

Anexo 1

Actualización de la evaluación de riesgo a la salud por ruido ambiental en la población adyacente a la Subestación Ancoa

Región del Maule

Noviembre 2021



Elaborado por:

Gestión Ambiental Consultores S.A.
General del Canto 421, Piso 6, Providencia,
Santiago, Chile - Fono: +56 2 2719 5600

www.gac.cl

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	1
RESUMEN EJECUTIVO	3
1. INTRODUCCIÓN	7
2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	11
3. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO EN SALUD DE LA POBLACIÓN CERCANA A LA SUBESTACIÓN ANCOA	12
3.1. Evaluación del riesgo en receptores sensibles por exposición ruido ambiental nocturno	12
3.1.1 Identificación del Peligro	13
3.1.2 Evaluación de la Exposición	13
3.1.3 Evaluación Dosis – Respuesta	14
3.1.4 Caracterización del riesgo	14
4. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE RIESGO POR EXPOSICIÓN A RUIDO AMBIENTAL	14
4.1. Identificación del Peligro	14
4.2. Evaluación de la exposición	17
4.2.1 Ruta de Exposición	17
4.2.2 Descripción del área de influencia del ruido ambiental	20
4.2.3 Dosis de Exposición	22
4.3. Evaluación de la Dosis-Respuesta	26
4.4. Caracterización del riesgo	34
4.5. Análisis de incertidumbre de la exposición ambiental	36
5. CONCLUSIONES	37
6. BIBLIOGRAFÍA	38

APÉNDICES

Apéndice 1: Antecedentes curriculares de los profesionales

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Denuncias recibidas por la SMA	7
Tabla 1-2: Estandarización de nomenclaturas asociadas a los receptores sensibles de las emisiones de ruido generadas por la Subestación Ancoa	10
Tabla 4-1: Mediciones utilizadas para evaluar efectos en salud por ruido nocturno	21
Tabla 4-2: Dosis de exposición al ruido ambiental nocturno de todos los receptores sensibles.....	25
Tabla 4-3: Efectos en salud del ruido ambiental, medidas de resultados identificadas y justificaciones para la selección	27
Tabla 4-4: Asociación entre incremento del ruido ambiental y el % de población con alta molestia	32
Tabla 4-5: Asociación entre ruido por tráfico vehicular y perturbaciones del sueño	33
Tabla 4-6: Asociación entre incremento del ruido ambiental y el % de población con perturbación del sueño	33
Tabla 4-7: Niveles máximos permisibles de NPC según D.S. N° 38/2011 del MMA.....	35
Tabla 4-8: Caracterización del riesgo en salud por exposición a ruidos nocturnos	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Ubicación de los receptores, según nomenclatura estandarizada	11
Figura 3-1: Etapas de la evaluación de riesgos ambientales	13
Figura 4-1: Instalaciones que pueden considerarse fuentes generadoras de ruido	18
Figura 4-2: Fotografías de las distintas fuentes emisoras de ruido al interior de la Subestación Ancoa....	18
Figura 4-3: Ruta de exposición del Estudio de Riesgo a la Salud por ruidos nocturnos.....	20
Figura 4-4: Exposición al ruido y daño auditivo	23
Figura 4-5: Valores en dB, producidos por sonidos comunes	24
Figura 4-6: Curva dosis-respuesta % población que declara Alta Molestia (HA) y ruido ambiental.....	32
Figura 4-7: Metodología de análisis efectos en salud por exposición a ruidos.....	34

PRESENTACIÓN

El presente estudio de riesgo en salud ha sido preparado por los Dres. Claudio Vargas y Soledad Ubilla¹, para establecer los potenciales efectos negativos de la infracción imputada mediante Res. Ex. N° 1/Rol D-094-2020, de 9 de julio de 2020, de la Superintendencia del Medio Ambiente, que resuelve formular cargos en contra de TRANSELEC S.A. (en adelante, “Transelec”), Alto Jahuel Transmisora de Energía S.A. (en adelante, “Alto Jahuel”) y Charrúa Transmisora de Energía S.A. (en adelante, “Charrúa”), por el siguiente hecho:

1. La obtención, con fecha 12 de diciembre de 2019, de un Nivel de Presión Sonora Corregido (NPC) de 50 dB(A), efectuada en horario nocturno, en condición externa, en un receptor sensible ubicado en zona rural; y
2. La obtención, con fecha 3 de marzo de 2020 de Niveles de Presión Sonora Corregidos (NPC) de 50, 53, 42 y 47 dB(A); con fecha 4 de marzo de 2020 de Niveles de Presión Sonora Corregidos (NPC) de 50, 53 y 44 dB(A);
3. Con fecha 5 de marzo de 2020, de Niveles de Presión Sonora Corregidos (NPC) de, 50, 55, 41 y 47 dB(A), efectuadas en horario nocturno, en condición externa, en cuatro receptores sensibles, ubicados en zona rural.

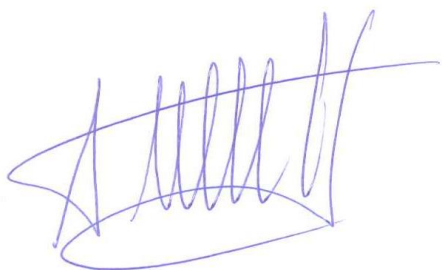
De acuerdo a la misma resolución, el hecho, acto u omisión constituiría infracciones, conforme al artículo 35, letra h), de la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente (LOSMA), en cuanto corresponden a incumplimiento de la Norma de Emisión establecida en el Decreto Supremo N° 38/2011, del Ministerio del Medio Ambiente, que Establece Norma de Emisión de Ruidos Generados por Fuentes que Indica (en adelante, “D.S. N° 38/2011”), conforme al artículo 6, números 10, letra c), y 13, que señalan que son fuentes emisoras de ruido los elementos de infraestructura energética, definidas como aquellas *“instalaciones de generación, distribución o almacenamiento de energía, combustibles o telecomunicaciones; y redes de distribución o conducción de energía, combustibles o telecomunicaciones.”*

Considerando que TRANSELEC S.A. (en adelante, “Transelec”), Alto Jahuel Transmisora de Energía S.A. (en adelante, “Alto Jahuel”) y Charrúa Transmisora de Energía S.A. (en adelante, “Charrúa”) han propuesto un Programa de Cumplimiento unificado para revertir la situación, el presente estudio actualizado está orientado a evaluar el riesgo a la salud por efectos del incremento de las emisiones de

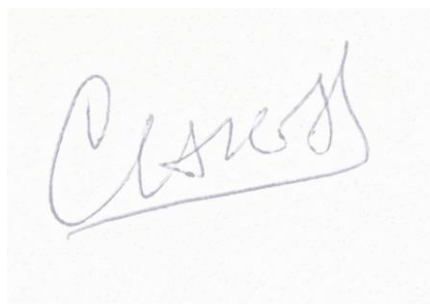
¹ Ver en Apéndice 1 los CV de ambos profesionales.

ruido generadas por la Subestación Ancoa sobre los receptores sensibles; dando respuesta a todas las observaciones realizadas en la Res. Ex. N° 8/ ROL D-094-2020 del 4 de octubre de 2021.

Tal como fue señalado en la primera versión del presente estudio, se señala que las conclusiones del presente estudio son de exclusiva responsabilidad del equipo que participó en el mismo. Las condiciones establecidas para la elaboración de estos estudios, exige la independencia de los expertos con relación a este estudio y su libertad para publicar los resultados en los medios de su elección de preferencia con evaluación por pares.



Dra. Soledad Ubilla F.



Dr. Claudio Vargas R.

RESUMEN EJECUTIVO

Se define ruido como todo sonido no deseado, que puede producir daños fisiológicos y/o psicológicos. El ruido presenta grandes diferencias, con respecto a otros contaminantes:

- Es el contaminante más barato.
- Es fácil de producir y necesita muy poca energía para ser emitido.
- Es complejo de medir y cuantificar.
- No deja residuos, no tiene un efecto acumulativo en el medio, pero si puede tener un efecto acumulativo en el hombre.
- Tiene un radio de acción mucho menor que otros contaminantes.
- No se traslada a través de los sistemas naturales.
- Se percibe solo por un sentido: el Oído, lo cual hace subestimar su efecto; (esto no sucede con el agua, por ejemplo, donde la contaminación se puede percibir por su aspecto, olor y sabor).

De la revisión de evidencia en salud por exposición a ruido ambiental, se concluye que la Guía de Recomendaciones para el Ruido Ambiental de la OMS (Oficina Regional Europea) constituye el instrumento normativo orientador más actualizado (fue elaborada el 2018), que recoge el conjunto de todas las revisiones sistemáticas (metaanálisis) de la evidencia de efectos en salud a consecuencia del ruido ambiental a la fecha. En particular, la guía de la OMS provee una revisión en profundidad de todos los estudios relacionados con los efectos cardiovasculares del ruido y otra de los efectos del ruido nocturno sobre el sueño.

Con los resultados obtenidos en todas las mediciones realizadas, se analizan los posibles efectos sobre la salud (trastornos del sueño y molestias) considerando la evidencia entregada en la guía actualizada de la OMS (2018). Cabe señalar que el objetivo de este informe es evaluar si la superación de la norma de ruido ambiental DS N°38/2012 confirmada en estos receptores significó la generación de efectos sobre la salud de esa población, por lo cual, tal como lo indica la OMS solo se consideran los valores absolutos medidos en el exterior de cada receptor sensible.

Para este análisis, se ha tenido en consideración a las recomendaciones entregadas por la OMS² que entrega orientaciones para la protección de la salud humana frente a la exposición nociva al ruido ambiental y que establece recomendaciones basadas en la exposición media a diferentes fuentes relevantes, las cuales también son avaladas por diferentes estudios.

Cabe destacar que los valores guía de la OMS (2018) son recomendaciones orientadas a la salud pública, basadas en pruebas científicas de los efectos sobre la salud y en una evaluación de los niveles de ruido

² [WHO/Europe | Environmental Noise Guidelines](#)

alcanzables. Estas recomendaciones que integran toda la evidencia revisada en las guías anteriores³, destacándose cinco nuevos conocimientos relevantes en la versión de 2018:

1. Incorporación de pruebas más sólidas de los efectos cardiovasculares y metabólicos del ruido ambiental sobre la salud humana.
2. Inclusión de nuevas fuentes de ruido, a saber, el ruido de las turbinas eólicas y el ruido del ocio, además del ruido del transporte (aviones, ferrocarril y tráfico rodado).
3. Uso de un enfoque estandarizado para evaluar las pruebas.
4. Todas las revisiones sistemáticas de las pruebas definen la relación entre la exposición al ruido y el riesgo de resultados para la salud; y
5. El uso de indicadores de exposición al ruido promedio de largo plazo para predecir mejor los resultados adversos para la salud, en comparación con las medidas de exposición al ruido de corto plazo.

Por lo cual, para evaluar los efectos sobre la salud de estos cinco receptores, se incluyen todas las mediciones realizadas en cada uno de estos cinco receptores definidos en la Res. Ex. N°8/ Rol D-094 2020 para construir la mejor representación de la realidad respecto de cuál es la exposición de largo plazo de ruido ambiental que permita predecir de mejor manera los efectos sobre la salud de esta población.

