
Quinta Normal	2247	385	Vías de tipo Pasaje según SECTRA, no se considera en modelación Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por SECTRA (información Fase III)
El Bosque	2862	0	Vías sin clasificación se consideran Locales. Pasajes se eliminan	Shape proporcionado por SECTRA (información Fase III)
La Cisterna	1564	0	Vías sin clasificación se consideran Locales. Pasajes se eliminan	Shape proporcionado por SECTRA (información Fase III)
La Granja	3783	1185	Vías de tipo Pasaje según SECTRA, no se considera en modelación Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por SECTRA (información Fase III)
La Pintana	1642	0	Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por Municipio
Lo Espejo	675	0		Shape proporcionado por Municipio
Pedro Aguirre Cerda	1608	546	Vías de tipo Pasaje según SECTRA, no se considera en modelación Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por Municipio
San Bernardo	1091	0	Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por Municipio
San Joaquín	1898	385	Vías de tipo Pasaje según SECTRA, no se considera en modelación Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por SECTRA (información Fase III)
San Miguel	1708	127	Vías de tipo Pasaje según SECTRA, no se considera en modelación Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por SECTRA (información Fase III)
San Ramón	2064	618	Vías de tipo Pasaje según SECTRA, no se considera en modelación Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por SECTRA (información Fase III)

Comuna	Total Segmentos de Calles	Calles sin Clasificar	Observación	Fuente de Información Vías
La Florida	6398	0	Vías sin clasificación se consideran Locales. Se incluyen pasajes en modelación No fue posible separar de forma automatizada calles y pasajes, para eliminar pasajes en modelación	Shape proporcionado por Municipio
Macul	3075	775	Vías de tipo Pasaje según SECTRA, no se considera en modelación Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por SECTRA (información Fase III)
Peñalolén	5759	1548	Vías de tipo Pasaje según SECTRA, no se considera en modelación Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por SECTRA (información Fase III)
Puente Alto	13780	5747	Vías de tipo Pasaje según SECTRA, no se considera en modelación Vías sin clasificación se consideran Locales	Shape proporcionado por SECTRA (información Fase III)

En virtud de lo anterior, es posible observar que algunas comunas dentro de las macro zonas utilizadas para este trabajo tienen un grado de mayor detalle (mayor número de calles consideradas en las clasificaciones viales). Si bien no es una situación que altere el mapa del Gran Santiago debido a la escala en la que se trabaja, existe la tentación de realizar un análisis a nivel municipal, que pudiera contener calles no clasificadas directamente por el municipio. En este sentido, se debe indicar que el mapa de ruido obtenido para la ciudad de Santiago no corresponde a la suma de mapas de ruido por comunas, sino a un proceso de análisis general de la situación acústica de la ciudad en su conjunto. Los mapas de ruido de municipios requieren un detalle de información y una escala de trabajo que demandan un trabajo más detallado al realizado en este proyecto.

La clasificación de las vías de un municipio constituye la información básica que permitirá obtener una buena modelación acústica para esa superficie de estudio. Si la información base es incompleta, o si la clasificación de la vía no corresponde estrictamente al uso que se le da en la práctica a una determinada vía, es probable que esta diferencia de información comprometa la calidad de la modelación acústica.

De esta manera, también la cobertura de calles y edificaciones debe estar actualizada, pues si en la información base no figura una calle, ésta no podrá ser modelada.

Los aspectos antes comentados son extremadamente relevantes al observar el mapa de ruido del Gran Santiago producto de este proyecto. En rigor, este mapa de ruido es un buen mapa a escala de la ciudad completa, pero no constituye una suma de mapas comunales. Los municipios podrán avanzar en la revisión en detalle de los antecedentes utilizados para el mapa, especialmente la clasificación vial que se utilizó y la cartografía base.

Es conveniente comentar que, en cuanto a los límites de las macrozonas consideradas, en algunos municipios como Maipú, Pudahuel, Las Condes y Lo Barnechea, sus límites comunales son de mayor extensión que el diagrama de zonificación de macrozonas utilizado como guía para elaborar los mapas. Tales comunas incluyen zonas no urbanas o rurales, y no se han incluido en el proceso de modelación, pues no se cuenta con la información suficiente para realizar su modelación (trama de caminos rurales y carreteras). Se ha modelado las zonas urbanas de las comunas, y hasta donde fue posible modelar niveles generados por el tránsito vehicular sobre los 35 dBA.

El proceso de modelación contempló ingresar los datos promedio de flujo vehicular diferenciado por horario, tipo de vía y zona. La única excepción son las vías expresas que se trataron como un solo tipo de vía para toda la superficie de estudio, por sus propias características. Todas las otras categorías de vías se trataron en forma independiente por zonas y horarios.

Tabla 39. Cuadro resumen de valores de flujo vehicular (M) y porcentaje de vehículos pesados (%P) en Horario Valle utilizados en el Mapa de Ruido del Gran Santiago, por tipo de vía y por zona de estudio.

Zonas- Valle	Expresas		Troncales		Colectoras		Servicios		Locales	
	M	%P	M	%P	M	%P	M	%P	M	%P
Norte	4034	7%	1419	7%	940	5%	612	10%	257	2%
Nor-Poniente	4034	7%	681	10%	539	10%	113	5%	59	4%
Nor-Oriente	4034	7%	1788	3%	820	2%	334*	7%	206	1%
Sur	4034	7%	1090	9%	464	6%	285	8%	104	3%
Sur-Poniente	4034	7%	1432	16%	529	12%	365	9%	119	8%
Sur-Oriente	4034	7%	997	7%	725	7%	380	9%	128	4%
Central	4034	7%	2127	6%	544	4%	252	3%	207	2%

*: Valores en calles Servicio, Zona Nororiente corresponden a promedio otras zonas (en lugar de utilizar sólo un dato).

Tabla 40. Cuadro resumen de valores de flujo vehicular (M) y porcentaje de vehículos pesados (%P) en Horario Punta utilizados en el Mapa de Ruido del Gran Santiago, por tipo de vía y por zona de estudio.

Zonas- Punta	Expresas		Troncales		Colectoras		Servicios		Locales	
	M	%P	M	%P	M	%P	M	%P	M	%P
Norte	4829	10%	1718	5%	475	3%	385	7%	257	1%
Nor-Poniente	4829	10%	855	7%	460	8%	225	4%	68	1%
Nor-Oriente	4829	10%	1854	3%	928	2%	469*	7%	351	0%
Sur	4829	10%	1406	10%	658	5%	210	4%	178	5%
Sur-Poniente	4829	10%	1414	22%	480	19%	522	20%	250	17%
Sur-Oriente	4829	10%	1513	5%	823	3%	761	5%	174	3%
Central	4829	10%	3244	7%	708	5%	708**	5%	264	1%

*: Valores en calles Servicio, Zona Nororiente corresponden a promedio otras zonas (en lugar de utilizar sólo un dato).

** : Dato estimado, pues no se contó con mediciones en esta categoría y zona. Según los demás datos, se asignó Un 30% de aumento como promedio del resto de las vías de la zona.

En las siguientes figuras se presentan los mapas de ruido L_{dia} generados, un mapa general del Gran Santiago, y luego por zonas más en detalle. Los mapas presentan los niveles de ruido modelado generado por el tránsito vehicular y se ha incluido la modelación del ruido de trenes (METRO y METRO-TREN). El último mapa corresponde a un ejemplo de mapa de ruido de trenes, que incluye sólo la modelación del METRO sobre superficie.

Estos mapas se encuentran en el Anexo 6 respectivo para su consulta.

