

3. ACTIVIDADES DEL PLAN DE TRABAJO.

En esta sección se describe los resultados de las actividades consideradas en el Plan de Trabajo v2.0. La presentación de las actividades mantiene el orden establecido en los Términos de Referencia. Se incluyen la metodología utilizada, los datos obtenidos, su discusión y conclusiones.

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

Elaborar los Mapas de Ruido para las comunas de Providencia y Antofagasta, mediante el Software de Modelación Cadna/A Noise Mapping (Cadna/A Estándar + extensión BMP + extensión XL), cuyos resultados deben presentarse en un sistema de información geográfica.

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

De manera general, se destacan las siguientes actividades:

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

3.1.1. Análisis de la información de la Fase I.

Se realizó la revisión del Informe Final de la Fase I [1] Mapas de Ruido Antofagasta – Providencia y de la información disponible de acuerdo a los puntos siguientes.

- Cartografía y Topografía.
 - Modelo digital de terreno (archivo formato *.dwg, *.dxf, *.shp, base de datos, archivos de texto, u otro compatible con las opciones de importación en Cadna/A), el cual contiene la siguiente información:
 - Curvas de nivel.
 - Edificios (altura).
 - Calles.
 - Información anexa (nombre de calles, etc.).
- Meteorología.
 - Datos estadísticos anuales.
 - Temperatura (°C).
 - Humedad relativa (%).
 - Velocidad de viento y dirección.
- Tráfico.
 - Descripción de carreteras.
 - Identificación (nombre, ubicación).
 - Número de calles, sentido de circulación.
 - Ancho de calles y pendiente.
 - Tipo de carpeta
 - Flujo de Tráfico.
 - Conteo de vehículos para diversos períodos.
 - Tipo de circulación: fluida, acelerada, desacelerada y pulsada.
 - Velocidades de circulación de vehículos.
- Otros.
 - Plan regulador.
 - Etc.

3.1.1.1. Respetto a la información cartográfica

En la revisión de la base de datos ArcGIS se encontraron inconsistencias entre la información en formato Excel y ArcGIS, fundamentalmente los valores de flujo vehicular son diferentes. Esta diferencia se genera porque se utilizaron diferentes períodos de tiempo (24 horas y 16 horas respectivamente) para extrapolar el flujo diario. Respecto al flujo nocturno, se ha estimado en el 30% del valor flujo diario, según lo definido en el Informe de la Fase I. En este informe se indica que *“Los valores de horario nocturno son estimados en base a estimaciones de la UOCT que indican que el flujo vehicular nocturno es un 30% del valor promedio diario”*. Para todos los efectos de la modelación se ha considerado la base de datos .GIS. Los archivos originales GIS presentan incompatibilidad entre nombres de atributos y formato de entrada a Cadna/A lo que se solucionó y se obtuvo una base de datos adecuada para los fines de este Estudio. Con el fin de solucionar este tipo de problemas, se han comentado estos aspectos en el documento Protocolo de Elaboración de Mapas de Ruido correspondiente al Anexo VII del presente informe.

Como resultado del análisis de la información cartográfica de entrada para las edificaciones de la comuna Providencia, se concluyó que tal información se encuentra incompleta. Lamentablemente la falta de información para efectos del estudio es importante, ya que la modelación de ruido de tráfico requiere del levantamiento de todas las edificaciones que existen en el área de estudio para realizar los cálculos apropiadamente. Es necesario comentar que durante el desarrollo de la Fase II no fue posible obtener la información faltante, ya que estaba fuera del alcance del Proyecto (tanto por el tiempo necesario como por los costos). Sin perjuicio de lo anterior, los resultados de los mapas de ruido obtenidos son confiables en sus resultados, pero tienen las limitaciones que aquí se comentan.

Como recomendación para futuros estudios en estas materias se sugiere efectuar un exhaustivo análisis preliminar de las edificaciones presentes en el área a modelar, estableciendo los criterios de selección y las limitaciones observadas del caso. El equipo consultor trabajó en la presente Fase II solamente con la información levantada durante la Fase I en cuanto a las edificaciones para ambas comunas del caso piloto. Es pertinente también sugerir que en estudios futuros, quien efectúe las modelaciones sea el mismo que levanta la información. Lo anterior permitirá asumir la responsabilidad del proceso completo, y de solucionar aquellas deficiencias de información de mejor manera, en resguardo de un buen desarrollo del Proyecto.

Con el fin de ilustrar la mencionada falta de información, se muestra en la Figura 1 un sector de la comuna de Providencia donde se aprecian los datos cartográficos disponibles para la modelación según la Fase I del proyecto (polígonos blancos en la figura), sobre una fotografía satelital de Google Earth donde se muestran las edificaciones existentes en el mismo sector.

En este sentido cabe mencionar que considerando la primera línea de edificaciones, la modelación en estas áreas no presenta deficiencias. Los valores de espacios interiores de las manzanas y de otros que no se tiene

información, han sido estimados en base a los datos disponibles. Para el caso de las comunas modeladas, se realizaron los cálculos obteniendo valores que se estiman aceptables de acuerdo a los datos de entrada considerados.



Figura 1. Ejemplo de información de edificaciones disponible en un sector de la comuna de Providencia.

Posterior a la revisión de la información cartográfica disponible, se procedió a optimizar la información para su utilización como dato de entrada al software de modelación. Este proceso ha considerado fundamentalmente la eliminación de información innecesaria, no considerada en el modelo de ruido de tráfico seleccionado (RLS-90, cuya discusión se presenta más adelante en este informe), en archivos cartográficos. En virtud de lo anterior, no se ha considerado, la siguiente información de la Fase I,

- Información meteorológica.
- N° de vías por sentido.

- N° de sentidos.
- Ancho de banda de emisión.
- Sentido de tránsito.