De acuerdo a lo señalado por la OMS, la exposición al ruido puede provocar efectos auditivos y no auditivos en la salud. Al dañar directamente el sistema auditivo, el ruido provoca efectos auditivos como la pérdida de audición y el tinnitus. Sin embargo se debe considerar que el ruido es también un factor de estrés inespecífico que ha demostrado tener un efecto adverso en la salud humana, especialmente tras una exposición prolongada. Estos efectos son el resultado de un malestar psicológico y fisiológico, así como una alteración de la homeostasis del organismo y un aumento de la carga alostática⁴ (Basner et al., 2014). Los trastornos del sueño y las molestias constituyen la mayor parte de la carga de enfermedad derivada del ruido ambiental y los estudios realizados por la Oficina Regional de OMS para Europa señalan que estos efectos en salud constituyen la segunda más alta después de la contaminación atmosférica. En consideración a toda la evidencia revisada se evaluarán como efectos en salud los trastornos del sueño y la molestia, utilizando para este análisis los dos indicadores que recomienda la OMS:

1. El porcentaje de la población expuesta "altamente perturbada por el sueño"
2. El porcentaje de la población expuesta "muy molesta por el ruido".

Tal como lo indica la norma chilena de ruido ambiental, D.S. N°38/2012, las mediciones realizadas en cada receptor consideraron el lugar, momento y condición de mayor exposición al ruido, de modo que

³ Night noise guidelines for Europe, 2009.

⁴ La carga alostática, es un concepto de la neurobiología y psiquiatría, tiene que ver con la capacidad que tiene nuestro cuerpo de recuperarse tras un evento estresante.

represente la situación más desfavorable para dicho receptor (art 16) y adicionalmente las mediciones se realizaron en las condiciones habituales de uso del lugar y se descartaron mediciones que incluyeron ruidos ocasionales (art 17).

De acuerdo a lo señalado por la SMA, en la actualización del informe de efectos, se ha considerado además de la Guía de Riesgo para la Salud de la Población (SEA 2012), lo indicado en la Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Ruido y Vibración en el SEIA (SEA 2019).

A partir del proceso sancionatorio instruido por la SMA debido a la superación de la norma de ruido nocturno por parte de la Subestación Ancoa que afectaría a receptores vecinos a esta planta, se ha realizado el presente Estudio de Riesgo a la Salud por Ruidos Nocturnos con el objetivo de establecer si este incumplimiento normativo ha generado un efecto sobre la salud de la población receptora.

La metodología utilizada para esta evaluación del riesgo se realiza en base a la Guía de Evaluación de Impacto Ambiental “Riesgo para la salud de la población” la cual considera los criterios establecidos en el Artículo 11, letra a), de la Ley N° 19.300, y que ha sido elaborada y publicada por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). Para el presente estudio se han establecido los siguientes pasos a seguir:

1. Identificación de peligros derivados del incremento de las emisiones de ruido nocturno en la población vecina a la fuente de exposición (Subestación Ancoa).
2. Elaboración del modelo conceptual de la ruta de exposición para este caso.
3. Evaluación de la exposición a las emisiones de ruido nocturno considerando la exposición promedio que afecta a cada uno de los cinco receptores indicados en la Res Ex N°08/Rol D-094 2020.
4. Evaluación de la dosis-respuesta, basado en la revisión de la evidencia realizada por la Organización Mundial de la Salud (OMS,2018) con relación a potenciales efectos derivados del incremento en las emisiones de ruido ambiental.
5. Caracterización del riesgo en salud, determinando si se identifican efectos sobre la salud asociados al incremento de las emisiones de ruido observado en la Subestación Ancoa.
6. Descripción de la naturaleza y magnitud de las fuentes de incertidumbre de manera que deberán ser ponderadas a la hora de evaluar los resultados y las conclusiones de la evaluación de riesgo.

Las directrices de OMS que permiten definir los niveles de exposición recomendados de ruido ambiental que protegen la salud de la población, no definen umbrales, específicamente NOAEL⁵, sino que se utilizan funciones de exposición-respuesta (ERF) estimadas a partir de la evidencia científica que provee la literatura para cada tipo de ruido, evidencia estadísticamente significativa que permite la construcción de la curva. El método usado para definir la recomendación fue un *benchmarking* consensuado por expertos, a partir de lo cual se concluyen un conjunto de efectos en salud respecto de lo cual existe

⁵ NOAEL: nivel al cual no se ven efectos.

evidencia para construir las curvas de dosis de exposición-respuesta que permiten establecer un criterio de alerta ante un potencial daño en la salud. Para este estudio se utilizan las curvas dosis respuesta por exposición al ruido del tráfico vehicular que es la evidencia más robusta a la fecha.

Basado en el hecho de que la norma de ruido es una norma de emisión, pero que se mide en la inmisión, por lo cual puede considerarse que, al igual que las normas primarias de calidad ambiental, la definición de un límite máximo estaría específicamente orientado a proteger la salud de los receptores cercanos. Por lo cual, se define que cualquier emisión por sobre el nivel de presión sonora corregido de 50 dB(A) podría generar potencialmente efectos a la salud (límite máximo para Zona III). Los posibles efectos en la salud que se podrían generar dado la evidencia revisada y los niveles de ruido medidos permiten evaluar el porcentaje de la población expuesta que podría presentar alta molestia (highly annoyance %HA) e importante perturbación del sueño (highly sleep disturbance %HSD).

Del análisis realizado es posible concluir que desde el punto de vista de evaluación del riesgo a la salud derivado de la situación constatada de superación de la norma de ruido nocturno en todos los receptores cercanos, en el receptor R2 un 2,5% de la personas allí expuestas podrían presentar como efectos en salud importantes perturbaciones del sueño en las condiciones más exigentes de análisis. En los otros receptores la probabilidad de presentar importantes perturbaciones en el sueño es menor (1,6% de la población que habita en R5; 1,3% de quienes viven en R1 y 0,7% de las personas que viven en R4). En R3 no hay probabilidad de que se presenten efectos en salud en las personas que allí residen.

Respecto de la presencia de molestias, la evaluación del riesgo a la salud derivado del incumplimiento normativo, indica que la probabilidad de presentar altas molestias es aún menor. Se estima que solamente un 0,1% de las personas que residen en R2 pudieran presentar el efecto en salud de molestias utilizando la recomendación OMS. En el resto de los receptores incluso utilizando el UCL95⁶ no se evidencia que este efecto se pudiera presentar.

Por los resultados presentados, utilizando la metodología de evaluación de riesgo en salud de la Guía SEA y los criterios de medición de efectos de la OMS, es razonable descartar la existencia de un riesgo potencial en la salud de las personas derivadas del hecho infraccional imputado.

Si bien, la mayor incertidumbre en el análisis proviene de la ausencia de funciones exposición-respuesta para el tipo de ruido generado por la Subestación en estudio, el hecho que el ruido emitido sea continuo, de baja intensidad y con pocas oscilaciones, evidenciado en la baja variabilidad de las diferentes mediciones realizadas en los receptores sensibles (R1, R2, R3, R4 y R5), avala que el carácter de este ruido es menos disruptivo del sueño, pudiendo en muchos casos no producir interrupciones, ni reducir el tiempo total de sueño.

⁶ UCL95: corresponde al valor medio basado en una muestra de mediciones que asegura con un 95% de confianza que la exposición real a ruido nocturno al cual han estado expuestos los receptores sensibles es igual o menor que este valor.

1. INTRODUCCIÓN

A partir de las denuncias recepcionadas por la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) en contra de la operación del proyecto, originadas todas ellas por habitantes de la localidad de Rincón de Pataguas, cuyas viviendas se encuentran cercanas a la Subestación Ancoa, se realiza un proceso de fiscalización de esta unidad, todo lo cual finalmente culmina con la formulación de cargos a las empresas que operan en la Subestación Ancoa: TRANSELEC S.A. Estas son: Colbún Transmisión S.A., rol único tributario 76.218.856-2; Sociedad Austral de Electricidad S.A. (SAESA), rol único tributario 76.073.162-5; y CELEO REDES Operación Chile S.A., rol único tributario 76.187.228-1.

A continuación, en la siguiente tabla se realiza un resumen de las denuncias ingresadas a la SMA y su contenido:

Tabla 1-1: Denuncias recibidas por la SMA

#	Denunciantes	Fecha	Materia denunciada
1	Armando Espinoza Sanhueza.	14-11-2018	Ruidos intensos que emanan del funcionamiento de la Subestación eléctrica Ancoa y líneas de alta tensión. La subestación eléctrica y predio del denunciante se encontrarían separadas únicamente por la ruta L-11, por lo que el afectado se encontraría frente al establecimiento emisor, y además una de las líneas de alta tensión pasaría por el costado de la propiedad, viéndose expuestos por ambos frentes. La emisión de ruidos molestos habría iniciado el año 2003 y se mantendría a la fecha, todos los días en forma constante, con mayor intensidad entre 1:00 y 13:00 horas. Asimismo, el ruido se intensificaría durante el invierno producto de las lluvias y vientos. Adicionalmente, se adjunta escritura pública de mandato otorgado por parte del Sr. Armando Espinoza Sanhueza a los abogados.

#	Denunciantes	Fecha	Materia denunciada
2	Ema Sepúlveda Villalobos; Miguelina Paz Riquelme; Silvia Narváez Cofré; Rosalina Basoalto Cofré; Julia Parra Cofré; Ana Parra Cofré; Abel Pérez Cáceres; Raquel Narváez Terreo; Héctor Parra Alfaro; Víctor Rebolledo Oses; Iván Basoalto Basoalto; Carlos Cáceres Basoalto; Manuel Basoalto Vilches; Claudia Basoalto Leiva; Ana Basoalto Leiva; Magdalena Basoalto Villarroel; Elisa Villarroel Candía; Filomena Cofré Parra; Adelina Sánchez González; Danitza Cofré Basoalto; Marisol Basoalto Basoalto; Gricelda Villar Ganga; Iris Canales Villar; Wilson Narváez Cofré; María Cofré González; Estefanía Muñoz Villar; Jacqueline Vargas Martínez; Macarena Narváez Paz; Fernanda Andrade Cofré; y Francisca Vargas González.	24-09-2019	Se indica que, al momento de aumentar la generación y distribución eléctrica de 220 KV a 500 KV de la subestación, no se habría considerado que las distancias de las viviendas originalmente se habían calculado para 220 KV. Por esta razón, el ruido generado por las instalaciones sería insoportable para los vecinos del sector. El ruido sería de carácter continuo, durante las 24 horas, y se intensificaría durante la noche y en los días en que hay niebla o lluvia. Además, los receptores se encontrarían a pocos metros de la fuente.

Fuente: Tabla N°1 en Formulación de cargos de la SMA.

En respuesta a estas denuncias la SMA realizó las siguientes inspecciones ambientales:

1. Que, con fechas 12 y 13 de diciembre de 2019, entre las 21:15 del día 12 de diciembre y las 00:30 del día 13 de diciembre, personal fiscalizador de esta Superintendencia acudió al sector Rincón de Pataguas para realizar mediciones de ruido en distintos receptores sensibles, conforme al procedimiento establecido en el D.S. N° 38/2011.
2. Que, con fecha 9 de enero de 2020, entre las 00:20 y las 00:45 horas, se llevó a cabo una nueva inspección por parte del personal fiscalizador de esta Superintendencia, para realizar mediciones de ruido en el mismo sector.
3. Que, los resultados de dicha fiscalización y del examen de la información remitida por el titular, fueron incorporadas en el expediente de fiscalización rol DFZ-2020-378-VII-RCA, el cual fue derivado a la División de Sanción y Cumplimiento de esta Superintendencia con fecha 19 de mayo de 2020.
4. Adicionalmente requirió información a Transelec S.A. mediante Res. Ex. RDM N°03/2020:
 - a. Con fecha 15 de enero de 2020, requirió información con el objeto de que este titular informara a la SMA sobre los niveles de presión sonora (ruido) generado por la

operación de sus instalaciones, emplazadas en Ruta L-11 S/N, Rincón de Pataguas, comuna de Colbún, Región del Maule. Para tal efecto, se realizaron indicaciones detalladas respecto de las mediciones, horario, puntos de medición (coordenadas), y realización del procedimiento por parte de una Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA).