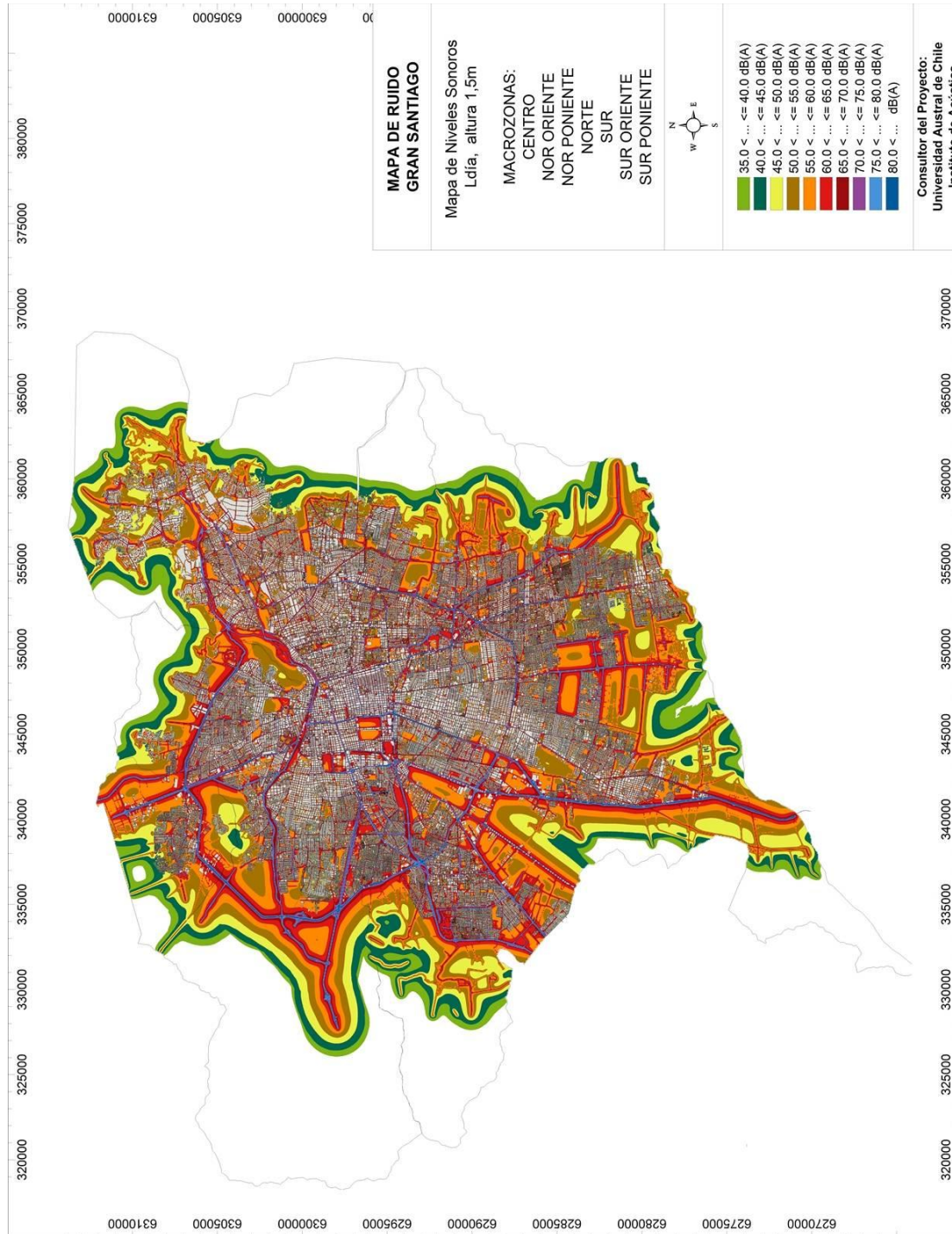


Fig. 42. Mapa de Niveles Sonoros Gran Santiago, Ldia.

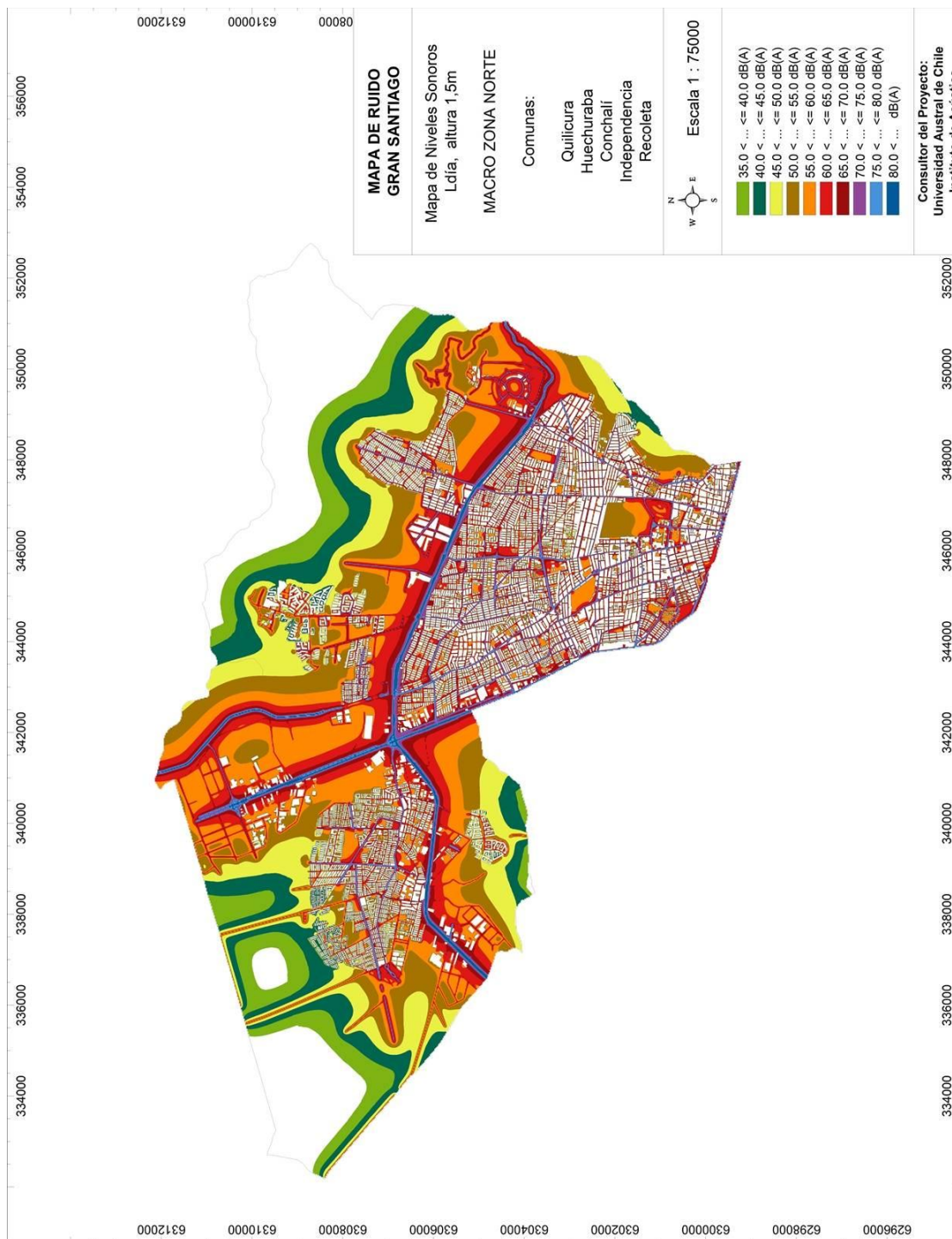


Fig. 43. Mapa de Niveles Sonoros, sector Norte, Ldia.