3.1.1.2. Respecto a la información de Flujo Vehicular.

La relevancia de la determinación del flujo vehicular requiere un análisis detallado en cuanto a la metodología a emplear en su cuantificación. El procedimiento utilizado en la Fase I no parece el más apropiado a la luz de los resultados obtenidos en el desarrollo del presente estudio. Las razones son las siguientes:

1. La metodología utilizada no se explica con claridad, dejando dudas en ciertos aspectos relevantes. Las mediciones realizadas en la Fase I fueron de 15 minutos, y se llevaron a cabo en dos horarios durante el horario diurno: Horario Punta y Horario Valle. Con tales datos se procedió a extrapolar los datos promedios diarios. Este procedimiento no es suficiente para explicar situaciones en donde puede existir más de un horario punta o valle. Además, presume que todos los horarios punta y valles son iguales. El conteo de 15 minutos y su proyección a la cantidad promedio anual lleva implícito un alto riesgo de imprecisión, ya que una muestra de quince minutos es muy sensible al horario, día de la semana, mes y hasta año que se quiere caracterizar.
2. Se encontraron diferencias extremadamente significativas en los conteos de flujo vehicular de la Fase I en la ciudad de Antofagasta respecto a los conteos que se realizaron en esta Fase con el fin de validar los modelos de predicción de ruido de tráfico. Estas diferencias podrían obedecer a que la variación del flujo vehicular en la ciudad de Antofagasta respecto a la hora, día, semana y mes del año es mucho más sensible que en Providencia. En este caso, se debieron considerar acciones que permitieran cautelar la veracidad de la información obtenida, ya que de esto depende la modelación acústica a realizar. Otro elemento que se identifica sensible al obtener el valor del flujo vehicular, es el proceso de conteo mismo. En este sentido, es necesario incluir un mecanismo de comprobación de la veracidad de los datos recogidos y de su variabilidad y representatividad temporal. De existir algún indicio que identifique una variación relevante en la información obtenida, se debería adecuar el proceso de obtención de datos, y aportar información que permita recoger esta variación o dispersión de datos al momento de modelar.

Tomando en consideración que los mapas de ruido se elaboran a partir de los datos de flujo vehicular obtenidos, se sugiere para estudios futuros que se incluya justamente un análisis de datos de flujo en cuanto a la representatividad temporal, de manera de poder asegurar la validez de la caracterización realizada.

A continuación se detallan algunos ejemplos de las diferencias de flujo vehicular para la comuna de Antofagasta a partir de los conteos de 15 minutos realizados en ambas Fases del Estudio.

Tabla 2. Diferencias de conteo de flujo vehicular entre Fases I y II, comuna de Antofagasta.

Nombre Vía	Vehículos Fase II				Vehículos Fase I			
	Hora Valle		Hora Punta		Hora Valle		Hora Punta	
	Livianos	Pesados	Livianos	Pesados	Livianos	Pesados	Livianos	Pesados
Séptimo de Línea	702	72	829	59	460	31	515	80
José Manuel Balmaceda	573	45	553	32	104	2	137	6
Avenida Argentina	313	44	371	44	87	2	160	11
Avenida Grecia	537	45	668	33	54	0	164	10
Avenida Antonio Rendic	105	4	109	2	286	17	422	56

Otro aspecto necesario de comentar es que en la Fase I se mal interpretó un criterio de corte para definir las vías que deben ser caracterizadas en una modelación de una zona poblada. El criterio utilizado en la Fase I hace referencia a la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental [13], donde se entrega un valor (3.000.000 de vehículos por año), pero refiriéndose a las autopistas que deben elaborar un mapa de ruido, y no a las vías de una ciudad que deben ser modeladas. Por lo tanto, la Fase I descartó la caracterización de vías a modelar en base a un criterio no diseñado para tales efectos, y por lo tanto, de dudosa validez.

La recomendación europea para definir las vías que deben ser caracterizadas para la modelación, depende del grado de complejidad asociado, la precisión y el costo de los datos que se deseen obtener [23]. En primer lugar, se recomienda obtener el conteo vehicular de todas las vías como mejor solución. Como segunda alternativa, asignar valores por defecto para el flujo de carreteras con flujos que se conocen, o que probablemente tengan flujos menores de cierta cifra por día o por año. Esta solución tiene en cuenta todas las vías. Y como tercera alternativa, sólo modelar las vías que tengan flujo superior a cierto valor determinado. Este es la solución más sencilla, pero tiene el riesgo de subestimar la exposición del ruido ambiental. Justamente el criterio utilizado en la Fase I corresponde a la tercera alternativa, pero se utilizó el valor anual de corte para determinar aquellas carreteras a ser modeladas para definir las calles de una ciudad a modelar (página 158 y siguientes del informe de la Fase I).

En virtud que la presente Fase II contempló realizar mediciones para validar la modelación, tales antecedentes han permitido corregir la estimación de flujo en donde fue posible y necesario, e incluir conteo y medición de calles adicionales con el fin de caracterizar de mejor manera la zona de estudio. Esta corrección se concretó en considerar los flujos vehiculares levantados en la presente Fase II en lugar de los flujos vehiculares levantados en la Fase I. Es necesario comentar que esta corrección tiene la limitante que los datos fueron obtenidos con el fin de validar mediciones con modelación y con el de caracterizar el flujo

vehicular para ser modelado, por lo tanto pueden adolecer de cierta representatividad temporal que debió realizarse respecto al flujo vehicular. Sin perjuicio de ello, el equipo consultor lo considera como una corrección aceptable para los fines de este estudio como caso piloto, ya que cuantifica el campo acústico y el flujo vehicular asociado en un punto de medición para un mismo momento e intervalo de tiempo.

Para estudios futuros se debe analizar y diseñar una metodología para la determinación del flujo vehicular a modelar. Este método deberá ponderar apropiadamente factores como la nocturnidad, la estacionalidad, influencia de festivos, y la variación de mediciones en ciertos horarios, etc. En principio se debería realizar una etapa preliminar de análisis de flujo, agrupando las calles de características similares y realizando conteos de vehículos de 24 horas en una calle de cada tipo, por ejemplo. Estos conteos diarios permitirían optimizar la metodología de conteo (horarios y duración de los períodos de conteo, según tipo de calle) para el resto de las calles.

3.1.2. Calibración de la modelación comunas de Providencia y Antofagasta.

- **Mediciones.**

Durante el desarrollo de la presente Fase II se realizaron mediciones de ruido que permitieron validar el modelo computacional. Las campañas se llevaron a cabo entre el 05 y 23 de octubre de 2009 en la comuna de Providencia y entre el 02 y 20 de noviembre de 2009 en la comuna de Antofagasta.

En virtud que este Proyecto es continuación de otro ya ejecutado, es que el criterio tanto para determinar los puntos de medición como la duración de las mediciones, está en armonía con los utilizados en la Fase previa. Se han considerado criterios planteados en la Fase I para la determinación de la ubicación de las estaciones de monitoreo (Punto 6.1.5 en [1]), los que son compatibles con el objetivo de las mediciones de la presente Fase. En este mismo sentido, se ha seguido en ambas comunas los criterios de la Fase I respecto al establecimiento de las estaciones móviles de medida (según Fase I de acuerdo a la información analizada).