- b. Con fecha 24 de marzo de 2020, mediante escrito remitido a esta Superintendencia, el titular dio respuesta a lo solicitado en el requerimiento de información, adjuntando los siguientes documentos:
- Anexo 1. Informe de inspección ambiental, de 9 de marzo de 2020, elaborado por la empresa Acustec. Dicho informe da cuenta de mediciones de ruido, conforme al D.S. N° 38/2011, realizadas los días 3, 4 y 5 de marzo de 2020, en período nocturno.
 - Anexo 2. Mediciones de Ruido en la Zona Centro Sur, Subestación Eléctrica (S/E) Ancoa, CICA Ingenieros Consultores, octubre 2014.
 - Anexo 3. Propuesta Técnica y Económica MD-CS-200107-V1, Control Acústico.

Que, finalmente, con fecha 4 de mayo de 2020, Transelec S.A. remitió un documento denominado “Estudio de Impacto Acústico, Predicción y Evaluación Normativa Subestación Ancoa”, cuyo objetivo fue evaluar los niveles de ruido generados por la operación de la Subestación Ancoa según el D.S. N° 38/2011, realizando un modelo de ruido de la situación actual, y elaborando un modelo de ruido de la subestación en su totalidad. Asimismo, el informe evalúa posibles medidas de control de ruido a implementar en el establecimiento.

En base a toda esta información, la SMA constata que:

- Se constataron superaciones de hasta 15 dB(A) por sobre los límites establecidos en la norma de ruido, establecida en el D.S. N° 38/2011, debido a la operación de la Subestación Ancoa, ubicada en el sector de Rincón de Pataguas, en 12 mediciones distintas, realizadas en 4 receptores sensibles cercanos a la fuente emisora, en 4 días distintos.
- Conforme a lo indicado por los 30 denunciantes individualizados anteriormente, existiría coincidencia en el hecho de que los ruidos son de carácter constante (durante las 24 horas del día), y que estos se intensificarían durante la noche, y que la situación empeoraría durante el período invernal.
- Que, la magnitud y el número de las excedencias constatadas, así como la cantidad de personas afectadas por esta situación y el carácter constante de la emisión de ruidos, darían cuenta de la existencia de un riesgo significativo para la salud de la población expuesta a los ruidos generados por la operación de la Subestación Ancoa.

En base a estos hechos, con fecha 3 de febrero de 2021, mediante Res. Ex. N° 5/Rol D-094-2020, la Superintendencia reformuló cargos en contra de los titulares Transelec, Alto Jahuel y Charrúa, debido a la superación de la norma establecida en el D.S. 38/2011 MMA, Título IV, artículo 9 que indica:

“Para zonas rurales se aplicará como nivel máximo permisible de presión sonora corregido (NPC), el menor valor entre:

a) Nivel de ruido de fondo + 10 dB(A)

b) NPC para Zona III de la Tabla 1.

Este criterio se aplicará tanto para el período diurno como nocturno, de forma separada”.

Finalmente a partir de la revisión de la Res. Ex N°8/ROL D-094-2020 de fecha 4 de octubre del 2021, donde la SMA formula observaciones al programa de cumplimiento presentado por Transelec S.A., Alto Jahuel Transmisora de Energía S.A. y Charrúa Transmisora de Energía S.A.; se procede a responder mediante la actualización del Informe de Efectos y el presente Anexo de Evaluación del Riesgo a la Salud.

La siguiente tabla y figura se actualizan los receptores que servirán como base para el análisis acústico, considerando todos aquellos indicados en la Res. Ex N°8/Rol D-094 2020.

Tabla 1-2. Estandarización de nomenclaturas asociadas a los receptores sensibles de las emisiones de ruido generadas por la Subestación Ancoa⁷

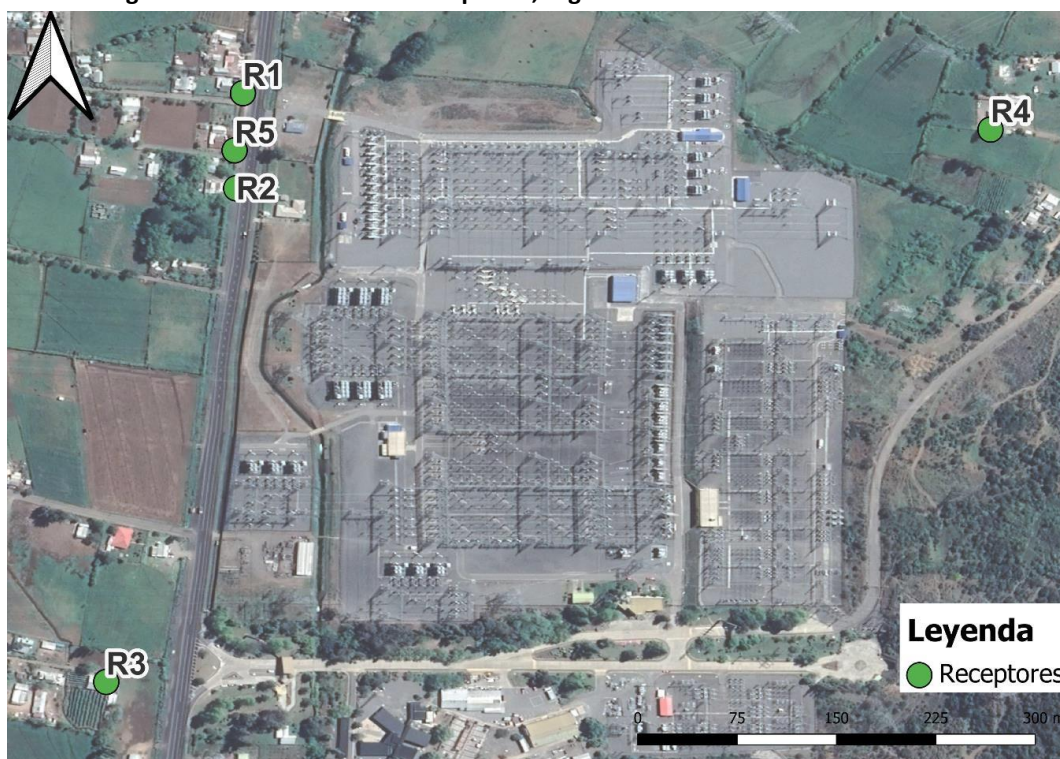
Receptor	Coordenada norte	Coordenada este	Datum	Huso
R1	6.048.791	284.468	WGS 84	19
R2	6.053.281	229.016	WGS 84	19
R3	6.048.766	284.466	WGS 84	19
R4	6.048.671	284.469	WGS 84	19
R5	6.048.788	284.472	WGS 84	19

Fuente: Tabla 1 de Res. Ex N°8/Rol D-094 2020.

⁷ La tabla 1 de Res. Ex N°8/Rol D-094 2020 posee algunas imprecisiones en las coordenadas UTM. Razón por la cual las coordenadas UTM a emplear son aquellas indicadas en la figura 1 de Res. Ex N°8 D-094 2020.

Punto	Uso Efectivo	Coordenadas UTM Datum WGS 84, Huso 19H	
		Este	Norte
R1	Habitacional	284477	6048841
R2	Habitacional	284474	6048753
R3	Habitacional	284387	6048295
R4	Habitacional	285042	6048821
R5	Habitacional	284472	6048788

Figura 1-1. Ubicación de los receptores, según nomenclatura estandarizada



Fuente: Figura 1 de Res. Ex N°8/Rol D-094 2020.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo del estudio es evaluar si las superaciones a los límites establecidos en el D.S. N° 38/2011 constatadas en las viviendas de los receptores sensibles a las emisiones de ruido generadas por la Subestación Ancoa, han generado un efecto sobre la salud de la población receptora de esta situación, en consideración a que la definición de GRAVE de la misma se fundamenta -según lo indicado por la SMA- “en virtud del numeral 2, letra b), del artículo 36 de la LOSMA”, que establece que son infracciones graves, los hechos, actos u omisiones que contravengan las disposiciones pertinentes y que, alternativamente “hayan generado un riesgo significativo para la salud de la población.” Ello en atención a lo señalado en los considerandos N° 28 a 30 de la misma resolución.

Por lo anterior, para la estimación de efectos sobre la salud a consecuencia de la superación de la norma, en el presente Anexo se evalúa el riesgo, cualitativa y cuantitativamente, en términos de cuanto aumenta la probabilidad de que la superación de la norma de ruidos en todos los receptores cercanos a la Subestación Ancoa, hubiera generado un efecto adverso sobre la salud.

3. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO EN SALUD DE LA POBLACIÓN CERCANA A LA SUBESTACIÓN ANCOA

3.1. Evaluación del riesgo en receptores sensibles por exposición ruido ambiental nocturno

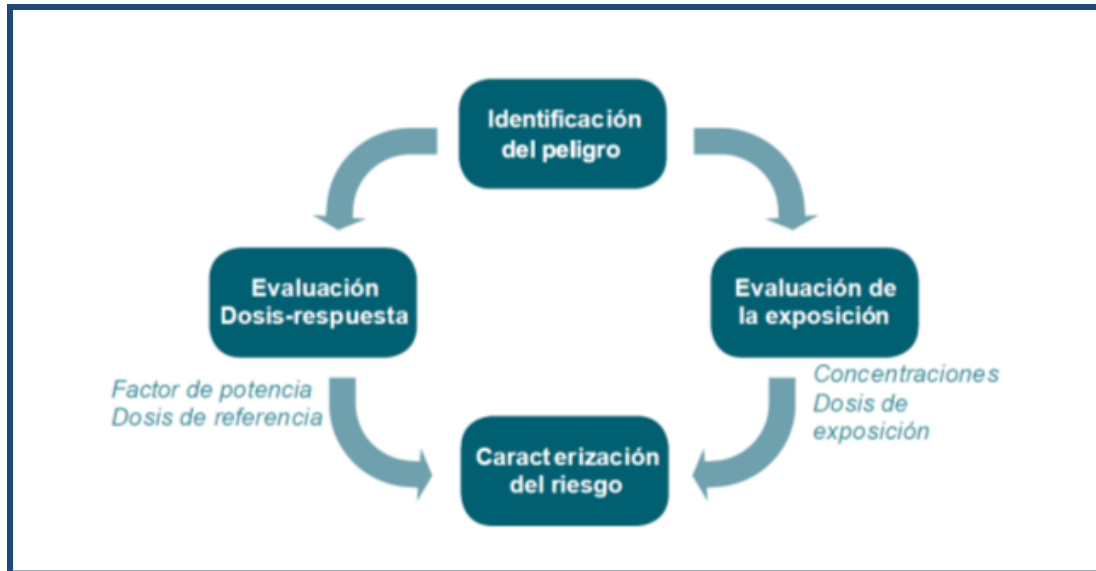
En base a la Guía de Evaluación de Impacto Ambiental “Riesgo para la salud de la población” la cual considera los criterios establecidos en el Artículo 11, letra a), de la Ley N° 19.300, y que ha sido elaborada y publicada por el SEA, para el presente estudio se han establecido los siguientes pasos a seguir:

1. Identificación de peligros derivados del incremento de las emisiones de ruido nocturno en la población vecina a la fuente de exposición (Subestación Ancoa).
2. Elaboración del modelo conceptual de la ruta de exposición para este caso.
3. Evaluación de la exposición a las emisiones de ruido nocturno en los receptores sensibles indicados en los considerandos 13 y 14 de la Res Ex N°8/ Rol D-094 2020.
4. Evaluación de dosis-respuesta, basado en la evidencia sistematizada en la última revisión de la OMS con relación a potenciales efectos derivados del incremento en las emisiones de ruido ambiental.
5. Caracterización del riesgo en salud, determinando si se identifican efectos sobre la salud asociados al incremento de las emisiones de ruido observado en la Subestación Ancoa.
6. Descripción de la naturaleza y magnitud de las fuentes de incertidumbre de manera que deberán ser ponderadas a la hora de evaluar los resultados y las conclusiones de la evaluación de riesgo.