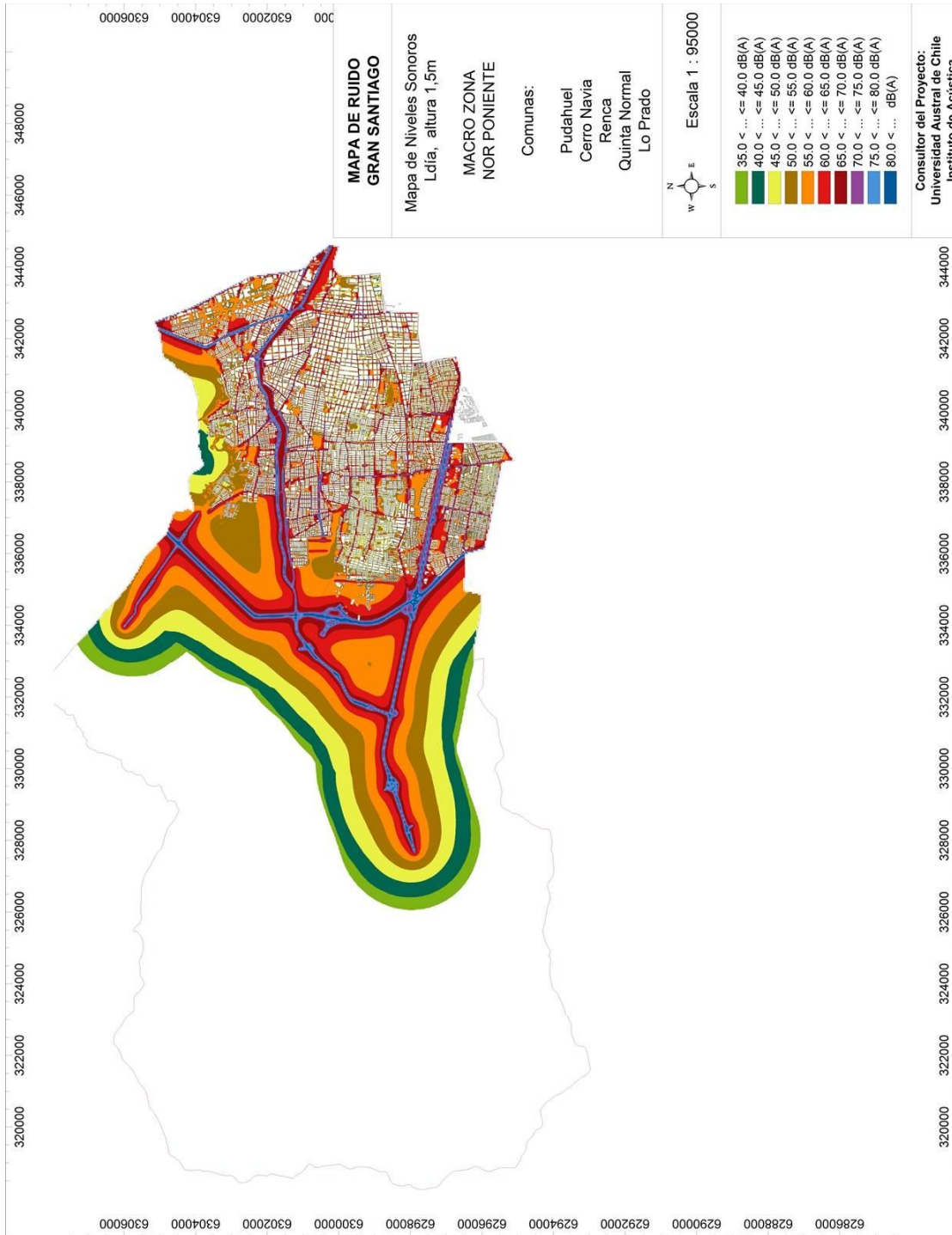


Fig. 44. Mapa de Niveles Sonoros, sector Nor-Poniente, Ldía.

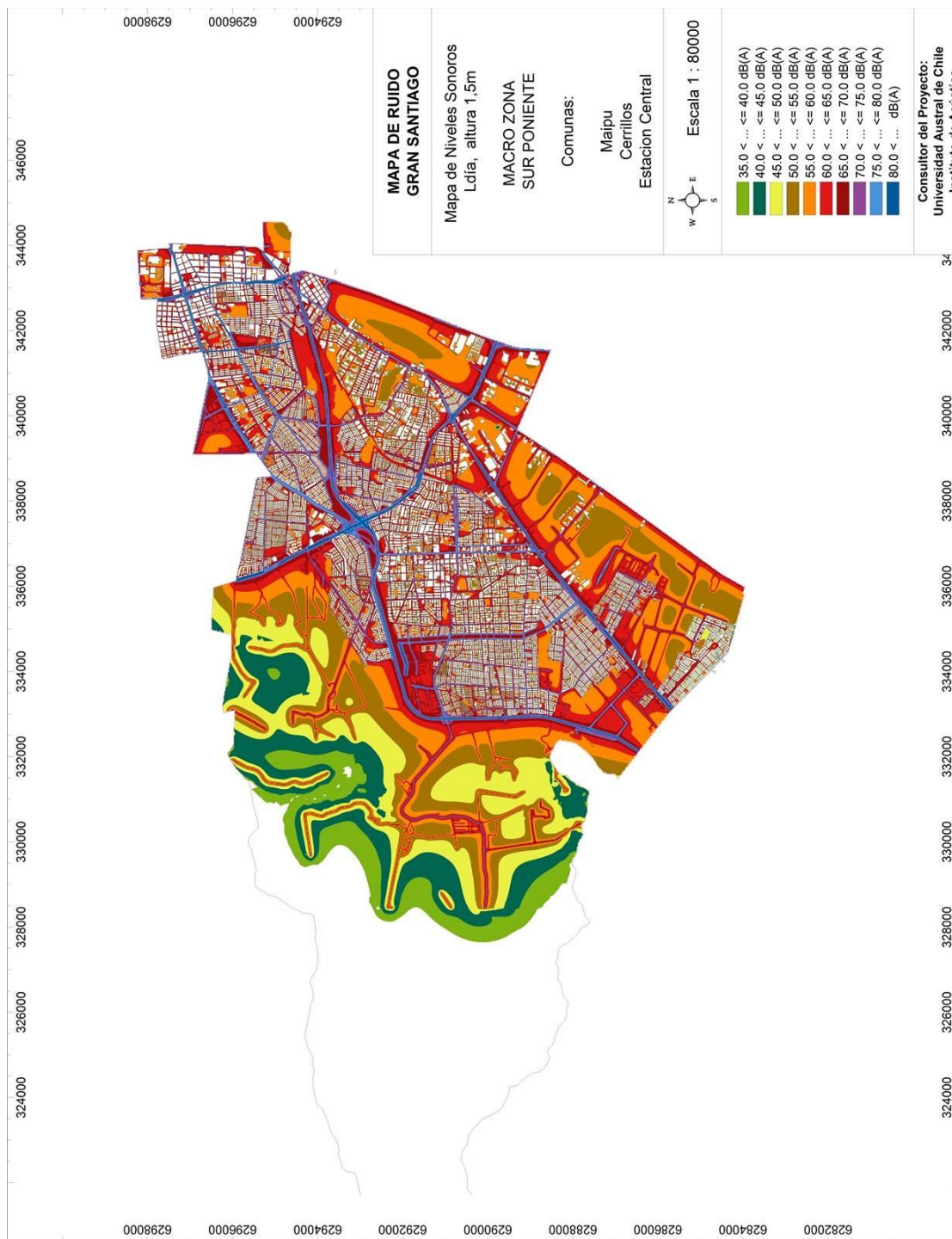


Fig. 45. Mapa de Niveles Sonoros, sector Sur-Poniente, Ldía.

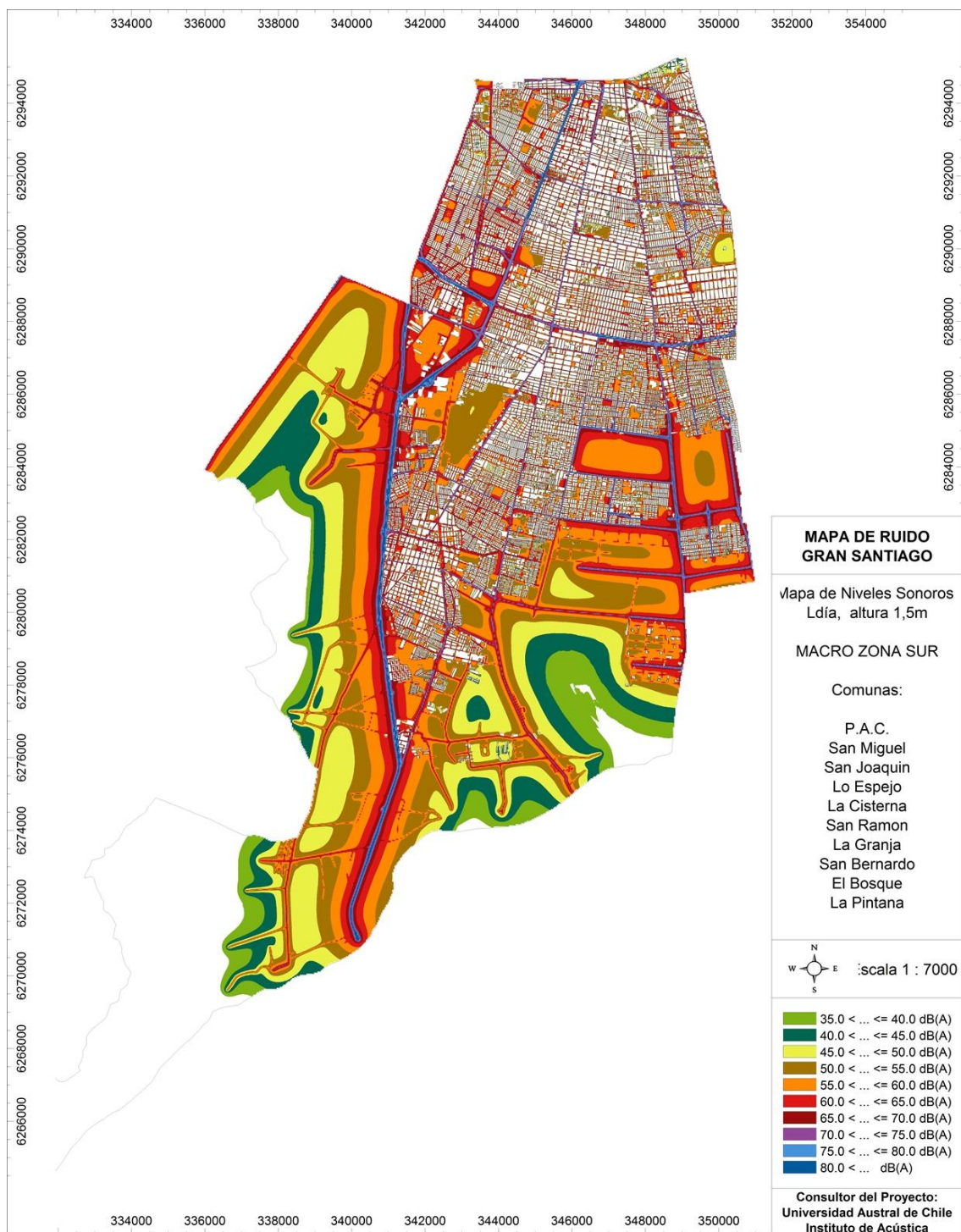


Fig. 46. Mapa de Niveles Sonoros, sector Sur, Ldía.