- **Ubicación de puntos de medición.**

Para la selección de los puntos de medición se han considerando los siguientes criterios.

- La carpeta de rodado no debe poseer alteraciones tales como hoyos, tapas de cámaras sueltas y reductores de velocidad.
- Se han descartado sectores con actividades de esparcimiento en la cercanía.

- El punto de medición se ha ubicado generalmente a una distancia de 7.5 m perpendicular al eje de la calzada; de no ser posible se consideró una distancia mayor dentro de una cota máxima de 25 m.
- Los puntos de medición se encuentran suficientemente alejados de cruces con semáforos, Disco Pare, y Ceda el Paso, pues afectan el flujo vehicular (velocidad, frenado, etc.).
- No debe existir apantallamiento acústico de elementos sólidos entre la fuente de ruido (tránsito vehicular) y el punto de medición.

La definición de cada punto de medición definitivo se realizó en terreno, donde se verificó que efectivamente se cumplía con los criterios planteados y que el punto de medición no se viera afectado por otras fuentes de ruido distintas a la que se desea evaluar.

Respecto a este aspecto es necesario comentar que se descartó utilizar el criterio propuesto en la Fase I, el que define el cumplimiento de $L_{10} - L_{eq} > 3.8$, basado en un estudio español [16]. Los resultados de ese mismo estudio no permiten concluir tal afirmación, de hecho se concluye que se puede estimar el nivel equivalente a partir del L_{10} dado que en promedio se obtiene $L_{10} - L_{eq} = 2.5$. Sin duda que la afirmación establecida en la Fase I corresponde a una confusión.

- **Duración de cada medición.**

La duración de cada medición depende fundamentalmente del flujo vehicular existente. En situaciones de alto flujo vehicular es posible reducir el intervalo de medición incluso a 5 minutos con el fin de obtener valores acústicos confiables. Algunas normas establecen la necesidad de asegurar una cantidad mínima de paso de vehículos para establecer la duración de la medición. Otro criterio que se puede considerar a modo de referencia, es aquel relacionado con la estabilización de la lectura de sonómetro (por ejemplo, el criterio para medición de ruido de fondo de D.S.146/97 de MINSEGPRES [17]). Tomando en cuenta que el objetivo de las mediciones es realizar comparaciones que permitan validar el modelo computacional, que el conteo de vehículos de la Fase I se realizó en periodos de 15 minutos, y que hay recomendaciones para 15 minutos como tiempo mínimo de medición [18], se decidió utilizar este intervalo para las mediciones en las comunas del caso piloto.

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

- **Número de puntos de medición.**

Los puntos de medición deben permitir comparar, realizar ajustes y validar el modelo de predicción de ruido en cuanto al nivel generado por cada fuente (vía de tráfico vehicular) considerada en el Estudio (Metodología de Calibración). En consecuencia, se determinó un punto de medición por cada vía considerada como fuente de ruido en la modelación computacional (se consideró las vías señaladas en la base de datos ArcGIS de la Fase I del Estudio), realizando una medición en horario punta (7:00 – 9:00/ 18:00 – 20:00) y una en horario valle (9:00 – 18:00/ 20:00 – 21:00) en cada punto.

Además, se ha contemplado un control de los resultados de la modelación en puntos donde cobra importancia los parámetros relacionados con la propagación sonora. En consecuencia, se incorporaron 5 puntos de medición en cada comuna ubicados estratégicamente para considerar dicho efecto (barreras, reflexiones, etc.). Con estas mediciones y los escenarios definitivos de modelación para cada comuna del caso piloto, se estimó la desviación o incertidumbre de los Mapas de Ruido.

De acuerdo al Plan de Trabajo, para la comuna de Providencia se establecieron 53 puntos de medida y para la comuna de Antofagasta 43 puntos de medida, con el fin de establecer la emisión de las vías seleccionadas respectivamente. Con el fin de evaluar principalmente la fuente de ruido de tráfico, fue necesario ajustar el número de puntos de medición de vías a 48 en el caso de Providencia. Esta disminución de los puntos de medida corresponde a la dificultad de cuantificar sólo el ruido producido por el tránsito vehicular, única fuente considerada en la modelación. Los puntos descartados presentaban construcciones, estacionamientos, colegios y actividades de esparcimiento en las cercanías de las vías consideradas en la Fase I.

En el caso de Antofagasta se aumentó el número de puntos a 49. Se agregaron 4 puntos para calles incluidas en la información en formato Excel, pero que no se encontraban en la información de referencia en formato GIS, y 2 puntos para caracterizar dos vías con un alto flujo vehicular las cuales no fueron consideradas en la Fase I.

En el Anexo IV se indican los niveles medidos y niveles modelados para ambas comunas del caso piloto.

Con respecto al instrumental necesario para realizar las mediciones del Estudio, se utilizaron los equipos pertenecientes al Instituto de Acústica de la UACH, los que corresponden a dos sonómetros marca RION tipo 2 modelos NL20 y NL22. Todos los equipos cumplen con la normativa IEC 61672, y fueron debidamente calibrados.

- **Validación de los resultados.**

Respecto a la validación de los mapas de ruido en base a comparaciones entre valores simulados y medidos en los puntos de calibración, se siguieron las recomendaciones de la guía de buenas prácticas (*Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure*, Pág. 59, 61 y 67) [23], que entrega una guía con la información necesaria para ingresar al modelo. Dependiendo a su precisión, tiene asociado un cierto grado de incerteza.

En esta guía se indican valores de inexactitud asociados a cada parámetro de entrada que se ingresa al modelo predictivo (flujos, velocidades, topografía, edificaciones, etc.). Dado que la validación se realiza principalmente en base a mediciones en puntos ubicados junto a las vías modeladas, la exactitud de los niveles obtenidos mediante la modelación estarán determinados fundamentalmente por los parámetros Flujo Vehicular, Velocidad y Tipo de Carpeta.

En el caso del flujo vehicular la categoría de mayor exactitud corresponde al caso en que los flujos se han obtenido realizando conteos de vehículos en todos los períodos del día (día, tarde y noche). El siguiente intervalo de exactitud corresponde al caso en que se realizan conteos en algunas calles y se extrapolan a las calles similares, a cuya condición se le asocia una inexactitud de 2 dB. Se ha considerado que el conteo de períodos de solo 15 minutos en dos tipos de horario (punta y valle) es comparable, en el mejor de los casos, a este último nivel de precisión. Es decir, se asocia una inexactitud de 2 dB en el nivel modelado debido a la imprecisión en los flujos vehiculares establecidos.