El riesgo al que se refiere el artículo 11, letra a), de la Ley N° 19.300 corresponde al riesgo asociado a la exposición a un agente físico específico: el ruido. Para que se genere o presente riesgo para la salud debe existir una fuente generadora (“Subestación Ancoa”), un receptor (población humana que habita las viviendas R1, R2, R3, R4 y R5) y la posibilidad de migración del ruido hasta un punto de contacto con el receptor, es decir, una ruta de exposición completa o potencialmente completa.

Las etapas de la evaluación de los riesgos ambientales se resumen en la figura siguiente:

Figura 3-1: Etapas de la evaluación de riesgos ambientales



Fuente: Guía de evaluación de impacto ambiental riesgo para la salud de la población en el SEIA. 2012

Las etapas de la evaluación de riesgos en salud se resumen a continuación:

3.1.1 Identificación del Peligro

Tal como lo señala la guía del SEA, se define Peligro a la capacidad intrínseca de una sustancia, agente, objeto o situación de causar un efecto adverso sobre un receptor. En este caso se trata del agente físico ruido ambiental medido a través de los niveles de presión sonora corregido (NPC) en la unidad de medida decibelio (dB)⁸. Para que exista riesgo además de existir evidencia sobre el peligro, debe haber exposición a dicho peligro para lo cual se requiere de una ruta de exposición, es decir debe existir un contacto potencial de los receptores con la fuente de peligro. La exposición puede ser aguda (de segundos a días), intermedia (sub crónica) o crónica (más de un año).

3.1.2 Evaluación de la Exposición

A partir de la identificación de la(s) fuente(s) generadora(s) de niveles de Presión Sonora Corregido (NPC) en horario nocturno, medido en el exterior de las viviendas, en los cinco (5) receptores sensibles ubicados en el sector de Rincón de Pataguas (zona rural), vecinos a la Subestación Ancoa; se verificará la

⁸ El decibelio del nivel de presión sonora (dB SPL) es una medida de intensidad del sonido que toma como referencia el menor nivel de presión sonora que el oído humano medio puede detectar. En Chile se mide dBA que mide la respuesta del oído, ante un sonido de intensidad baja. Es la más semejante a la percepción logarítmica del oído humano. Se utiliza para establecer el nivel de contaminación acústica y el riesgo que sufre el hombre al ser expuesto a la misma.

existencia de una ruta de exposición y la probabilidad de que los niveles de ruido a los cuales han estado expuestos estos receptores, pudiera generar algún riesgo a la salud para esa población receptora.

3.1.3 Evaluación Dosis – Respuesta

La evaluación de la dosis de exposición se hará basada en la evidencia científica disponible a la fecha relacionada con la existencia de un nivel medio de presión sonora ponderado, medido durante el período nocturno sobre el cual se podría presentar un riesgo a la salud para la población receptora. Para este análisis se realizará una revisión de la evidencia disponible actualizada en la Organización Mundial de la Salud. Se utilizarán, las curvas dosis-respuesta y se compararán con la exposición estimada (para cada receptor crítico).

3.1.4 Caracterización del riesgo

Para caracterizar el riesgo en salud al cual podría verse expuesto los receptores vecinos a la Subestación Ancoa en la comuna de Colbún, se compararán los resultados de las mediciones de presión sonora corregido medido en cada receptor, con los niveles de ruido asociados a los potenciales efectos en salud indicados por la OMS. Se utilizará como guía de referencia la publicación más reciente de la OMS “Guías de ruido ambiental para la Región Europea” publicada el 2018, debido a que se introducen importantes modificaciones respecto de los criterios recomendados.

Estas últimas directrices incorporan todas las revisiones sistemáticas de la literatura pertinente, revisadas por expertos, con el fin de incorporar todas las importantes investigaciones realizadas desde la publicación de las Directrices de la OMS sobre el ruido nocturno en Europa en 2009. Dichas revisiones consideran el análisis de la evidencia en salud incluyendo efectos cardiovasculares y metabólicos, molestias, efectos en el sueño, deterioro cognitivo, deterioro auditivo y acúfenos, resultados adversos en el parto, y calidad de vida, salud mental y bienestar.

4. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE RIESGO POR EXPOSICIÓN A RUIDO AMBIENTAL

4.1. Identificación del Peligro

Se define ruido como todo sonido no deseado, que puede producir daños fisiológicos y/o psicológicos. El ruido presenta grandes diferencias, con respecto a otros contaminantes, las cuales se presentan a continuación:

- Es el contaminante más barato.

- Es fácil de producir y necesita muy poca energía para ser emitido.
- Es complejo de medir y cuantificar.
- No deja residuos, no tiene un efecto acumulativo en el medio, pero si puede tener un efecto acumulativo en el hombre.
- Tiene un radio de acción mucho menor que otros contaminantes.
- No se traslada a través de los sistemas naturales.
- Se percibe solo por un sentido: el Oído, lo cual hace subestimar su efecto; (esto no sucede con el agua, por ejemplo, donde la contaminación se puede percibir por su aspecto, olor y sabor).

De la revisión de evidencia en salud por exposición a ruido ambiental, se concluye que la Guía de Recomendaciones para el Ruido Ambiental de la OMS (Oficina Regional Europea) constituye el instrumento normativo orientador más actualizado (fue elaborada el 2018), que recoge el conjunto de todas las revisiones sistemáticas (metaanálisis) de la evidencia de efectos en salud a consecuencia del ruido ambiental a la fecha. En particular, la guía de la OMS provee una revisión en profundidad de todos los estudios relacionados con los efectos cardiovasculares del ruido⁹, molestias y otra de los efectos del ruido nocturno sobre el sueño¹⁰. Los trastornos del sueño y las molestias, relacionados sobre todo con el ruido del tráfico, constituyen la mayor parte de la carga de enfermedad derivada del ruido ambiental. Las evaluaciones disponibles sitúan la carga de enfermedad derivada del ruido ambiental como la segunda más alta después de la contaminación atmosférica¹¹.

El sueño es un imperativo biológico y un proceso muy activo que cumple varias funciones vitales¹². El sueño sin interrupciones de suficiente duración es esencial para la alerta y el rendimiento diurno, la calidad de la vida y la salud¹³. Se ha demostrado que el ruido fragmenta el sueño, reduce la continuidad del sueño, y reduce tiempo total de sueño^{14,15}. Numerosos estudios experimentales han demostrado que la restricción del sueño causa, entre otras cosas, cambios en el metabolismo de la glucosa y en la regulación del apetito, una inmunidad atenuada la respuesta a la vacunación, la consolidación de la

⁹ Van Kempen E, Casas M, Pershagen G, Foraster M (2018). WHO environmental noise guidelines for the European Region: a systematic review on environmental noise and cardiovascular and metabolic effects: a summary. *Int J Environ Res Public Health*. 15(2). pii: E379 (<http://www.mdpi.com/1660-4601/15/2/379/htm>, accessed 27 June 2018).

¹⁰ Basner M, McGuire S (2018). WHO environmental noise guidelines for the European Region: a systematic review on environmental noise and effects on sleep. *Int J Environ Res Public Health*. 15(3):pii: E519 (<http://www.mdpi.com/1660-4601/15/3/519/htm>, accessed 27 June 2018).

¹¹ Oficina Regional de la OMS para Europa y JRC, 2011; Hänninen et al., 2014; OMS 2014b.

¹² Watson, N.F.; Badr, M.S.; Belenky, G.; Bliwise, D.L.; Buxton, O.M.; Buysse, D.; Dinges, D.F.; Gangwisch, J.; Grandner, M.A.; Kushida, C.; et al. Joint consensus statement of the American Academy of Sleep Medicine and Sleep Research Society on the recommended amount of sleep for a healthy adult: Methodology and discussion. *Sleep* 2015, 38, 1161–1183. [PubMed]

¹³ Banks, S.; Dinges, D.F. Behavioral and physiological consequences of sleep restriction. *J. Clin. Sleep Med.* **2007**, 3, 519–528. [PubMed]

¹⁴ Basner, M.; Babisch, W.; Davis, A.; Brink, M.; Clark, C.; Janssen, S.; Stansfeld, S. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *Lancet* **2014**, 383, 1325–1332. [CrossRef]

¹⁵ Muzet, A. Environmental noise, sleep and health. *Sleep Med. Rev.* **2007**, 11, 135–142. [CrossRef] [PubMed]

memoria y la disfunción de los vasos sanguíneos^{16,17,18}. Estos son precursores de enfermedades manifiestas como la obesidad, la diabetes, la alta presión sanguínea¹⁹, y enfermedades cardiovasculares²⁰. La evidencia epidemiológica de que el sueño crónicamente perturbado o restringido es asociado con los resultados negativos de salud por lo cual, la alteración del sueño inducida por el ruido se considera uno de los efectos no auditivos más importantes de la exposición al ruido ambiental²¹.

El sistema auditivo tiene una función de vigilancia y constantemente escanea el ambiente para potenciales amenazas. Los humanos perciben, evalúan y reaccionan a los sonidos ambientales incluso mientras duermen. Durante la noche, el ruido puede describirse a menudo como intermitente (es decir, eventos de ruido discretos en lugar de un nivel de ruido de fondo constante). En este caso, los efectos en el sueño están determinadas principalmente por los eventos de ruido únicos y no constantes medidos en base al nivel de presión acústica (SPL²²).

El hecho de que el ruido perturbe o no el sueño también depende de la situación (por ejemplo, la profundidad de la fase de sueño²³), el nivel de ruido de fondo²⁴ y moderadores individuales (por ejemplo, sensibilidad al ruido)²⁵. Se ha demostrado que el sueño profundo y REM son importantes para la recuperación del sueño en general y la consolidación de la memoria específicamente²⁶.