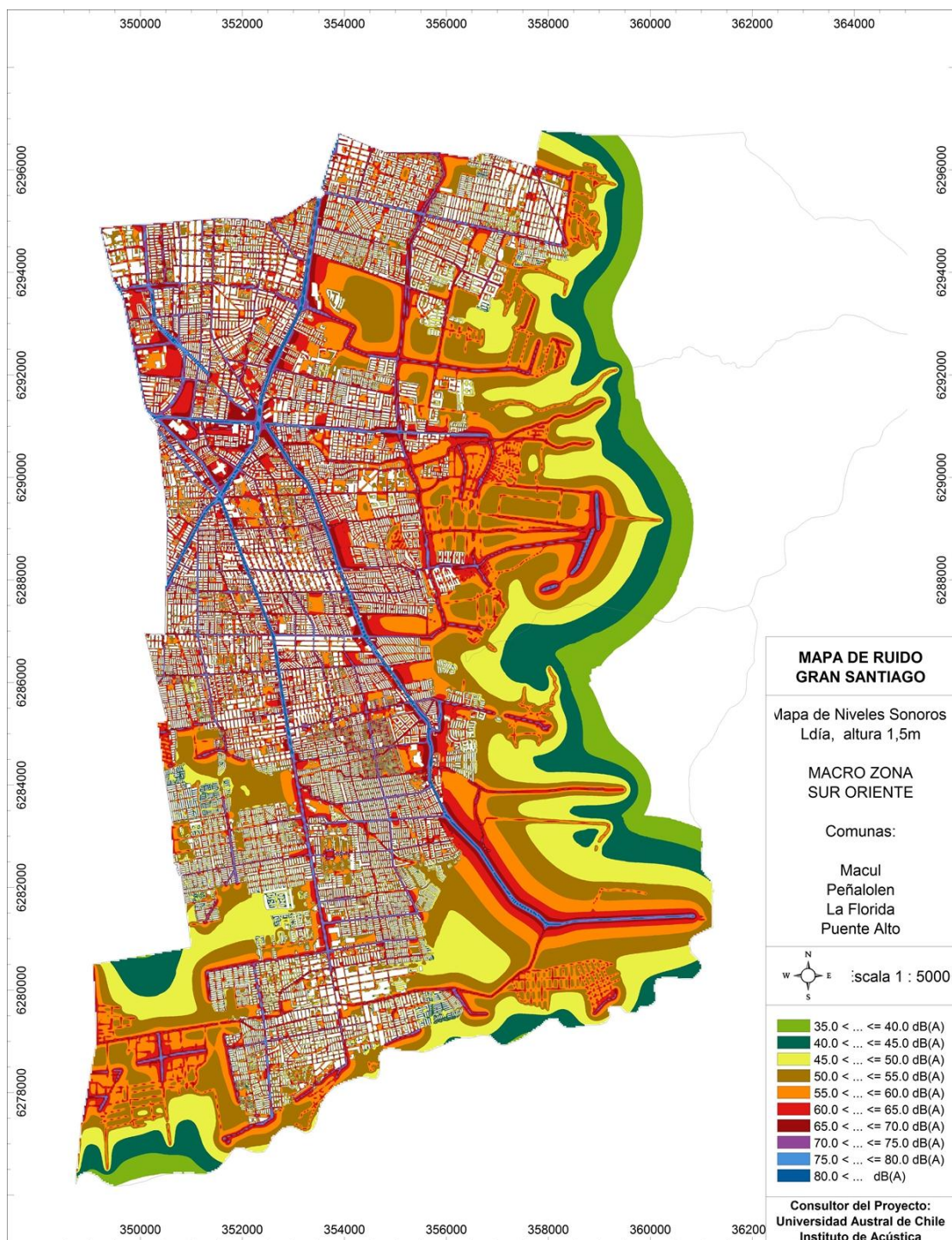


Fig. 47. Mapa de Niveles Sonoros, sector Sur-Oriente, Ldía.

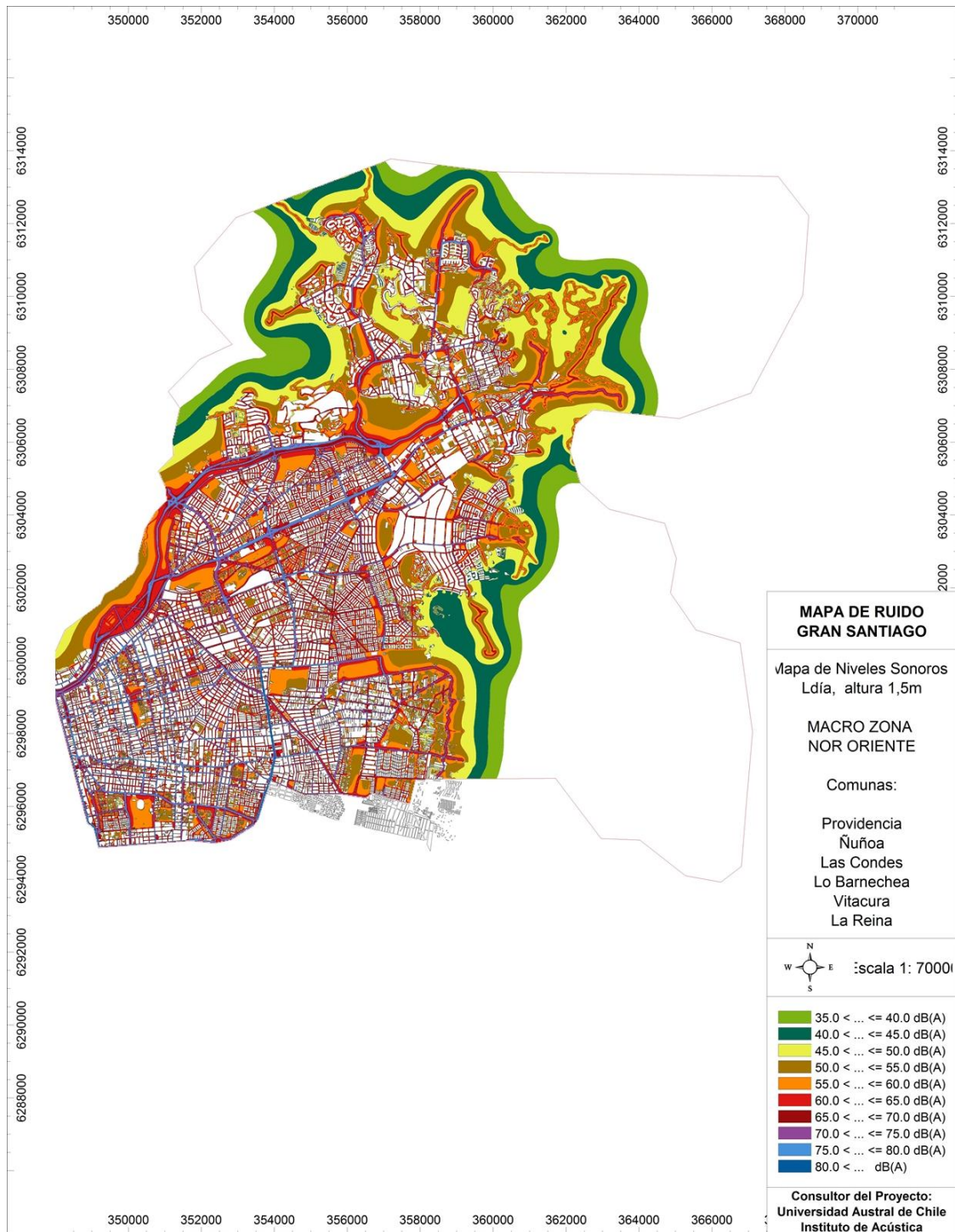


Fig. 48. Mapa de Niveles Sonoros, sector Nor-Oriente, Ldía.