Respecto a la velocidad, se emplean los valores máximos establecidos para cada calle o valores estimados con muy baja precisión (estimaciones realizadas en la inspección visual durante las mediciones). A este grado de precisión se le asocia una inexactitud de 2 dB.

La inexactitud asociada a imprecisiones en el establecimiento del tipo de carpeta es menor, y en el caso de la inspección visual se le asocia una inexactitud de 1 dB.

Finalmente, considerando que en los niveles obtenidos mediante modelación se mezclan el efecto de inexactitud de los tres parámetros mencionados anteriormente (Flujo, Velocidad, Carpeta), se ha establecido como criterio de validación que la desviación entre los resultados simulados y los esperados (medidos en este caso) serán de ± 5 dB, debido a la calidad de la información de entrada al modelo.

- **Con respecto a las simulaciones en Cadna/A.**

Selección de un modelo

Se han obtenido los niveles simulados para cada punto de medición mediante los modelos predictivos de ruido de tráfico rodado, en particular, la normativa francesa NMPB-96, alemana RLS-90 e inglesa CoRTN, con el fin de elegir el modelo a utilizar en los mapas definitivos.

Para el análisis de resultados se modelaron en ambas comunas los niveles día, nivel en horario punta y nivel en horario valle. Las tablas con los valores obtenidos de modelación y medición se incluyen en Anexo IV.

En los siguientes gráficos se puede observar de manera resumida el comportamiento de los diferentes modelos para el caso en estudio. En la Figura 2 se muestran las diferencias promedio entre nivel medido y nivel modelado para cada situación (Nivel día, Horario punta y Horario Valle) y cada modelo. El nivel día se obtiene a partir del flujo equivalente día, obtenido a partir de los conteos en horario valle y punta, según la siguiente expresión:

$$F_{día} = \frac{1}{16} (12 \cdot 4 \cdot N_{valle} + 4 \cdot 4 \cdot N_{punta}) \quad (3.1.1)$$

Donde, $F_{día}$ es el flujo promedio estimado para el período día, N_{valle} es el número de vehículos contados en horario valle y N_{punta} el número de vehículos en horario punta. Claramente los valores obtenidos para distintos escenarios reflejan un mejor comportamiento para el modelo RLS-90.

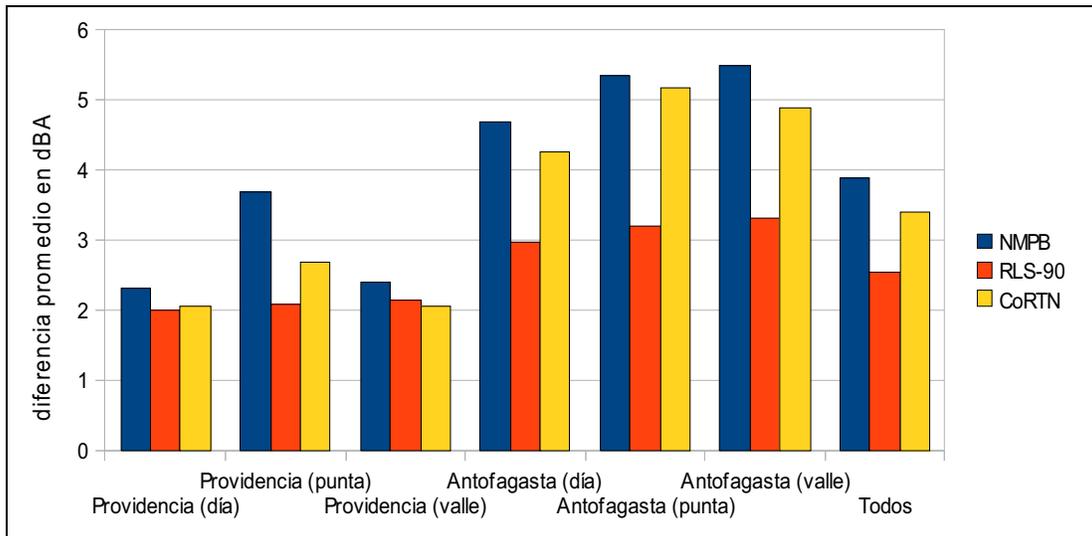


Figura 2. Diferencia promedio en dBA entre valor medido y modelación; “Todos” corresponde a considerar todos los datos en su conjunto.

En las Figuras 3 y 4, se representa el porcentaje de valores o puntos de medición que superaron una diferencia entre modelo y medición de 3 dBA y 5 dBA respectivamente. También estos resultados confirman el modelo RLS-90 como el más apropiado.

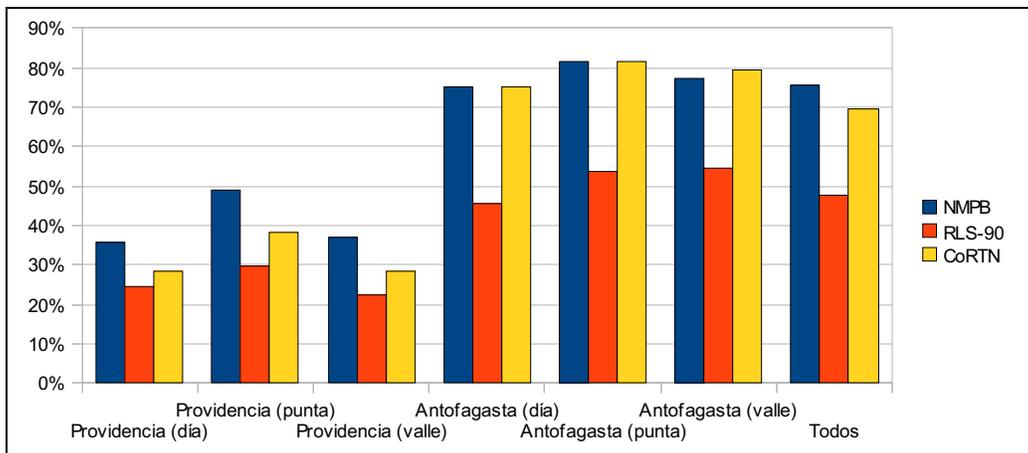


Figura 3. Porcentaje de puntos para los cuales se obtuvo una diferencia mayor o igual a 3 dBA entre valor medido y modelación. “Todos” corresponde a considerar todos los datos en su conjunto.