¹⁶ Dettoni, J.L.; Consolim-Colombo, F.M.; Drager, L.F.; Rubira, M.C.; Souza, S.B.; Irigoyen, M.C.; Mostarda, C.; Borile, S.; Krieger, E.M.; Moreno, H., Jr.; et al. Cardiovascular effects of partial sleep deprivation in healthy volunteers. *J. Appl. Physiol.* 2012, 113, 232–236. [CrossRef] [PubMed]

¹⁷ Taheri, S.; Lin, L.; Austin, D.; Young, T.; Mignot, E. Short sleep duration is associated with reduced leptin, elevated ghrelin, and increased body mass index. *PLoS Med.* 2004, 1, e62. [CrossRef] [PubMed]

¹⁸ Diekelmann, S.; Born, J. The memory function of sleep. *Nat. Rev. Neurosci.* 2010, 11, 114–126. [CrossRef] [PubMed]

¹⁹ Xie, L.; Kang, H.; Xu, Q.; Chen, M.J.; Liao, Y.; Thiyagarajan, M.; O'Donnell, J.; Christensen, D.J.; Nicholson, C.; Iliff, J.J.; et al. Sleep drives metabolite clearance from the adult brain. *Science* 2013, 342, 373–377. [CrossRef] [PubMed]

²⁰ Somers, V.K.; White, D.P.; Amin, R.; Abraham, W.T.; Costa, F.; Culebras, A.; Daniels, S.; Floras, J.S.; Hunt, C.E.; Olson, L.J.; et al. Sleep apnea and cardiovascular disease: An American Heart Association/American College of Cardiology Foundation Scientific Statement from the American Heart Association Council for High Blood Pressure Research Professional Education Committee, Council on Clinical Cardiology, Stroke Council, and Council on Cardiovascular Nursing. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2008, 52, 686–717. [PubMed]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18725495/>

²¹ Fritsch, L.; Brown, A.L.; Kim, R.; Schwela, D.H.; Kephelopoulos, S. Burden of Disease from Environmental Noise; 978 92 890 0229 5; World Health Organization (WHO): Bonn, Germany, 2011.

²² SPL= Sound Press Level es el nivel de presión acústica que corresponde al logaritmo de la relación entre una presión acústica determinada y la presión acústica de referencia en dB es 20 veces el logaritmo de la base diez de la relación.

²³ Basner, M.; Müller, U.; Griefahn, B. Practical guidance for risk assessment of traffic noise effects on sleep. *Appl. Acoust.* 2010, 71, 518–522. [CrossRef]

²⁴ Fidell, S.; Tabachnick, B.; Mestre, V.; Fidell, L. Aircraft noise-induced awakenings are more reasonably predicted from relative than from absolute sound exposure levels. *J. Acoust. Soc. Am.* 2013, 134, 3645–3653. [CrossRef] [PubMed]

²⁵ Dang-Vu, T.T.; McKinney, S.M.; Buxton, O.M.; Solet, J.M.; Ellenbogen, J.M. Spontaneous brain rhythms predict sleep stability in the face of noise. *Curr. Biol.* 2010, 20, R626–R627. [CrossRef] [PubMed]

²⁶ Diekelmann, S.; Born, J. The memory function of sleep. *Nat. Rev. Neurosci.* 2010, 11, 114–126. [CrossRef] [PubMed]

En el caso de las molestias, que se consideran un efecto sobre la salud menos grave que las alteraciones del sueño, sin embargo es importante destacar que una gran cantidad de investigaciones demuestran la asociación entre el ruido especialmente del tráfico vehicular y las molestias^{27, 28, 29}. La categoría más baja de exposición al ruido considerada en cualquiera de esos estudios, y por lo tanto incluida en la revisión sistemática, es de 40 dB, y la OMS acepta como nivel de referencia 53,3 dB para mediciones continuas (día, tarde y noche), aceptando hasta un 10% de personas que declaran alta molestia³⁰ evaluada mediante una escala estandarizada.

Por otra parte, la revisión sistemática de estudios que relacionan efectos cardiovasculares y metabólicos debido a la exposición al ruido ambiental, en el marco del desarrollo de las directrices de la OMS sobre el ruido ambiental para la Comunidad Europea, concluye que el ruido ambiental, especialmente el del tráfico vehicular, aumenta el riesgo de enfermedad cardíaca isquémica, principalmente infarto de miocardio. Además, podría elevar el riesgo de hipertensión y de accidente cerebrovascular. También hay evidencia sugerente de que el ruido del tráfico aumenta el riesgo de diabetes y la obesidad. Tanto los efectos cardiovasculares como metabólicos del ruido pueden estar mediados por mecanismos relacionados con el estrés y la alteración del sueño, posiblemente afectando el equilibrio hormonal.

4.2. Evaluación de la exposición

4.2.1 Ruta de Exposición

Para efectos de este estudio, se ha definido como ruta de exposición las emisiones de ruido generadas por las fuentes de emisión ubicadas en altura de la Subestación Ancoa que se propagan por el aire durante la noche y que afectan a las familias que viven en las viviendas vecinas a esta instalación.

De esta manera, los elementos que se identifican en la ruta de exposición de la población al ruido nocturno generado por la Subestación son los siguientes³¹:

- **Fuentes generadoras del ruido nocturno:** se confirma que existen un conjunto de fuentes relevantes como emisoras de ruido al interior de la Subestación. La figura siguiente es un diagrama que sintetiza las potenciales fuentes generadoras de ruido nocturno en la Subestación.

²⁷ Bakker RH, Pedersen E, van den Berg GP, Stewart RE, Lok W, Bouma J (2012). Impact of wind turbine sound on annoyance, self-reported sleep disturbance and psychological distress. *Sci Total Environ*. 425:42–51.

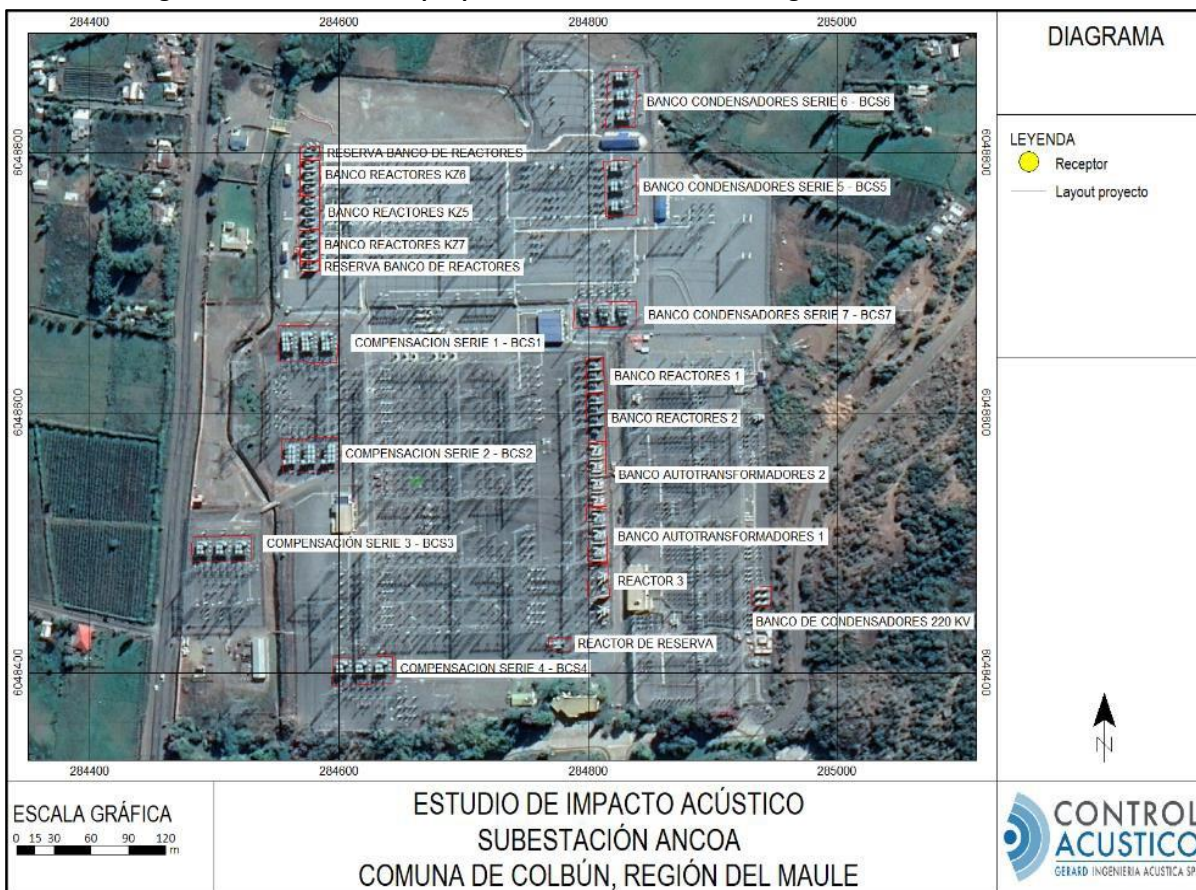
²⁸ Pedersen E, Larsman P (2008). The impact of visual factors on noise annoyance among people living in the vicinity of wind turbines. *J Environ Psychol*. 28(4):379–89.

²⁹ Pedersen E, Perrson Wayne K (2004). Perception and annoyance due to wind turbine noise – a dose-response relationship. *J Acoust Soc Am*. 116(6):3460–70.

³⁰ Se define como high annoyance (%HA).

³¹ Guía de evaluación de impacto ambiental y riesgo para la salud de la población en el SEIA Editor: Servicio de Evaluación Ambiental ISBN: 978-956-9076-06-0, 2012

Figura 4-1: Instalaciones que pueden considerarse fuentes generadoras de ruido



De la evaluación realizada por Control Acústico respecto de las fuentes generadoras de ruido, se concluye que existen un conjunto de instalaciones (bancos de reactores y autotransformadores) que podrían afectar a las viviendas cercanas a la Subestación. Cabe también señalar que al menos tres de los receptores que son parte de esta evaluación se encuentran a menos de 10 metros del camino principal pudiendo también ser afectados por el ruido del tráfico vehicular nocturno.

Figura 4-2: Fotografías de las distintas fuentes emisoras de ruido al interior de la Subestación Ancoa





Fuente: Informe de Inspección Ambiental de Medición de Ruido Ambiental. Acustec, marzo 2020