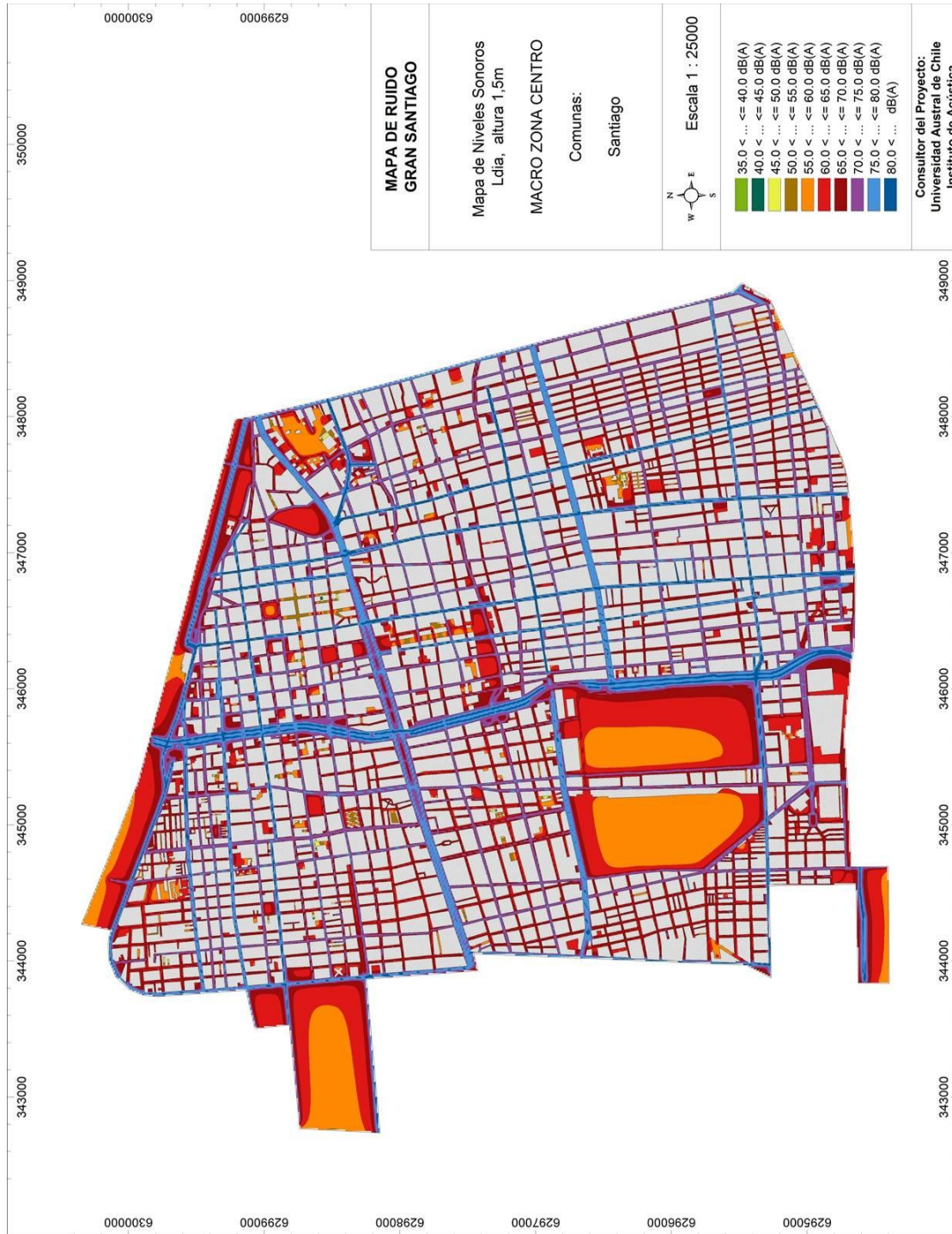


Fig. 49. Mapa de Niveles Sonoros, sector Central, Ldia.

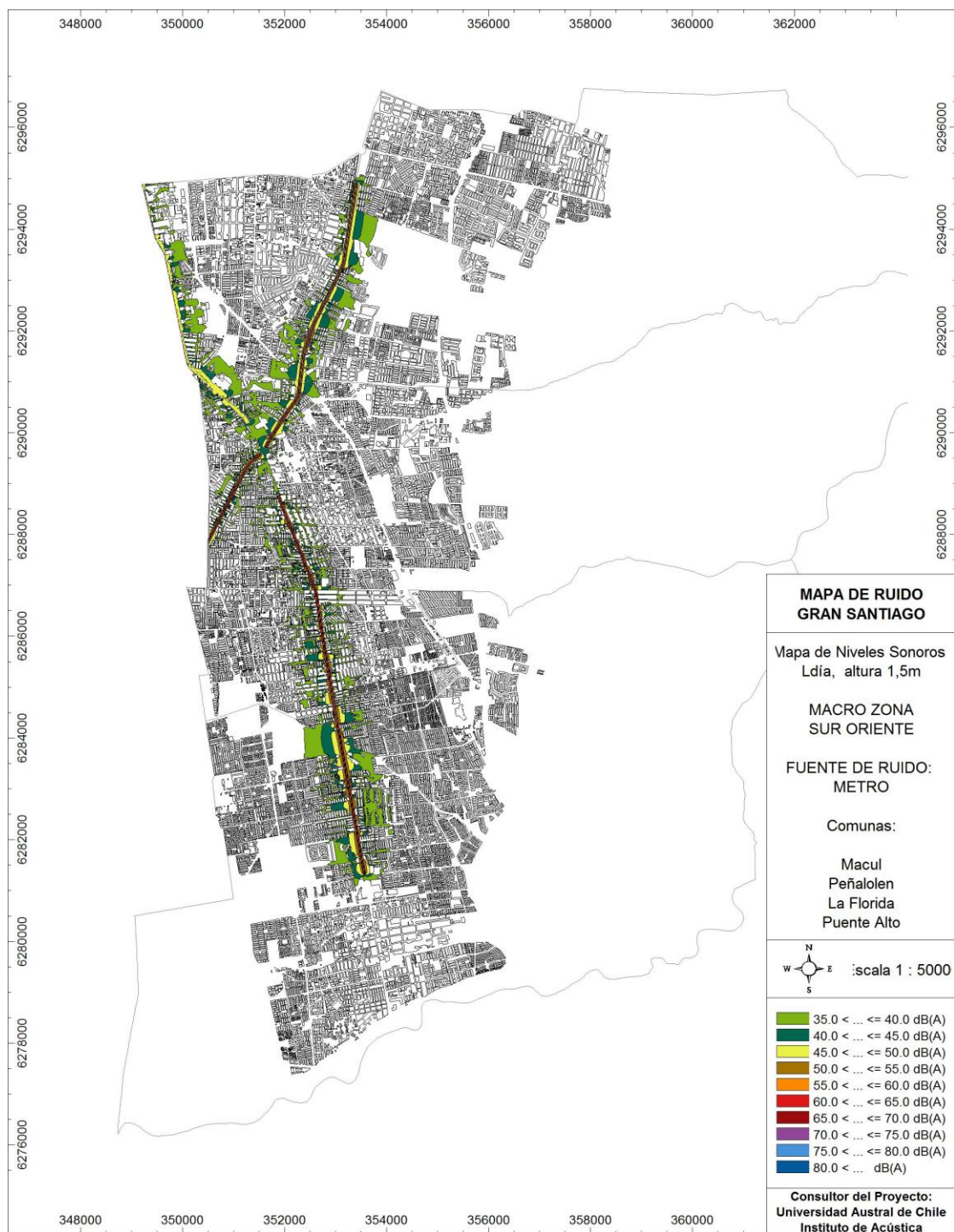


Fig. 50. Ejemplo de Mapa de Niveles Sonoros generados por METRO, sector Sur Oriente, Ldia.

3.2. Análisis de resultados del mapa de ruido.

Realizar un análisis en extenso de los resultados obtenidos de la modelación, contemplando el cruce de información con aquella de carácter desagregada que se pueda obtener de otras instituciones, como organismos públicos regionales y otras que el equipo consultor estime relevantes.

Respecto de la información desagregada y para efectos de análisis, se estudia información y resultados obtenidos de la modelación, y otra disponible.

Se analizan niveles modelados de acuerdo a valores límite de exposición al ruido. Para esto se consideran los criterios de evaluación establecidos por la Unión Europea [17], en concordancia con lo indicado por la Organisation for Economic Co-operation and Development OECD [11] y la Organización Mundial de la Salud OMS [14] [16]. El valor recomendado para el L_D corresponde a 65 dBA.

En las siguientes tablas se identifica la distribución de los niveles de ruido modelados en la superficie estudiada de acuerdo al Nivel Día L_d , por zona de modelación. Los valores de superficies y valores porcentuales expuestos en esta tablas, corresponden sólo a la superficie donde se han modelado los niveles de ruido (no se incluye la superficie de edificaciones, patios interiores, etc.).

Tabla 41. Distribución de los niveles de ruido modelados en período Día, en la superficie de la Macrozona Norte del Gran Santiago.

ZONA NORTE			
Intervalo		Superficie expuesta a niveles de ruido [km²]	% de superficie total
Min	Máx		
35	40	8,2824	6,98%
40	45	10,4860	8,84%
45	50	15,8004	13,33%
50	55	29,0280	24,48%
55	60	22,7000	19,14%
60	65	14,2312	12,00%
65	70	9,5700	8,07%
70	75	4,3752	3,69%
75		4,1036	3,46%
		118,5768	100%

Tabla 42. Distribución de los niveles de ruido modelados en período Día, en la superficie de la Macrozona Centro del Gran Santiago.