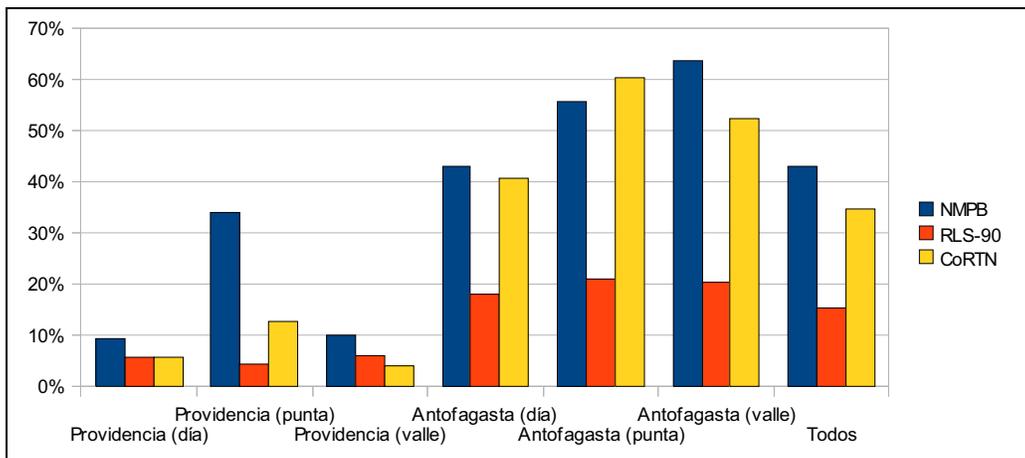


Figura 4. Porcentaje de puntos para los cuales se obtuvo una diferencia mayor o igual a 5 dBA entre valor medido y modelación. "Todos" corresponde a considerar todos los datos en su conjunto.

Los resultados de modelaciones y mediciones fueron también analizados estadísticamente mediante un test de Kolmogorov-Smirnov (Two-Sample Kolmogorov-Smirnov Test). Esta prueba no-paramétrica determina si hay diferencias significativas entre dos distribuciones de datos. La Tabla 4 contiene un resumen de los resultados obtenidos. Una explicación de este test se entrega más adelante.

Tabla 4. Resumen de resultados de probabilidad obtenidos mediante el test de Kolmogorov-Smirnov para establecer la similitud entre los valores medidos u observados y los resultados de cada modelo.

Resumen de probabilidad obtenida por test de Kolmogorov-Smirnov.			
	NMPB	RLS-90	CoRTN
Providencia (día)	0,429	0,744	0,302
Providencia (punta)	0,031	0,838	0,093
Providencia (valle)	0,380	0,856	0,259
Antofagasta (día)	0,001	0,076	0,006
Antofagasta (punta)	0,000	0,039	0,000
Antofagasta (valle)	0,000	0,043	0,001

Considerando los valores de probabilidad obtenidos mediante el test, a un nivel de significación del 0.05, se puede concluir que en el caso piloto bajo estudio, el mejor modelo es el RLS-90. La similitud entre valor modelado y medido es mucho mejor en la comuna de Providencia, mostrando el modelo RLS-90 un resultado

significativamente superior a los otros dos modelos. En Antofagasta los resultados reflejan una mayor diferencia entre modelo y medición, pero se mantiene un valor muy superior del modelo RLS-90.

Tanto el análisis de diferencias como el test de Kolmogorov-Smirnov, permiten concluir que el modelo de mejor comportamiento es el RLS-90. Por esta razón se ha seleccionado este modelo para realizar los mapas de ruido del Proyecto.

Respecto a los modelos predictivos de ruido de trenes, no se incluye un análisis en extenso con datos de medición, debido a la falta de información representativa (La Propuesta Técnica del equipo consultor aprobada por CONAMA, indica que *“las variables de entrada a la modelación serán aquellas entregadas como resultados de la Fase I del Estudio [1], y de ser necesaria, aquellos datos complementarios que pudiera aportar CONAMA para realizar apropiadamente la modelación y la información de la Fase I del Estudio [1]”*).

Sin perjuicio de lo anterior y de acuerdo a bibliografía consultada [29], se realizó un ejercicio analítico a partir de los datos consultados, obteniéndose una tabla comparativa entre cuatro modelos de cálculos:

- RMR 96 (SRM II) modelo holandés.
- Schall 03 modelo alemán.
- On S5011 modelo austriaco.
- NMT modelo países nórdicos.

Tabla 5. Comparativa de modelos de tráfico ferroviario.

Características	Método			
	RMR (SMR II)	Schall 03	ON S5011	NMT
Parámetros de Ruido básicos	Nivel de potencia sonora en banda de octava, calculados a partir de mediciones a diferentes Distancias y alturas. La emisión es en función de tipos de trenes y su velocidad. La influencia de la locomotora y frenado es considerada Aparte.	L_{Aeq} a una distancia de referencia de 25m y a 4m de altura, basados en mediciones. La emisión es en función de Tipos de trenes, longitud, Porcentaje de frenos de disco y velocidad	Nivel de potencia sonora en banda de octava a partir de mediciones a diferentes distancias y alturas. La emisión es en función de tipos de trenes y velocidad	
Rango de frecuencia	Desde 60Hz hasta 8000Hz	-	Desde 60Hz hasta 8000Hz	Desde 60Hz hasta 4000Hz
Ubicación de la fuente	4 fuentes con diferentes alturas, representando Diferentes mecanismos	Una fuente a nivel Del riel	Una fuente a 0,3m sobre el riel	Una fuente para Cada banda de octava, con su correspondiente altura

Características	Método			
	RMR (SMR II)	Schall 03	ON S5011	NMT
Dependencia de la velocidad	Para cada banda de Octava y fuente	Para el nivel con Ponderación A	Para cada banda De octava	Para cada banda De octava
Influencia de la vía	9 clases diferentes, Correcciones son dependiente de la frecuencia	4 clases diferentes	3 clases diferentes	Correcciones desde -6dB a +6dB pero no se especifica alguna Clasificación. No dependiente de la frecuencia
Influencia de juntas, switches, Cruces y puentes	Tabla con correcciones, dependientes de la frecuencia	-	-	Tabla con correcciones. Valores no dependientes de la frecuencia
Parámetros específicos	Trenes locales y consideraciones de rugosidad De disco	-	-	-

De la Tabla 5 se desprende que el modelo más detallado y específico corresponde al holandés (RMR), y luego el modelo nórdico (NMT).