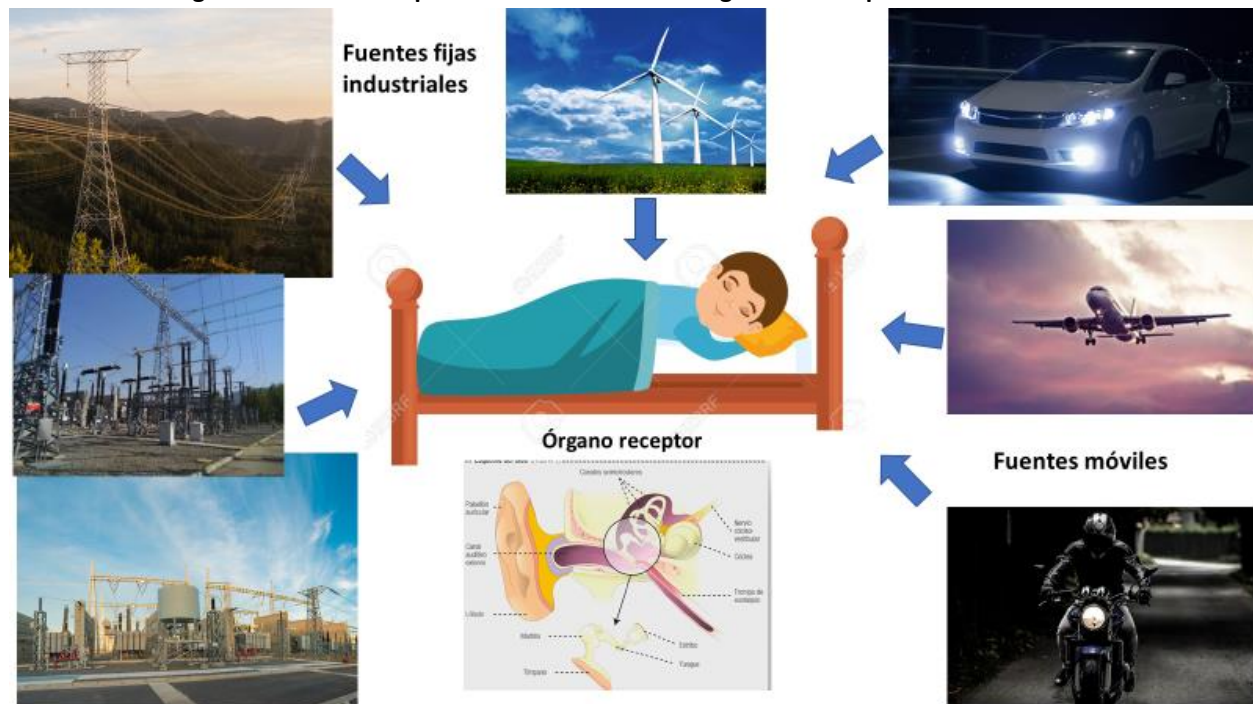
- **Medios para que se desplace el ruido:** las emisiones sonoras se desplazan a través del aire y del agua. La velocidad de transmisión depende de la elasticidad del medio, de la temperatura y humedad. Por ello para efectos de estandarizar el escenario modelado de propagación del ruido, la temperatura se fijó en 10° C y la humedad relativa en 70%, constituyendo un escenario desfavorable por la baja atenuación de la propagación de la onda sonora debido a estos efectos meteorológicos. Además, la norma de cálculo utilizada considera la velocidad del viento entre 1 y 5 [m/s]¹, tal y como queda establecido en la ISO 9613 parte 2, en dirección de las fuentes de ruido hacia los receptores, es decir, a favor de la propagación. De acuerdo con lo anterior, el escenario modelado representa una estacionalidad climática crítica, por lo cual sus resultados dan cuenta de la condición más desfavorable.
- **Mecanismos de transporte:** A diferencia de otros contaminantes, el ruido no deja residuos, no tiene sabor ni olor, textura o color, por lo que se suele decir que el ruido es un contaminante invisible. Su radio de acción o de impacto, se encuentra limitado a las características de la fuente que lo genera y del entorno donde se propaga.
- **Vía de exposición:** corresponde a la forma en que las emisiones son percibidas por los receptores, correspondiendo a una vía única a través del oído.
- **Existencia de una población receptora:** para el presente estudio se ha definido como población receptora, a la población que vive en los cinco receptores indicados por la SMA (ver Figura 1-1)

Los receptores sensibles identificados corresponden a las 4 viviendas identificadas por la SMA en su Informe de Fiscalización (R1, R2, R3 y R4) y se agrega receptor R5 que fue identificado por parte de Transelec, mediante informes elaborados por parte de la empresa Control Acústico.

A continuación, se presenta una figura esquemática que resumen la ruta de exposición descrita que destaca que todas las fuentes emisoras pueden superar las barreras acústicas que naturalmente existen (materialidad de la vivienda, ventanas abierta/cerrada, vegetación en la ruta entre la subestación y la vivienda, etc.) y llegar directamente al oído que es el órgano receptor de esas emisiones. Esta ruta de

exposición es la que se utilizará para evaluar el riesgo en salud de la población cercana al proyecto debido a ruido nocturno por sobre la norma nacional.

Figura 4-3: Ruta de exposición del Estudio de Riesgo a la Salud por ruidos nocturnos



Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Descripción del área de influencia del ruido ambiental

Se actualizan los receptores que servirán como base para el análisis acústico, considerando todos aquellos indicados en la Res. Ex N°8/Rol D-094 2020 cuya localización de cada receptor presentaron en la Figura 1-1.

Se recopilaron los datos de todos los estudios acústicos realizados por: SMA (fiscalización en diciembre de 2019), ETFA Acustec (ejecutado en marzo 2020 de acuerdo al requerimiento de información solicitado por la SMA), los dos seguimientos realizados por la consultora Control Acústico (en marzo y junio 2020) y las mediciones realizadas por Silentium (mayo 2020) y Giro Consultores (junio 2020).

A continuación se presenta una tabla que resume el conjunto de mediciones que son analizadas para la evaluación de efectos sobre la salud de los receptores sensibles cercanos a la Subestación Ancoa, realizadas en horario nocturno.

Tabla 4-1: Mediciones utilizadas para evaluar efectos en salud por ruido nocturno

Fecha	Receptor	Organismo efector
01-12-2019	R1	SMA
03-03-2020	R1	Acustec (ETFA; Rex. Ex. 953/2020, SMA)
04-03-2020	R1	Acustec (ETFA; Rex. Ex. 953/2020, SMA)
05-03-2020	R1	Acustec (ETFA; Rex. Ex. 953/2020, SMA)
01-03-2020	R1	Control Acústico
01-07-2020	R1	Control Acústico
25-06-2020	R1	Giro Consultores Ltda (ETFA; Rex. Ex. 1127/2020, SMA).
27-05-2020	R1	Silentium
01-12-2019	R2	SMA
03-03-2020	R2	Acustec (ETFA; Rex. Ex. 953/2020, SMA)
04-03-2020	R2	Acustec (ETFA; Rex. Ex. 953/2020, SMA)
05-03-2020	R2	Acustec (ETFA; Rex. Ex. 953/2020, SMA)
01-03-2020	R2	Control Acústico
01-07-2020	R2	Control Acústico
27-05-2020	R2	Silentium
25-06-2020	R2	Giro Consultores Ltda (ETFA; Rex. Ex. 1127/2020, SMA).
03-03-2020	R3	Acustec (ETFA; Rex. Ex. 953/2020, SMA)
04-03-2020	R3	Acustec (ETFA; Rex. Ex. 953/2020, SMA)
05-03-2020	R3	Acustec (ETFA; Rex. Ex. 953/2020, SMA)
01-03-2020	R3	Control Acústico
01-07-2020	R3	Control Acústico
25-06-2020	R3	Giro Consultores Ltda (ETFA; Rex. Ex. 1127/2020, SMA)
01-12-2019	R4	SMA
03-03-2020	R4	Acustec (ETFA; Rex. Ex. 953/2020, SMA)
04-03-2020	R4	Acustec (ETFA; Rex. Ex. 953/2020, SMA)
05-03-2020	R4	Acustec (ETFA; Rex. Ex. 953/2020, SMA)
01-03-2020	R4	Control Acústico
01-07-2020	R4	Control Acústico
27-05-2020	R4	Silentium
25-06-2020	R4	Giro Consultores Ltda (ETFA; Rex. Ex. 1127/2020, SMA)
01-03-2020	R5	Control Acústico
27-05-2020	R5	Silentium

Fuente: elaboración propia

Finalmente, basado en Tabla 1. “Denuncias ciudadanas ingresadas ante la Superintendencia del Medio Ambiente”, debido a la operación de la Subestación Ancoa, del Procedimiento Sancionatorio Rol N°D-094-2020 (SMA), es posible constatar que hay 31 personas que han realizado denuncias en contra de la operación de la Subestación Ancoa. Para este estudio se presume que todos forman parte de los habitantes de la localidad de Rincón de Pataguas, cuyas viviendas se encuentran cercanas a la

subestación. Estos habitantes denuncian ruidos molestos insoportables de carácter continuo, durante las 24 horas, y se intensificaría durante la noche y en los días en que hay niebla o lluvia.

4.2.3 Dosis de Exposición

Los factores que influyen en los efectos de la exposición a ruido ambiental son los siguientes:

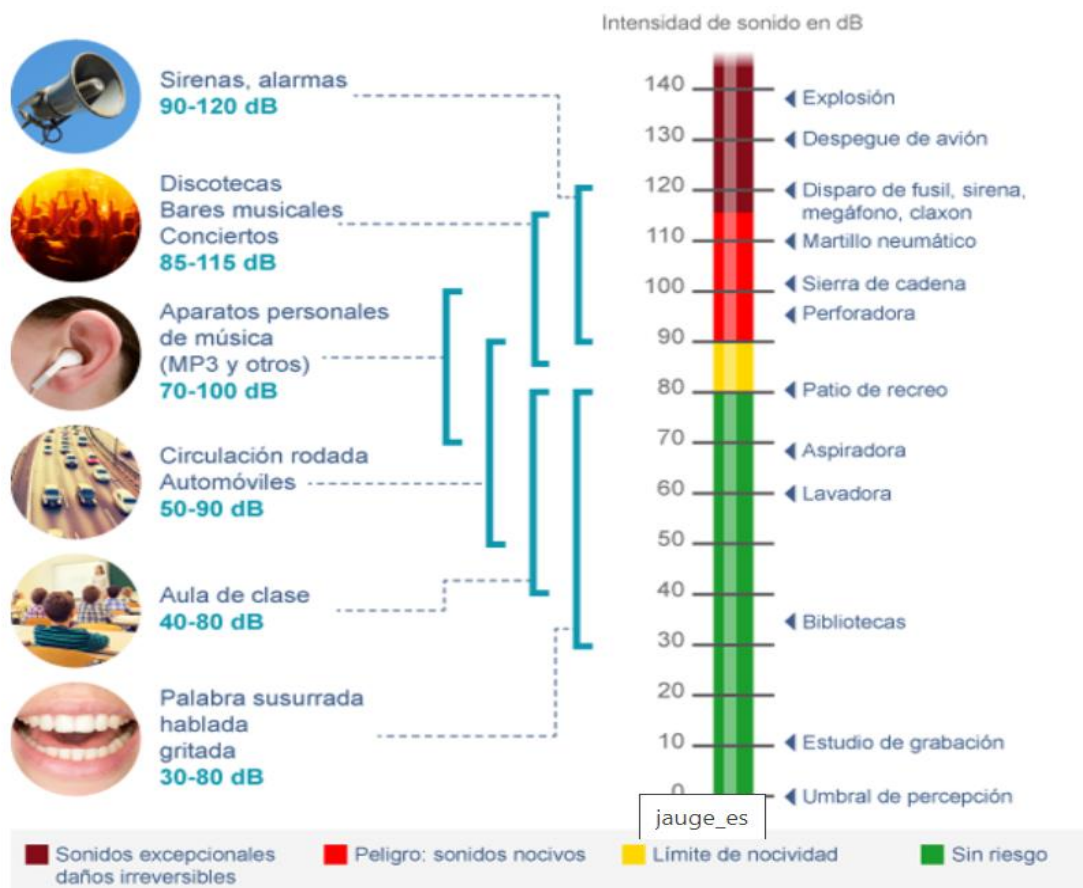
- **Nivel de Presión Sonora:** Su importancia es primordial. Aunque no pueda establecerse una relación exacta entre el nivel de presión sonora y daño auditivo, si es evidente que cuanto mayor es el nivel de presión sonora, mayor es el daño auditivo.
- **Tipo de Ruido:** Influye en cuanto a su carácter de estable, intermitente, fluctuante o de impacto. Es generalmente aceptado que el ruido continuo se tolera mejor que el discontinuo. Se considera habitualmente que un ruido que se distribuya en gran parte en frecuencias superiores a 500 Hz presenta una mayor nocividad que otros cuyas frecuencias dominantes son más bajas.
- **Tiempo de Exposición:** Se consideran desde dos aspectos: por una parte, el correspondiente a las horas/día u horas/semana de exposición – que es lo que normalmente es entendido como el tiempo de exposición – y por otra parte, el tiempo en años que un receptor está expuesto a un nivel de ruido determinado.
- **Edad:** Hay que tener en cuenta que el nivel de audición se va deteriorando con la edad, independiente de estar expuesto o no al factor de riesgo.
- **Susceptibilidad Individual:** Es la característica que posee cada persona de reaccionar ante la exposición al factor de riesgo por sus condiciones y antecedentes personales.