CENTRO			
Intervalo		Superficie expuesta a niveles de ruido [km ²]	% de superficie total
Min	Máx		
35	40	0,0007	0,00%
40	45	0,0042	0,03%
45	50	0,0258	0,15%
50	55	0,1265	0,76%
55	60	1,6456	9,84%
60	65	3,4954	20,90%
65	70	5,2088	31,14%
70	75	3,4428	20,58%
75		2,7753	16,59%
		16,7251	100%

Tabla 43. Distribución de los niveles de ruido modelados en período Día, en la superficie de la Macrozona Nor Oriente del Gran Santiago.

NORORIENTE			
Intervalo		Superficie expuesta a niveles de ruido [km ²]	% de superficie total
Min	Máx		
35	40	12,6648	7,06%
40	45	16,0220	8,93%
45	50	22,1440	12,35%
50	55	27,6728	15,43%
55	60	25,9968	14,49%
60	65	34,9096	19,46%
65	70	22,7236	12,67%
70	75	10,0988	5,63%
75		7,1220	3,97%
		179,3544	100%

Tabla 44. Distribución de los niveles de ruido modelados en período Día, en la superficie de la Macrozona Sur Poniente del Gran Santiago.

SURPONIENTE			
Intervalo		Superficie expuesta a niveles de ruido [km ²]	% de superficie total
Min	Máx		
35	40	5,7136	4,34%
40	45	9,1148	6,93%
45	50	12,5476	9,54%
50	55	29,7928	22,65%
55	60	30,0744	22,86%
60	65	17,9836	13,67%
65	70	13,3144	10,12%
70	75	7,2376	5,50%
75		5,7856	4,40%
		131,5644	100%

Tabla 45. Distribución de los niveles de ruido modelados en período Día, en la superficie de la Macrozona Nor Poniente del Gran Santiago.

NORPONIENTE			
Intervalo		Superficie expuesta a niveles de ruido [km ²]	% de superficie total
Min	Máx		
35	40	4,8864	4,04%
40	45	8,8752	7,34%
45	50	19,2512	15,92%
50	55	29,5936	24,48%
55	60	23,9600	19,82%
60	65	15,9232	13,17%
65	70	9,0368	7,47%
70	75	4,8304	3,99%
75		4,5552	3,77%
		120,9120	100%

Tabla 46. Distribución de los niveles de ruido modelados en período Día, en la superficie de la Macrozona Sur Oriente del Gran Santiago.

SURORIENTE			
Intervalo		Superficie expuesta a niveles de ruido [km ²]	% de superficie total
Min	Máx		
35	40	8,3187	4,66%
40	45	14,2407	7,98%
45	50	34,3368	19,24%
50	55	45,2610	25,37%
55	60	31,3128	17,55%
60	65	21,1482	11,85%
65	70	13,5711	7,61%
70	75	5,1822	2,90%
75		5,0544	2,83%
		178,4259	100%

Tabla 47. Distribución de los niveles de ruido modelados en período Día, en la superficie de la Macrozona Sur del Gran Santiago.

SUR			
Intervalo		Superficie expuesta a niveles de ruido [km ²]	% de superficie total
Min	Máx		
35	40	8,9478	3,98%
40	45	14,0130	6,23%
45	50	38,6370	17,19%
50	55	61,3422	27,29%
55	60	42,4287	18,87%
60	65	29,0421	12,92%
65	70	17,2611	7,68%
70	75	6,6609	2,96%
75		6,4701	2,88%
		224,8029	100%

Tabla 48. Distribución de los niveles de ruido modelados en período Día, en la superficie del Gran Santiago

GRAN SANTIAGO			
Intervalo		Superficie expuesta a niveles de ruido [km ²]	% de superficie total
Min	Máx		
35	40	48,8144	5,03%
40	45	72,7559	7,50%
45	50	142,7428	14,71%
50	55	222,8169	22,96%
55	60	178,1183	18,36%
60	65	136,7333	14,09%
65	70	90,6858	9,35%
70	75	41,8279	4,31%
75		35,8662	3,70%
		970,3615	100%

Tabla 49. Distribución de la superficie de estudio que se encuentra sobre $L_D=65$ dBA, en el Gran Santiago

Zona	Superficie Zona	Superficie sobre $L_D=65$ dBA	
	km ²	km ²	%
Centro	16,7251	11,4269	68,32%
Norte	118,5768	18,0488	15,22%
NorPoniente	120,9120	18,4224	15,24%
NorOriente	179,3544	39,9444	22,27%
Sur	224,8029	30,3921	13,52%
SurPoniente	131,5644	26,3376	20,02%
SurOriente	178,4259	23,8077	13,34%
GRAN SANTIAGO	970,3615	168,3799	17,35%

Se puede apreciar en las tablas anteriores que un 17,35% de la superficie modelada del Gran Santiago se encuentra sobre los 65 dBA de Nivel Día (L_D), criterio de recomendación de la Unión Europea. De la superficie modelada (toda la ciudad) es la Zona Sur la que mayor superficie aporta sobre 65 dBA, y es la Zona Centro la que aporta menos superficie sobre ese valor.

Porcentualmente, es la Zona Centro la que tiene una mayor superficie de su zona con altos niveles de ruido, con un 68,32%. Este valor es mayor que el indicado en el estudio de la Fase III, donde se señala que la superficie sobre 65 dBA corresponde a un 54%. Esta diferencia puede explicarse ya que en el presente proyecto no se han modelado niveles de ruido en patios interiores y otras superficies que han quedado simplificadas en un bloque de edificación por manzana (superficie construida).

3.3. Recomendaciones en gestión ambiental local en control de ruido.

Elaborar una propuesta con las directrices y lineamientos estratégicos futuros recomendados, referente a la estrategia de gestión local en control de ruido ambiental para la extensión considerada.

A la luz de los resultados de la modelación, se entrega una propuesta con las directrices y lineamientos futuros recomendados en cuanto a la estrategia de la gestión local en control de ruido ambiental, incluyendo los alcances y limitaciones. Estas propuestas estén de acuerdo a las facultades administrativas que posean los organismos con atribuciones sobre el territorio en estudio y en el ámbito de sus facultades. Se consideran mecanismos de intervención, diferenciando los instrumentos propios de un municipio, indicando medidas preventivas, reactivas y correctivas, que debieran implementarse.

3.3.1. 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) [24] 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.

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 más relevantes como el Gran Valparaíso y Gran Concepción, en los cuales se pueden hacer análisis similares al realizado para el Gran Santiago, para luego ir abordando las otras ciudades importantes de todas las regiones del país.
- b) Determinar la fuente de financiamiento para este programa, de manera de ser incorporado como una línea de acción relevante 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°146/97 MINSEGPRES Norma de Emisión de Ruidos Molestos Generados por Fuentes Fijas⁴. Es un lugar sensible aquel definido como Zona I del mismo decreto. Otros lugares sensibles se consideran aquellos con equipamiento de salud y educacional.

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

⁴ Cabe señalar que si bien el DS146/97 MINSEGPRES no establece zonas de mayor o menor sensibilidad al ruido, este texto propone extender a una nueva utilización de las clasificaciones de la norma, a modo de ejemplo que permita alejar actividades potencialmente ruidosas de aquellas potencialmente sensibles.

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.



Fig. 51. Visión de los distintos niveles de gestión y mecanismos de interacción

Sin duda que la gestión del ruido surge desde los instrumentos normativos (leyes, normas, ordenanzas), pero también tienen gran importancia los Instrumentos de Planificación Territorial (IPT). Más aún cuando ellos por ley en Chile (Ley 20.417) requiere que se sometan a evaluación ambiental e indica que debe ser una evaluación estratégica para los siguientes IPT:

- Planes de Ordenamiento Territorial
- Planes Regionales de Desarrollo Urbano
- Planes Reguladores Intercomunales
- Planes Reguladores Comunes
- Planes Seccionales

Tales instrumentos, por lo tanto, requieren la elaboración de diagnósticos ambientales de los territorios (desde el regional al local). En este sentido, los mapas de ruido son elementos básicos en la definición del estado en que se encuentran los espacios urbanos en donde el nivel de concentración de actividades y personas puede permitir que se llegue a niveles de ruido dañinos. Es importante conocer tales niveles de exposición previamente, pues las acciones y medidas previstas en este instrumento pudieran complicar aún más la situación. Como su objetivo es propender a un desarrollo sustentable, mejorando los niveles de calidad de

vida de la ciudadanía, se espera, razonablemente, que contengan medidas que precisamente disminuyan o eviten altos niveles de ruidos.