Sin embargo, es necesario destacar que esta comparativa corresponde a un ejercicio teórico, y que una comparación más profunda debe incluir mediciones, las cuales no fueron contempladas en esta etapa del Proyecto.

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

Para realizar la modelación, se establecieron los parámetros de configuración de cálculo en el software Cadna/A (orden de reflexiones, error máximo, etc.) a través de una revisión de antecedentes bibliográficos, inspección visual en terreno y solicitud especial de CONAMA. Mayor detalle de este proceso se encuentra en el anexo Protocolo de Elaboración de Mapas de Ruido.

De acuerdo al procedimiento definido, la interpolación de la malla de cómputo es de 10 x 10 m [13], el orden de reflexión es de 1 (según acuerdo con CONAMA, y en virtud de optimizar los tiempos de cálculo, pues las reflexiones de orden superior no presentan diferencias significativas en el resultado final, pero si en los tiempos de cálculo), la absorción del suelo corresponde a $G=0$ (inspección visual, suelo duro), y el coeficiente de absorción de edificios corresponde a 0.4 [23].

Se elaboraron los Mapas de Ruido de ambas comunas del caso piloto, para dos condiciones: nivel día, y nivel noche. Se consideró un *flujo vehicular día* estimado a partir de los conteos en horario punta y valle (ver sección 3.1.2. *Selección de un modelo*) y un *flujo vehicular noche*, igual a un 30% del flujo día (de acuerdo a lo establecido en informe de la Fase I). Los correspondientes mapas se muestran en las Figuras 5 a 8. Una mejor visualización se encuentra en el CD adjunto en la carpeta MAPAS. Los mapas se encuentran en formatos .pdf en tamaño carta y tamaño A0. Además se entrega un archivo cobertura "shapefile" para ser utilizado en un sistema de información geográfica GIS.

Datos de flujo actualizados

Dado que la base de datos de la Fase I contempla solo los datos de flujo de las calles con un flujo mayor a 3.000.000 de vehículos por año, los mapas preliminares presentados en el Informe Final v1.0 de diciembre 2009 se encuentran incompletos. En ambas comunas del caso piloto existe una gran cantidad de calles con flujo vehicular considerable las que no son pertinentes de ser modeladas de acuerdo a este criterio. Esta información se indicó oportunamente a la Contraparte Técnica, con quien se acordó la extensión de contrato [25] con la finalidad de incluir las calles descartadas al aplicar criterio utilizado en la Fase I [1].

En atención a lo anterior, y tomando en consideración las recomendaciones de la guía de buenas prácticas (*Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure*, Pág. 59) [23], se ha asignado datos de flujo vehicular a las calles descartadas inicialmente lo que se indica en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores de flujo sugeridos en el caso de no contar con información y no ser factible realizar conteos [23], se indica número de vehículos por período del día.

Tipo de vía	Día	Tarde	Noche
Calle sin salida	175	50	25
Vías de Servicio (principalmente utilizada por los residentes)	350	100	50
Vías colectoras (colectan tránsito de vías de servicio y aportan tránsito a vías principales)	700	200	100
Pequeños caminos principales	1400	400	200

Para corregir los mapas de ruido preliminares, se han asignado flujos vehiculares de acuerdo al siguiente criterio:

- Se asigna a las calles sin salida el flujo más bajo incluido en la Tabla 6.
- En los casos de calles en que la inspección visual realizada en la etapa de mediciones (especialmente en Antofagasta) ha permitido seleccionar alguno de los tipos indicados en la Tabla 6 como el más cercano, se asigna el flujo correspondiente.
- Se asigna al resto de las calles sin información el valor intermedio, correspondiente a la clasificación "Collecting roads".

Este criterio se ha acordado con la Contraparte Técnica, y ha permitido elaborar nuevos mapas de ruido, distintos a los incluidos en el Informe Final v1.0 los que se presentan en las figuras siguientes.