La exposición al ruido y la posibilidad de daño auditivo está definida por la siguiente escala de intensidades sonoras (dB) que clasifica los sonidos de nuestro medio ambiente en 4 categorías:

1. **Hasta los 80 dB (verde)**, no hay ningún riesgo para el oído, cualquiera que sea la duración de la exposición;
2. **De 80 a 90 dB (amarillo)**, se está acercando la zona de daño, pero solo puede haber algún peligro con exposiciones de muy larga duración;
3. **De 90 a 115 dB (rojo)**, el oído está en peligro: cuanto más fuerte es el sonido más lesiones aparecerán en menos tiempo;
4. **Por encima de los 115 dB (marrón)**, ruidos muy cortos (muy breves) provocan daños permanentes de forma inmediata.

La siguiente figura presenta diferentes tipos de ruidos y su intensidad, asociados al riesgo de daño de la audición.

Figura 4-4: Exposición al ruido y daño auditivo



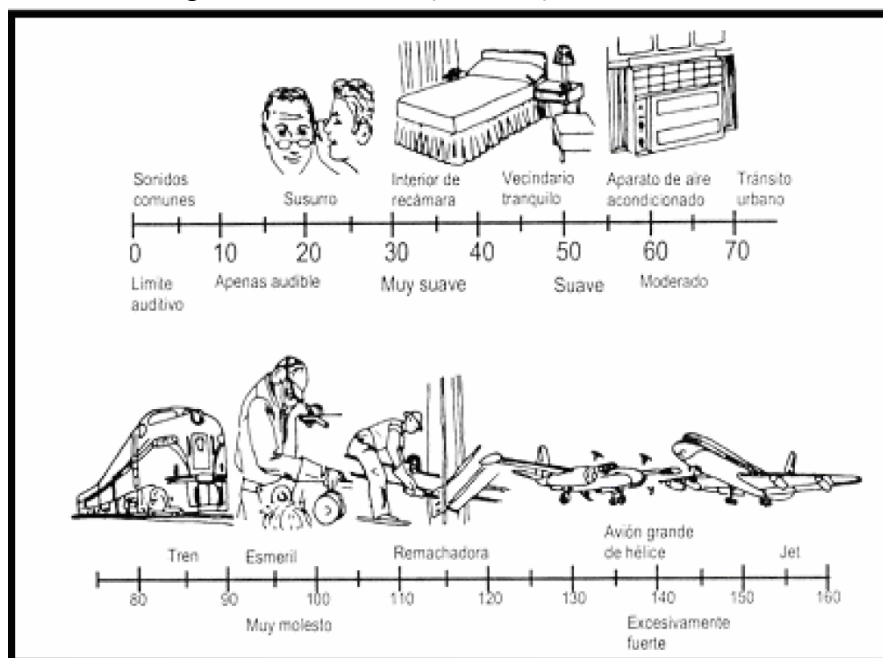
Fuente: Figura adaptada a partir de la Infografía de daño auditivo del Centro para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC-USA) 2017³²

En general las normativas de protección auditiva están asociadas a la exposición ocupacional tal como se resume a continuación, donde los niveles peligrosos de ruido se asocian a la relación entre intensidad y el tiempo límite de exposición (Directiva 2003/10/CE del Parlamento Europeo, 06/02/2003, D.S. 594 y otros).

A continuación, se presentan los valores en decibeles para sonidos comunes, que permiten establecer un punto de comparación respecto de la exposición al ruido ambiental nocturno que determina este estudio del riesgo en salud debido a la exposición por sobre la norma nacional D.S N°38/2011 del MMA asociada a los puntos catalogados como receptores sensibles, junto con sus respectivos niveles máximos permitidos. La zonificación del área donde se encuentra la Subestación Ancoa es rural por lo cual los niveles de presión sonora corregida (NPC) se define como el menor nivel entre el Nivel de Ruido de Fondo + 10 [dB], y el NPC máximo permitido para Zona III que corresponde a 50 (dB).

³² <https://www.cdc.gov/spanish/signosvital/PerdidaAuditiva/infographic.html#infographic1>

Figura 4-5: Valores en dB, producidos por sonidos comunes



Fuente: Niebel, Benjamín W. Ingeniería Industrial. Métodos, Tiempos y Movimientos. Novena Edición. Alfaomega. Pág. 266.

La guía de la OMS (2018) define los indicadores de medición del ruido ambiental³³ que se deben aplicar para la elaboración de mapas de ruido y poder obtener la mejor representación de las dosis de exposición al ruido ambiental. Los indicadores definidos, adoptados por la Unión Europea son:

1. L_{den} : es el nivel de presión sonora medio a largo plazo medido todos los días, tardes y noches de un año (AEMA, 2010).
2. L_{day} : es el nivel de presión sonora medio de largo plazo medido en los períodos diurnos de un año.
3. $L_{evening}$: es el nivel sonoro medio a largo plazo determinado a lo largo de todos los períodos vespertinos de un año; y
4. L_{night} : es el nivel sonoro medio a largo plazo determinado a lo largo de todos los períodos nocturnos de un año. En este caso la directriz de la OMS agrega la importancia de medir en el exterior de la vivienda durante toda la noche (al menos ocho horas), establecido por la Oficina Regional de la OMS para Europa, 2009.

Basado en la directrices de la OMS, se calcularon para cada receptor identificado (R1, R2, R3, R4 y R5), los valores medios de las mediciones de ruido ambiente nocturno, incluyendo todas las mediciones realizadas en el exterior de cada uno de los receptores sensibles definidos por la SMA, de manera de poder asegurar la mejor representación de la realidad en términos de la exposición al ruido,

³³ Directiva 2002/49/CE de la Unión Europea sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.

considerando que la mayoría de los efectos sobre la salud considerados en estas directrices se espera que se generen como resultado de una exposición a largo plazo.

Adicionalmente se calcula el UCL95 que es una medida de probabilidad, que con un 95% de confianza estima que en la distribución de los datos medidos, la exposición real al ruido ambiental nocturno de cada receptor sea menor o igual al valor UCL calculado.

A continuación se presenta la tabla con las dosis de exposición de cada receptor que serán utilizadas en la caracterización del riesgo.

Tabla 4-2: Dosis de exposición al ruido ambiental nocturno de todos los receptores sensibles

Fecha	Receptor	Organismo que midió	Niveles de Presión Sonora Corregidos NPC dB(A)	Nivel medio de presión sonora dB(A)	Nivel UCL95(*) de presión sonora dB(A)
01-12-2019	R1	SMA	48	49,57	50,1
03-03-2020	R1	Acustec	50		
04-03-2020	R1	Acustec	50		
05-03-2020	R1	Acustec	50		
01-03-2020	R1	Control Acústico	50		
01-07-2020	R1	Control Acústico	50		
25-06-2020	R1	Giro Consultores Ltda	49		
27-05-2020	R1	Silentium	50		
01-12-2019	R2	SMA	48	52,00	53,2
03-03-2020	R2	Acustec	53		
04-03-2020	R2	Acustec	53		
05-03-2020	R2	Acustec	55		
01-03-2020	R2	Control Acústico	52		
01-07-2020	R2	Control Acústico	51		
27-05-2020	R2	Silentium	51		
25-06-2020	R2	Giro Consultores Ltda	53		
03-03-2020	R3	Acustec	42	41,67	42,4
04-03-2020	R3	Acustec	41		
05-03-2020	R3	Acustec	41		
01-03-2020	R3	Control Acústico	43		
01-07-2020	R3	Control Acústico	40		
25-06-2020	R3	Giro Consultores Ltda	43		
01-12-2019	R4	SMA	50	46,13	47,7
03-03-2020	R4	Acustec	47		
04-03-2020	R4	Acustec	44		
05-03-2020	R4	Acustec	47		
01-03-2020	R4	Control Acústico	43		
01-07-2020	R4	Control Acústico	49		
27-05-2020	R4	Silentium	43		
25-06-2020	R4	Giro Consultores Ltda	46		

Fecha	Receptor	Organismo que midió	Niveles de Presión Sonora Corregidos NPC dB(A)	Nivel medio de presión sonora dB(A)	Nivel UCL95(*) de presión sonora dB(A)
01-03-2020	R5	Control Acústico	50	50,33	50,7
27-05-2020	R5	Silentium	50		
01-07-2020	R5	Control Acústico	51		

Fuente: elaboración propia

Nota(*): UCL 95 asegura con un 95% de confianza que en la distribución de los datos medidos, la exposición real al ruido ambiental nocturno de cada receptor es menor o igual al valor UCL calculado.

4.3. Evaluación de la Dosis-Respuesta

La norma de ruido ambiental (D.S. N°38/2011) es una norma primaria de calidad ambiental que se mide en la inmisión (receptor) y establece los valores de máximos permisibles en Chile, cuya presencia en el ambiente puede constituir un riesgo para la vida o la salud de la población.

Por lo que los niveles tolerables de éstos (establecidos en la Tabla 1 del art. 7) dan cuenta del nivel máximo de ruido ambiental, bajo el cual, en Chile, se debe considerar que no existe riesgo a la salud.

Esta reglamentación establece niveles máximos dependiendo de la zona en las que se ubique cada receptor, los que -a su vez- se encuentran esencialmente ligados a los instrumentos de planificación territorial (IPT) de rigor; definiendo el valor de 50 dB(A) como límite máximo permisible para la zona en que está emplazada la fuente y los receptores sensibles (Zona III).

Tabla N° 1 Niveles Máximos Permisibles De Presión Sonora Corregidos (Npc) En db(A)		
	de 7 a 21 horas	de 21 a 7 horas
Zona I	55	45
Zona II	60	45
Zona III	65	50
Zona IV	70	70

Por lo anterior, para la estimación de efectos sobre la salud a consecuencia de la superación de la norma, se evalúa el riesgo, cualitativa y cuantitativamente, en términos de cuanto aumenta la probabilidad de que la superación de la norma de ruidos en todos los receptores cercanos a la Subestación Ancoa, hubiera generado un efecto adverso sobre la salud, basado en las directrices de la OMS.

En la siguiente tabla se detallan los efectos en salud asociados al ruido ambiental, las medidas de resultado utilizadas y su justificación, que sustentan las recomendaciones de la OMS en su última guía sobre ruido ambiental y sus efectos en la salud.