3.3.2. Las Ordenanzas como instrumento de gestión del ruido.

A nivel comunal las Ordenanzas pueden ser un instrumento que ayude a controlar situaciones que generan ruido molesto. En este contexto, vale la pena realizar una revisión de qué materias son pertinentes de abordar según las características locales.

Tabla 50. Ejemplo de situaciones presuntamente molestas a incluir y regular en una ordenanza municipal de ruido [18].

Prohibiciones y condiciones que definen la prohibición	Acciones Molestas y Fuentes de Ruido Específicas
Ruidos Molestos - Acciones	○ generación de música ○ propaganda a viva voz ○ utilización de parlantes ○ extracción de desperdicios ○ empleo de cualquier equipo que produzca ruido ○ 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	○ 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	○ 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.	○ 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

Prohibiciones y condiciones que definen la prohibición	Acciones Molestas y Fuentes de Ruido Específicas
Ruidos Molestos - lugares de descanso	○ 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 [18]:

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:

- Individualización completa del denunciante.*
- Identificación del presunto responsable: Dirección, y en lo posible, Razón Social, Nombre, Teléfono u otros datos que faciliten su comunicación.*
- Fecha(s) y hora(s) en que ocurrió la molestia.*
- Descripción de la actividad afectada, tipo de ruido, horas de ocurrencia.*
- 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 reciente, una serie de acciones sugeridas para la gestión ambiental en control de ruido. En la siguiente tabla 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 51. Actuaciones sugeridas para la gestión ambiental en control de ruido [26].

Tipo de medidas	Ejemplos
Medidas Legales	
Control de emisiones	Valores límites de emisión: ○ 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: ○ 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 Pavimentos menos ruidosos 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
Planificación territorial y urbanística	Zonificación acústica Separación de usos incompatibles Implantación de zonas de amortiguamientos (o transición) de servidumbre acústica en el entorno de infraestructura de transporte Corredores by-pass para el tráfico pesado Protección de áreas tranquilas

Tipo de medidas	Ejemplos
Educación e Información	
Concienciación del público	Información al público sobre: ○ 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 Programas de acción para zonas con mayores niveles de ruido
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.

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 anterior 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 [26].

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 comunales individuales 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 para 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).

Será conveniente que los municipios puedan focalizar también acciones preventivas sobre las fuentes más denunciadas que califican como fuentes fijas, tales como las obras de construcción o actividad de templos religiosos.

Por otro lado, si se considera que en algunas comunas (como la Comuna de Santiago) el 55% de la población vive en departamento, y el 39,6% vive en casas pareadas, es fácil suponer que se puedan generar condiciones que favorezcan posible molestia por ruido de vecinos (según estudios previos [26], un 10,8% de día y un 17,8% en la noche). En este escenario puede ser útil fomentar reglamentos de copropiedad que cooperen en la disminución de tales porcentajes

Los municipios deben contar con un sistema de registro de denuncias de ruido, y que se establezca un análisis de efectividad de atención a las denuncias, la fiscalización y tasa de casos resueltos.

Sería muy interesante que los municipios pudieran avanzar en definir lineamientos y acciones en materias de control de ruido ambiental, tales como los ayuntamientos españoles de la ciudad de Bilbao y de Madrid. El Ayuntamiento de Bilbao ha establecido un Plan de Acción en Materia de Contaminación Acústica basado en cuatro líneas estratégicas: aumento de la participación y sensibilización de la ciudadanía, actuación sobre la planificación del suelo y el diseño urbano, actuación contra el ruido y promover transportes de baja emisión sonora. El Ayuntamiento de Madrid también 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 y se indican en la siguiente tabla:

Tabla 52. Catálogo de soluciones del Plan de Acción en Materia de Contaminación Acústica [27]

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

Línea de Actuación	Actuaciones
	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 ejes 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
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, en un breve análisis de medidas que contribuyen a reducir los niveles de ruido en los puntos de conflicto según el proyecto SILENCE [27], se identifican las medidas que podrían implementarse en el ámbito local.

Tabla 53. Análisis de medidas contra el ruido ambiental del Proyecto SILENCE

Medida Contra el Ruido Proyecto SILENCE	Breve explicación de la medida	Análisis de aplicación para las Comunas del Gran Santiago
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.	La aplicación de esta medida está orientada a vías donde el ruido de rodadura es relevante. Es decir, en vías donde la velocidad promedio es mayor que 50 o 60 km/h. A velocidades menores, el ruido más relevante es el tubo de escape, motor y carrocería. Las vías como la autopista y otras de gran tamaño podrían ser candidatas a analizar la rentabilidad de esta medida.
2. Mantenimiento de las superficies viales	Las irregularidades y discontinuidades de las superficies de rodado de las calles suponen una amenaza para el rendimiento de todas las vías en lo que respecta al ruido. Por esta razón se hace necesario un cuidadoso mantenimiento, a fin de que no se genere ruido adicional por el paso de vehículos, en especial 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 velocidades de 30 y 50 km/h) pueden generar diferencias de nivel de ruido significativas, del orden de 8 a 10 dBA.	Esta medida aplicable a todas las comunas, es una medida más bien de sentido común. Al respecto se destaca que la modelación de ruido en el mapa no contempla aquel ruido generado por mal mantenimiento de las superficies viales (como hoyos, grietas, desniveles, etc.). El modelo de predicción asume el buen estado de las vías, y no se han contemplado reductores de velocidad, los que pueden ser una buena solución, pero deben estudiarse caso a caso.
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.	La aplicación de esta medida es posible en aquellas comunas en donde aún existe circulación ferroviaria.
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.	La aplicación de esta medida es posible en aquellas comunas en donde existen almacenamiento y mantención de trenes ferroviarios y del Metro.
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	Estas medidas de alto costo están dimensionadas más bien para carreteras y líneas ferroviarias de gran impacto presente en varias comunas, lo importante es verificar la efectividad de estas para aislar áreas pobladas

Medida Contra el Ruido Proyecto SILENCE	Breve explicación de la medida	Análisis de aplicación para las Comunas del Gran Santiago
	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.	sensibles al ruido.
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 noche. Las ventanas dobles pueden proporcionar unos 30 dBA y hasta 40 dBA de aislamiento. Los costos por vivienda son elevados.	El fomento de uso de esta medida, si bien puede estar fuera del alcance directo de la gestión municipal, es de gran efectividad. Por ejemplo, en la zona céntrica de Santiago, en edificaciones en altura expuestas a altos niveles de ruido (Alameda, por ejemplo), suele ser lo más efectivo.
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.	Esta es una medida que excede el ámbito territorial de comunal, sin embargo, el uso de tranvías para ciertos servicios, puede ser una alternativa de análisis y discusión dado sus distintas ventajas (entre ellas, menos ruido).
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.	Esta es una medida que excede el ámbito territorial de las comunas. Sin embargo, la renovación del parque de buses de la ciudad ha beneficiado en forma importante a la comunidad en un aspecto como la menor emisión de ruido de los autobuses nuevos del Transantiago. Esto es algo que no ha ocurrido en otras ciudades del país.
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 tránsito, 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.	Si bien este aspecto no ha salido reflejado en las encuestas como un tema relevante, es una materia a considerar, pues es de responsabilidad municipal. En municipios como el de Madrid, la flota de camiones de retiro de basura es sometida periódicamente a controles específicamente de emisión de ruido por su alto impacto en la comunidad.
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).	Lamentablemente no contamos en el país con una normativa de ruido de vehículos, a excepción de buses. Es relevante, a pesar que pueda exceder las atribuciones municipales, buscar vías de fomento o regulación uso de vehículos menos ruidosos, y desarrollar actitudes y maneras de conducción menos contaminantes (como el empleo de la bocina).