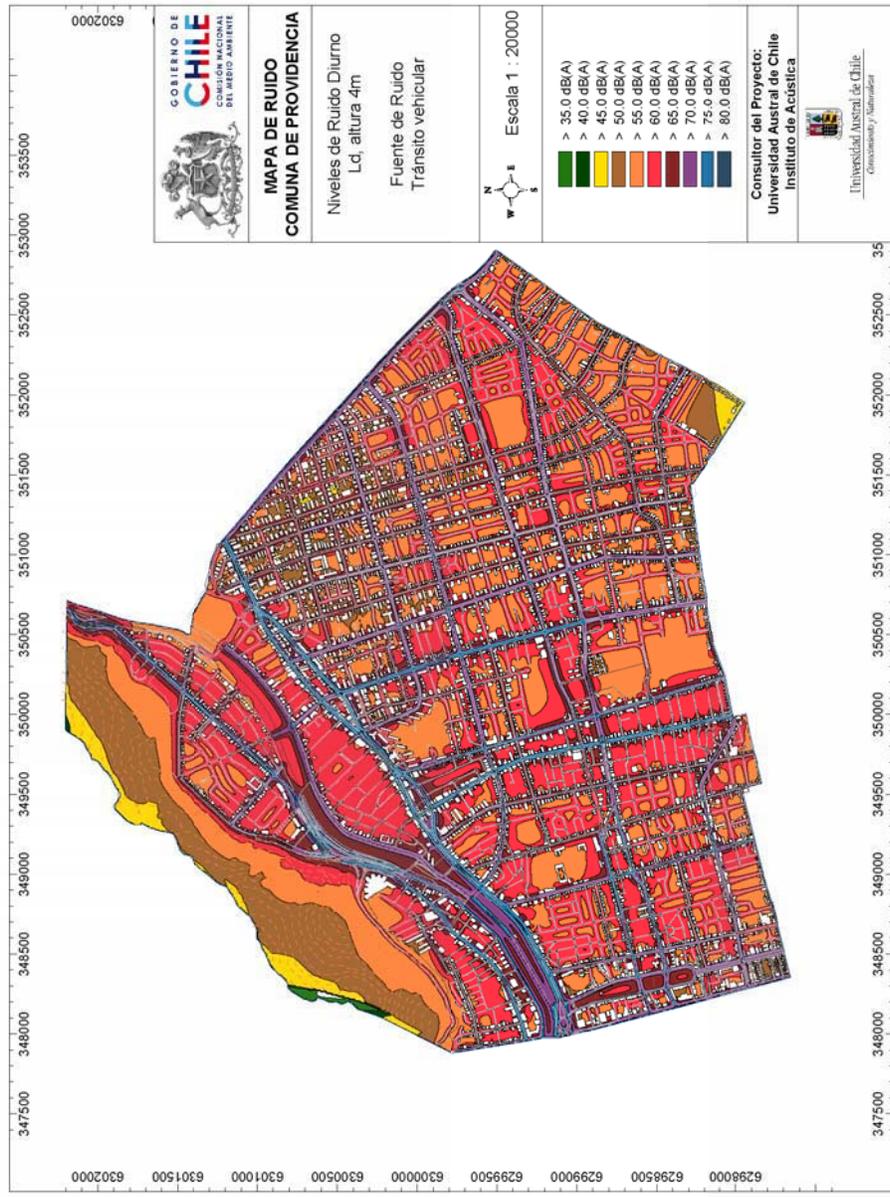


Figura 5. Mapa de Ruido Nivel Dia (L_d), horario 07:00 - 23:00 hrs. comuna de Providencia.

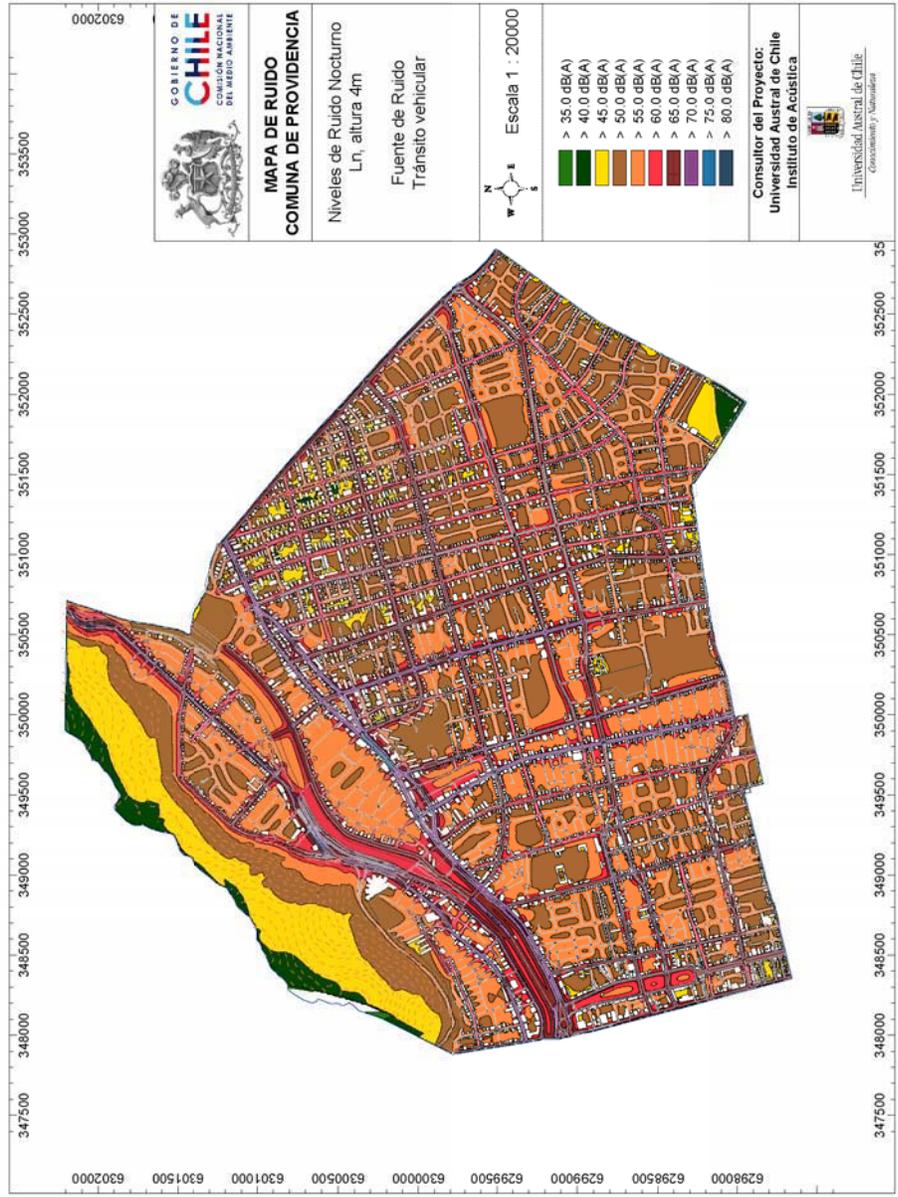


Figura 6. Mapa de Ruido Nivel Noche (L_n), horario 23:00 - 07:00 hrs. comuna de Providencia.

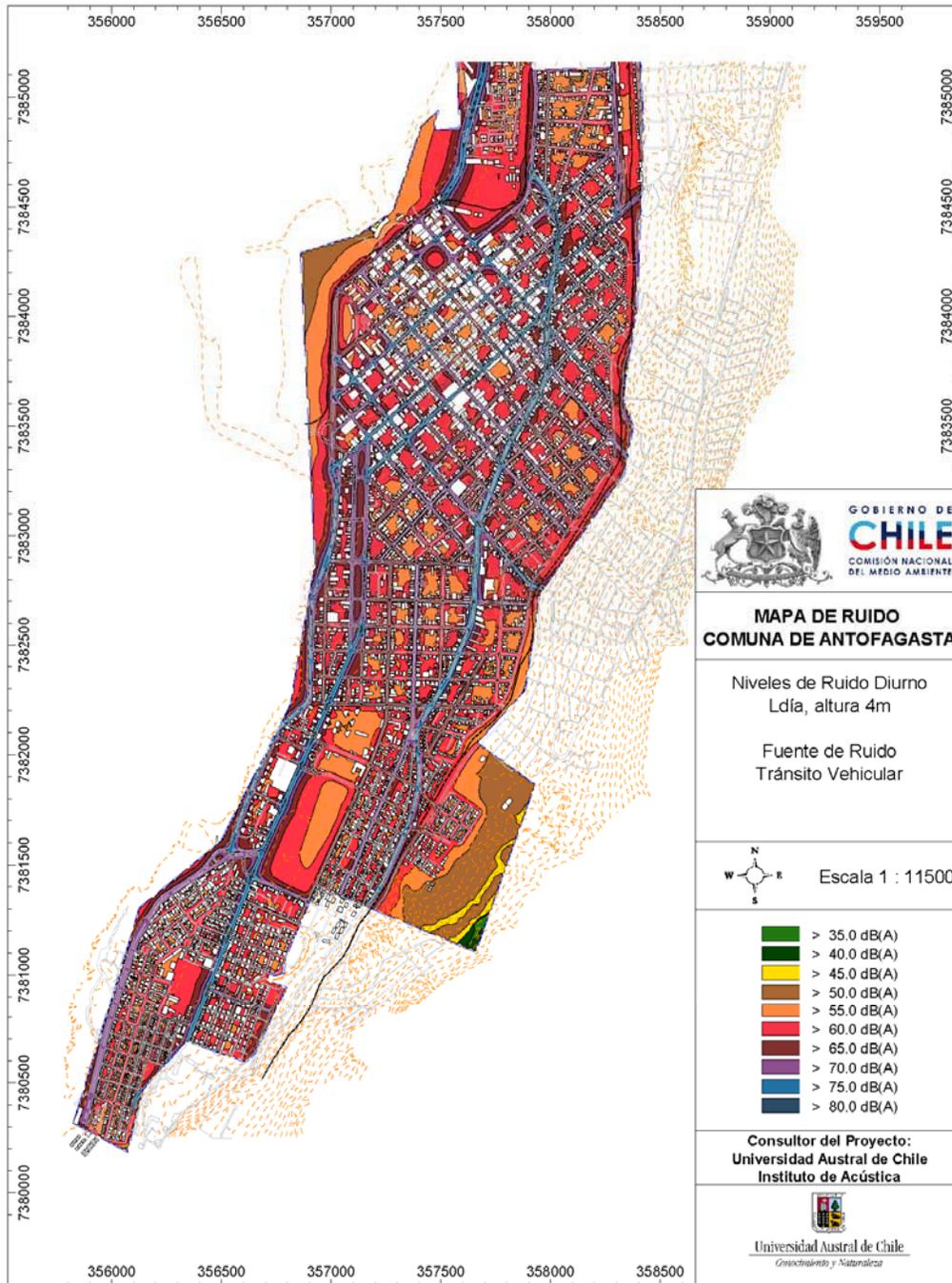


Figura 7. Mapa de Ruido Nivel Día (L_d), horario 07:00 - 23:00 hrs. comuna de Antofagasta.

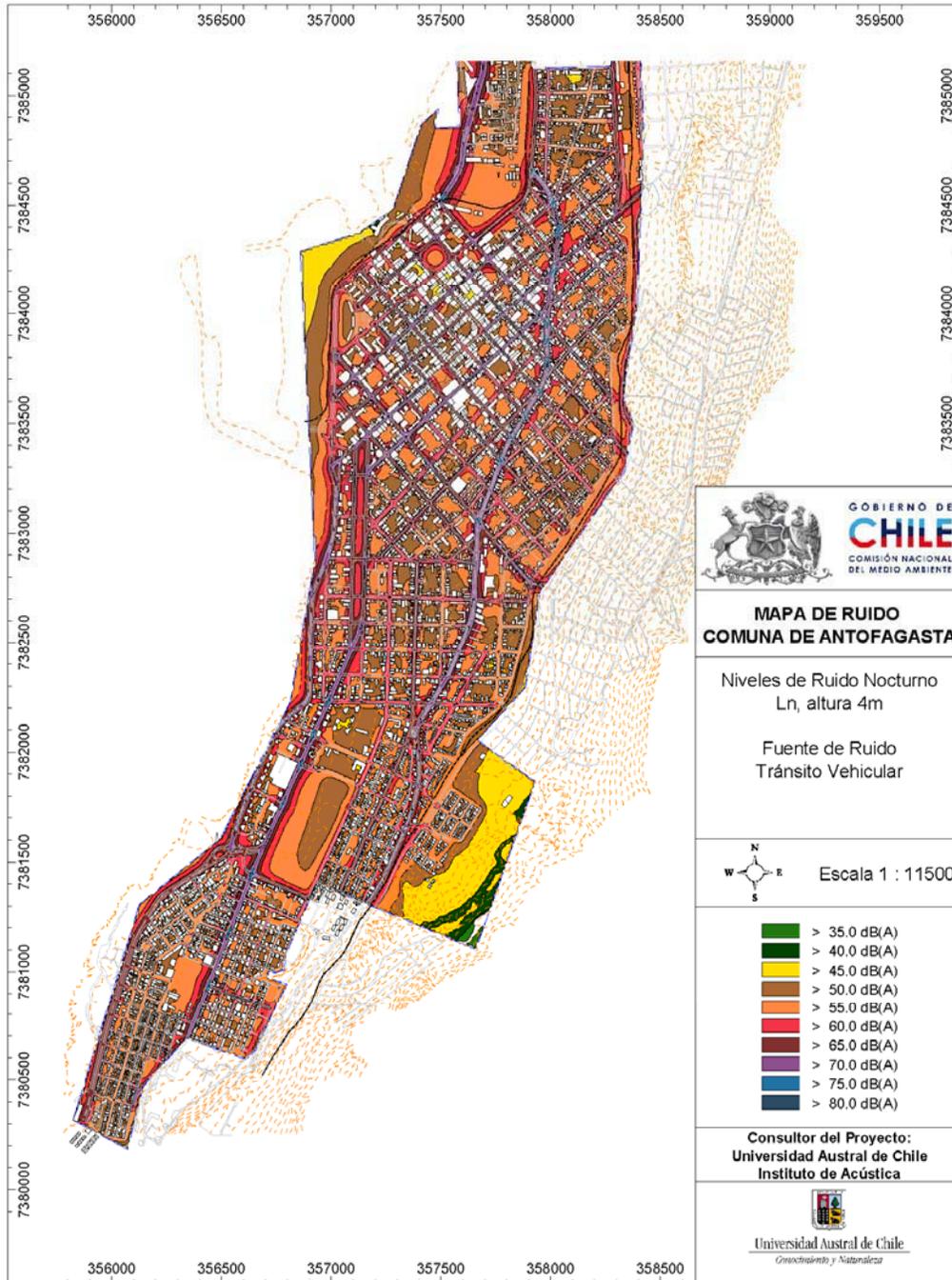


Figura 8. Mapa de Ruido Nivel Noche (L_n), horario 23:00 - 07:00 hrs. comuna de Antofagasta.