Medida Contra el Ruido Proyecto SILENCE	Breve explicación de la medida	Análisis de aplicación para las Comunas del Gran Santiago
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.	Si bien este aspecto no ha salido reflejado en las encuestas como un tema relevante, es una materia a considerar, pues la municipalidad podría hacer alguna gestión para restringir el reparto de mercaderías en horarios que generen menos impacto en la población (por ejemplo, restringir el horario de reparto nocturno en las zonas más residenciales).
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.	La gestión del tránsito en las comunas es algo que excede el aspecto acústico. Sin embargo, debe destacarse que la reducción del flujo vehicular y la disminución de los vehículos pesados, sin aumento de velocidad, pueden llevar consigo importantes disminuciones de los niveles de ruido. Lo anterior demanda incorporar en la gestión del tráfico la variable acústica y considerar la gestión de rutas y horarios para los vehículos más ruidosos.
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.	Estas medidas pueden ser muy efectivas, sobre todo si se acompañan con una conducción más cuidadosa. Con el fin de disminuir el ruido del motor a velocidades más bajas, es conveniente no forzar el motor (revoluciones), y desplazarse en marchas apropiadas, e incluso, más altas.
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.	Los badenes disminuyen la velocidad del tránsito, y por consiguiente el ruido de rodado y aerodinámico, pero pueden aumentar el ruido de motor. Por ejemplo, se disminuye la velocidad al enfrentar el badén, y luego de pasarlo se acelera para recuperar velocidad, provocando justamente el efecto contrario de disminución de ruido. Por lo tanto, la implementación de esta medida debe ser muy estudiada.
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 ensanche de las aceras y área para el peatón o la	Esta es una medida poco habitual en nuestro país, y puede ser de utilidad considerarla para ciertos casos. El inconveniente de ella es que requiere "sacrificar" superficie de calle que a

Medida Contra el Ruido Proyecto SILENCE	Breve explicación de la medida	Análisis de aplicación para las Comunas del Gran Santiago
	incorporación de bandejonas, 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.	veces es demasiado escasa ante la demanda de tránsito. En este último caso, podría generar accidentes, pero puede incorporarse en el diseño urbanístico apropiadamente.
16. Rediseño del espacio de las calles	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.	Esta es una medida poco habitual en nuestro país, y puede ser de utilidad considerarla para ciertos casos. Sin embargo, posiblemente para la costumbre de conducción nacional, el estrechamiento de carriles y otros elementos mencionados, podrían generar confusión y un efecto no deseado.
17. Diseño de los cruces	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.	La disminución de detenciones y aceleraciones innecesarias en el tránsito vehicular, que pueda reflejarse en una circulación más fluida, son aportes a la disminución del ruido ambiental. Las rotondas son ampliamente utilizadas en Europa como reguladoras de cruces, con buenos resultados.
18. Ondas verdes para aliviar el tránsito	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	La disminución de detenciones y aceleraciones innecesarias en el tránsito vehicular, que pueda reflejarse en una circulación más fluida, son aportes a la disminución del ruido ambiental.

Medida Contra el Ruido Proyecto SILENCE	Breve explicación de la medida	Análisis de aplicación para las Comunas del Gran Santiago
	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.	
19. Reducir el volumen de tránsito	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.	La meta de disminuir el tránsito que circula, puede parecer poco aplicable. Sin embargo, es interesante avanzar un estudio que permita encontrar distribuciones del flujo vehicular que favorezca la disminución del ruido.
20. Prohibiciones sobre los camiones	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 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.	Esta es una medida de interés a de ciudad y a nivel municipal, dado que la mayor responsabilidad del ruido de tránsito recae en los vehículos de mayor tamaño, como los camiones (que además no tienen regulación de emisión de ruido en el país). Habría que analizar en detalle qué consecuencias puede tener una medida de este tipo. Esta medida es especialmente importante en ciudades Puerto en donde los flujos de camiones son muy importantes dentro de la ciudad, o en ciudades donde el tránsito de camiones responde a una alta demanda de una actividad industrial.

Sin duda que todo lo que pueda realizarse a manera piloto dentro del Gran Santiago servirá de modelo respecto de que acciones, procedimientos y medidas aplicar o ajustar en función de las realidades de otras ciudades de nuestro país. Pero también es importante la forma en que se lleve adelante el proceso de gestión del ruido en la ciudad, es en esta y en otras problemáticas en donde se echa de menos la autoridad de ciudad que coordine y lidere la gestión. Dado que eso aún no está presente en nuestra realidad es la figura del Intendente regional con el respaldo del Gobierno Regional quien debe liderar este proceso.

3.4. *Presentación de resultados.*

Realizar presentaciones de los resultados finales, con el equipo consultor en pleno a la contraparte técnica del estudio, al Departamento de Asuntos atmosféricos y a la contraparte municipal, como mínimo (acordado con el coordinador del estudio).

Se contempla la presentación pormenorizada de resultados a la contraparte técnica y otra al Departamento de Asuntos Atmosféricos de la División de Política y Regulación del Ministerio del Medio Ambiente. Así mismo, se contemplan 2 talleres de difusión de los principales resultados del Estudio.

Esta actividad será debidamente coordinada con la Contraparte Técnica.

4. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] Comisión Nacional del Medio Ambiente (2008). *Levantamiento de Información de Entrada de Modelo de Predicción de Ruido y Aplicación de Caso Piloto*. Proyecto ejecutado por dBAIngeniería, Proyectos y Soluciones Acústicas. Contrato N°10-21-028/07
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Suárez, E. (2002). *Metodologías Simplificadas para Estudios en Acústica Ambiental, Aplicación en la Isla de Menorca*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. España.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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
- [9] Suárez, E.; Recuero, M. (2002). *Study of Annoyance by Environmental Noise in Menorca Island's Population*. Forum Acusticum 2002. Sevilla, España.
- [10] 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.
- [11] Organization for Ecocomic Cooperation and Development (1991). *Faiting Noise 1990S*. París, Francia.
- [12] Intendencia Región Metropolitana, Santiago de Chile. (1989). *Estudio Base de Generación de Niveles de Ruido en el Gran Santiago*.
- [13] 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*.
- [14] World Health Organization (WHO) (1999). *Guidelines for Community Noise*. Geneva, Switzerland.
- [15] Instituto Nacional de Normalización INN. (2000). *Aislación Acústica - Parte 1: Construcciones de Uso Habitacional - Requisitos Mínimos y Ensayos*. NCh352/1.Of2000. Chile.
- [16] Comisión Nacional del Medio Ambiente (2009). *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.
- [17] 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

- [18] 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.
- [19] Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2009) Manual de Vialidad Urbana 2009, "Recomendaciones para el Diseño de Elementos de Infraestructura Vial Urbana (REDEVU) 2009". Disponible en Internet en: http://www.minvu.cl/opensite_20070404110715.aspx
- [20] M. Ausejo & M. Recuero & C. Asensio & I. Pavón & J. M. López (2010) *Study of Precision, Deviations and Uncertainty in the Design of the Strategic Noise Map of the Macrocenter of the City of Buenos Aires, Argentina..* Environ Model Assess 15:125–135
- [21] Observatorio de Ciudades UC (2011). Altura de Edificación y Areas Verdes. Región Metropolitana. Disponible en Internet en: http://www.ocuc.cl/wp-content/downloads/planos_1990-2002/02_Altura_Edif_AV.pdf
- [22] M.A. Gaete, J.J.H. Oberreuter (2011). *Influencia de la incertidumbre de los datos de entrada en la generación de mapas de ruido de grandes ciudades Parte I: Análisis de la incertidumbre en la cantidad, composición y velocidad de flujo vehicular en modelos de predicción de ruido de tránsito.* Trabajo para la asignatura Control de Ruido Ambiental. Magíster en Acústica y Vibraciones. Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile.
- [23] M.A. Gaete, J.J.H. Oberreuter (2011). *Influencia de la incertidumbre de los datos de entrada en la generación de mapas de ruido de grandes ciudades Parte II: Análisis de la incertidumbre relativa a datos sobre edificaciones.* Trabajo para la asignatura Control de Ruido Ambiental. Magíster en Acústica y Vibraciones. Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile.
- [24] 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.
- [25] Suárez, E. (2004) *Variable Acústica en Plan Regional de Desarrollo Urbano X Región de Los Lagos.* I Congreso Acústica Arquitectura, III Encuentro Chileno de Acústica y VI Jornadas de Estudiantes de Ingeniería Acústica INGEACUS 2004. Universidad Austral de Chile, Valdivia
- [26] Sociedad Española de Acústica (SEA). (2009). *Acústica Ambiental: análisis, legislación y soluciones.* ISBN 84-87985-18-1, España.
- [27] 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=ef62ca1c5a057010VgnVCM1000000dc0ca8c0RCRD&pk=5526347>
- [28] M. Ausejo, M. Recuero, C. Asensio, I. (2011). *Reduction in Calculated Uncertainty of a Noise Map by Improving the Traffic Model Data Through Two Phases.* Acta Acustica United with Acustica. Vol. 97 (2011) 761–768
- [29] Sánchez J.I. y González J. (1996). *Modelo matemático para la medida del Leq en zonas urbanas de Chile.* Jornadas Nacionales de Acústica Técnica Barcelona 96. Disponible en Internet en: <http://www.sea-acustica.es/publicaciones/4350sr149.pdf>
- [30] González, A., Gaja E., Jorysz A., Torres G. (2000) *Monitoreo de Ruido Urbano: Determinación del Tiempo Mínimo de Muestreo en la Ciudad de Montevideo, Uruguay.* Memorias II Congreso Iberoamericano de

Acústica, Tecniacústica 2000, Madrid, España.

- [31] Instituto Nacional de Estadística INE (2007), *División Político Administrativa y Censal 2007*, Santiago, Chile.
Disponible en Internet en:
http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/territorio/division_politico_administrativa/pdf/DPA_COMPLETA.pdf
- [32] Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones SECTRA (2011), Desarrollo de un Modelo de Emisiones de Ruidos de Fuentes Móviles. Informe de Avance N°3. Consultor: DICTUC.