Tabla 4-3: Efectos en salud del ruido ambiental, medidas de resultados identificadas y justificaciones para la selección

Efectos en salud	Medidas de resultados	Justificación
Enfermedad cardiovascular L_{den}^{34}	Prevalencia, incidencia, admisión en el hospital o mortalidad medida o auto reportada debido a: - enfermedad cardíaca isquémica (IHD ³⁵) (incluyendo angina de pecho y/o infarto de miocardio). - hipertensión. - accidente cerebrovascular.	Salvo los autoinformes, se trata de medidas objetivas del resultado, que afectan a una gran proporción de la población, tienen importantes consecuencias para la salud y pueden dar lugar a enfermedades más graves y/o a mortalidad. La evidencia que asocia el ruido promedio día, tarde y noche con la enfermedad isquémica (DW) es la más elevada. DW de IHD: 0.405 (ver nota al final del cuadro) DW de hipertensión: 0.117.
Efectos sobre el sueño (L_{night}^{36})	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de la población con gran perturbación del sueño (%HSD³⁷), auto informado, evaluado con una escala estandarizada. • Resultados medidos por polisomnografía (probabilidad de despertares adicionales). • Medidas de resultados cardíacos y de presión sanguínea durante el sueño. • La motilidad midió los resultados del sueño en los adultos. • Alteraciones del sueño en los niños. 	Esta es una de las medidas más significativa y relevante en salud. Las alteraciones del sueño auto informadas son un problema muy común en la población en general: afectan directamente a la calidad de vida y también pueden dar lugar a posteriores impedimentos para la salud. Los efectos sobre el sueño pueden estar en la vía causal de las enfermedades cardiovasculares. Esta medida no es un sustituto de los parámetros fisiológicos de la calidad del sueño, pero es un resultado importante por sí mismo. DW de %HSD: 0.07. (ver nota al final del cuadro)
Molestia (L_{den})	<ul style="list-style-type: none"> * Porcentaje de la población altamente molesta (%HA³⁸), evaluado con una escala estandarizada. * Porcentaje molesto, preferiblemente evaluado con una escala estandarizada. 	Esta es la medida más objetiva de este resultado de salud. Grandes proporciones de la población se ven afectadas por las molestias del ruido, incluso a niveles de exposición relativamente bajos. Si bien la molestia puede estar en la vía causal de las enfermedades

³⁴ L_{den} Nivel de presión sonora ponderado día-tarde-noche, tal como se define en la sección 3.6.4 de la norma ISO 1996-1:20161

³⁵ IHD: ischemic heart disease

³⁶ L_{night} Nivel de presión sonora continuo equivalente cuando el intervalo de tiempo de referencia es la noche

³⁷ %HSD porcentaje de población con "alta perturbación del sueño" (highly sleep-disturbed).

³⁸ %HA: porcentaje de la población "muy molesta".

Efectos en salud	Medidas de resultados	Justificación
		cardiovasculares, la evidencia disponible es muy escasa como lo indica el DW que es muy cercano a 0. DW de %HA: 0.02 (ver nota al final del cuadro)
Deterioro cognitivo (L_{den})	<ul style="list-style-type: none"> * Lectura y comprensión oral, evaluadas con pruebas. * Deterioro evaluado con pruebas estandarizadas. * Déficit de memoria a corto y largo plazo. * Déficit de atención * Déficit de la función ejecutiva (capacidad de la memoria de trabajo). 	Esta medida de resultado es la más significativa: puede afectar a las personas vulnerables (niños) y tener un impacto significativo más adelante en la vida. DW para el deterioro de la lectura y la comprensión oral: DW por deterioro de la lectura y la comprensión oral: 0,006. (ver nota al final del cuadro)
Deterioro de la audición y tinitus (L_{aeq}^{39}) y ($L_{AF\ max}^{40}$)	<ul style="list-style-type: none"> * Deterioro permanente de la audición, medido por audiometría. * Rinitis permanente. 	Esta medida de resultado puede afectar a las personas vulnerables (niños) y tener un impacto significativo más adelante en la vida. Es la medida más objetiva para la que existe una norma ISO (ISO, 2013), que especifica cómo estimar la pérdida de audición inducida por el ruido. DW para el nivel de gravedad leve (umbral a 25 dB) para el inicio de la infancia: 0.0150ver nota al final del cuadro)
<p>Nota: Los DW (disability weight o peso de la discapacidad) son clasificaciones que varían entre 0 y 1, en las que 0 significa ninguna evidencia de discapacidad y 1 indica la cantidad máxima de evidencia de discapacidad. Las tasas indicadas en este cuadro se derivan de grandes encuestas de población en las que se pide a las personas que clasifiquen una enfermedad específica por su impacto en varias discapacidades. Se ha demostrado que los DWs son útiles para calcular la carga de la enfermedad.</p>		

Fuente: Environmental Noise Guidelines European Region OMS 2018.

El principal objetivo de directrices de la OMS está orientada a ofrecer recomendaciones para proteger la salud humana de la exposición al ruido ambiental; destacándose en esta última versión que tienen en cuenta por separado la exposición al exterior al ruido ambiental procedente del tráfico vehicular, el

³⁹ L_{aeq} Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado por A durante un intervalo de tiempo determinado que comienza en t_1 y termina en t_2 , expresado en decibelios (dB), a un punto dado en el espacio.

⁴⁰ $L_{AF\ max}$ Máximo nivel de presión sonora ponderado por tiempo y ponderado por A dentro de un intervalo de tiempo establecido que comienza en t_1 y termina en t_2 , expresado en dB.

tráfico ferroviario, los aviones y las turbinas eólicas, así como la exposición al exterior y al interior durante las actividades de ocio (asistencia a clubes nocturnos, pubs, clases de fitness, eventos deportivos en directo, conciertos o locales de música en vivo y la escucha de música a alto volumen).

Las directrices se centran en la Región Europea de la OMS y proporcionan a los Estados Miembros una orientación normativa compatible con los indicadores de ruido utilizados en el END⁴¹. Las siguientes dos preguntas clave identifican los temas abordados por las directrices:

1. En la población general expuesta al ruido ambiental, ¿cuál es la relación exposición-respuesta entre la exposición al ruido ambiental (reportada como varios indicadores) y la proporción de personas con una medida validada de resultado de salud, cuando se ajusta para los confundentes?
2. En la población general expuesta al ruido ambiental, ¿son eficaces las intervenciones para reducir la exposición al ruido ambiental y/o los resultados para la salud que se derivan de éste?

A la luz de estas preguntas, las directrices se proponen definir los niveles de exposición recomendados para el ruido ambiental que protegen la salud de la población. Una característica de estas recomendaciones es que no se definen umbrales, específicamente NOAEL⁴², sino que se utilizan funciones de exposición-respuesta (ERF) estimadas a partir de la evidencia científica que provee la literatura para cada tipo de ruido, evidencia estadísticamente significativa que permite la construcción de la curva.

El método usado para definir la recomendación fue un *benchmarking* consensuado por expertos, a partir de lo cual se concluyen seis efectos en salud respecto de lo cual existe evidencia para construir las curvas de dosis de exposición-respuesta que permiten establecer un criterio de alerta ante un potencial daño en la salud:

1. Incidencia de enfermedad isquémica del corazón: se acepta hasta un 5% de incremento del riesgo, el cual se produce a un nivel de exposición al ruido por sobre los 59,3 dB L_{den} .
2. Incidencia de HTA, se considera relevante un cambio de un 10% en el riesgo relativo.
3. Sueño altamente perturbado (Hight sleep disturbance): se considera relevante un incremento sobre el 3% de la población que declare perturbaciones del sueño (%HSD).
4. Alta molestia (Highly Annoyance): se considera un riesgo aceptable que el 10% de la población declare molestia (%HA).
5. Daño permanente de la audición: se concluye que no se produce por exposición ambiental, pues solo existe evidencia sustantiva para exposición ocupacional.
6. Comprensión oral y de lectura: se considera relevante un retraso de un mes en términos de edad lectora.

⁴¹ END: Directrices sobre ruido ambiental relativas a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

⁴² NOAEL: nivel al cual no se ven efectos.

Con relación a la Hipertensión Arterial, la OMS concluye que la calidad de las pruebas que apoyan una asociación entre la exposición al ruido del tráfico y la hipertensión es "muy baja", lo que indica que cualquier estimación del efecto es muy incierta⁴³.

En el análisis de la asociación entre el ruido ambiental generado por los aviones y la enfermedad cardíaca isquémica (IHD), donde se evaluaron 22 estudios, se concluye que existe asociación estadísticamente significativa⁴⁴; sin embargo, debido a que todos los estudios fueron de diseño transversal, se define que la calidad de la evidencia es aún "muy baja". La evidencia más robusta es la que concluye que el ruido del tráfico vehicular está asociado con un mayor riesgo de enfermedad isquémica cardíaca (IHD). El aumento del ruido del tráfico vehicular se asoció con aumentos significativos en la prevalencia y la incidencia de IHD, calificando la calidad de las pruebas que provienen de estos estudios como "alta"⁴⁵. Los resultados de esta asociación indican que el riesgo de IHD aumenta continuamente para el tráfico vehicular desde los 59 dB, a partir de un metaanálisis con estudios que han evaluado exposiciones a ruido partir de 53 dB L_{den} (promedio día-noche). El *benchmarking* utilizado por la OMS para establecer su recomendación es que el riesgo de enfermedad isquémica del corazón se incrementa en un 5% en los 59 dB y a partir de este nivel de exposición al ruido el riesgo aumenta en 8% ante un incremento de 10 dB. **En consideración de los niveles de ruido ambiental a los cuales estuvieron expuestos los receptores sensibles en esta evaluación no superan los 53 dB (A), no se incluye el análisis de enfermedad isquémica en la caracterización del riesgo.**

Por otra parte, los estudios que relacionan el ruido ambiental con el accidente cerebrovascular si bien muestra asociación, ninguno fue estadísticamente significativo, de manera que la conclusión es que no hay evidencia suficiente de esta asociación. Los estudios que evalúan la asociación entre el ruido del tráfico vehicular y la prevalencia de la mortalidad por accidente cerebrovascular consideran que la calidad de las pruebas que apoyan la asociación entre el ruido del tráfico y el derrame cerebral es "baja"; sin embargo, es muy probable que investigaciones en marcha (especialmente estudios longitudinales) mejoren la calidad de la evidencia y podría en el futuro cambiar esta estimación⁴⁶.

⁴³ Van Kempen|M Casas| G Pershagen|M Foraster Cardiovascular and metabolic effects of environmental noise Systematic evidence review in the framework of the development of the WHO environmental noise guidelines for the European Region RIVM Report 2017-0078 E.E.M.M.

⁴⁴ Estimaron un RR de 1.09 (95%CI: 1.04 - 1,15) por 10 dB, tras agregar los resultados de dos estudios que comprenden de 9.619.082 participantes, incluidos 158.977 casos de incidentes de IHD.

⁴⁵ Al combinar los resultados de tres estudios de cohortes y cuatro estudios de casos y controles (que comprenden 67.224 participantes, incluyendo 7.033 casos de incidentes de IHD), encontramos un RR de 1,08 (95%CI: 1,01 - 1,15) por 10 dB (LDEN) para la asociación entre el ruido del tráfico rodado y la incidencia del IHD dentro del rango de aproximadamente 40 - 80 dB LDEN. Esto significa que si el ruido del tráfico rodado los niveles aumentan de 40 a 80 dB (LDEN), el RR = 1,36.

⁴⁶ Van Kempen|M Casas| G Pershagen|M Foraster Cardiovascular and metabolic effects of environmental noise Systematic evidence review in the framework of the development of the WHO environmental noise guidelines for the European Region RIVM Report 2017-0078 E.E.M.M.

Respecto de la asociación entre ruido ambiental y diabetes, en un estudio de cohorte evaluado, se encontró una asociación significativa entre el ruido del tráfico y la incidencia de la diabetes⁴⁷. En general, califican la calidad de la evidencia que apoya esta asociación como "baja", sin embargo, también señalan que es muy probable que las investigaciones futuras pudieran modificar esta estimación.

La evaluación del efecto del ruido de las turbinas de viento en el sistema cardiovascular y metabólico cuenta con poca evidencia y los estudios disponibles solo se refieren a auto reportes con resultados inconsistentes, por lo cual se concluye que la asociación entre la exposición al ruido de las turbinas eólicas y el deterioro del sistema cardiovascular o metabólico es "muy bajo", siendo la estimación del efecto aún muy incierta.

La evidencia para otras fuentes de ruido (ruido hospitalario, ruidos de turbinas eólicas) es contradictoria. Se detectan sesgos potenciales o la evidencia aún es muy reciente con insuficiente data para un metaanálisis, lo que no permitió la construcción de una función exposición-respuesta. Por esta razón la OMS no realiza recomendaciones para ruido nocturno en el caso de turbinas eólicas.

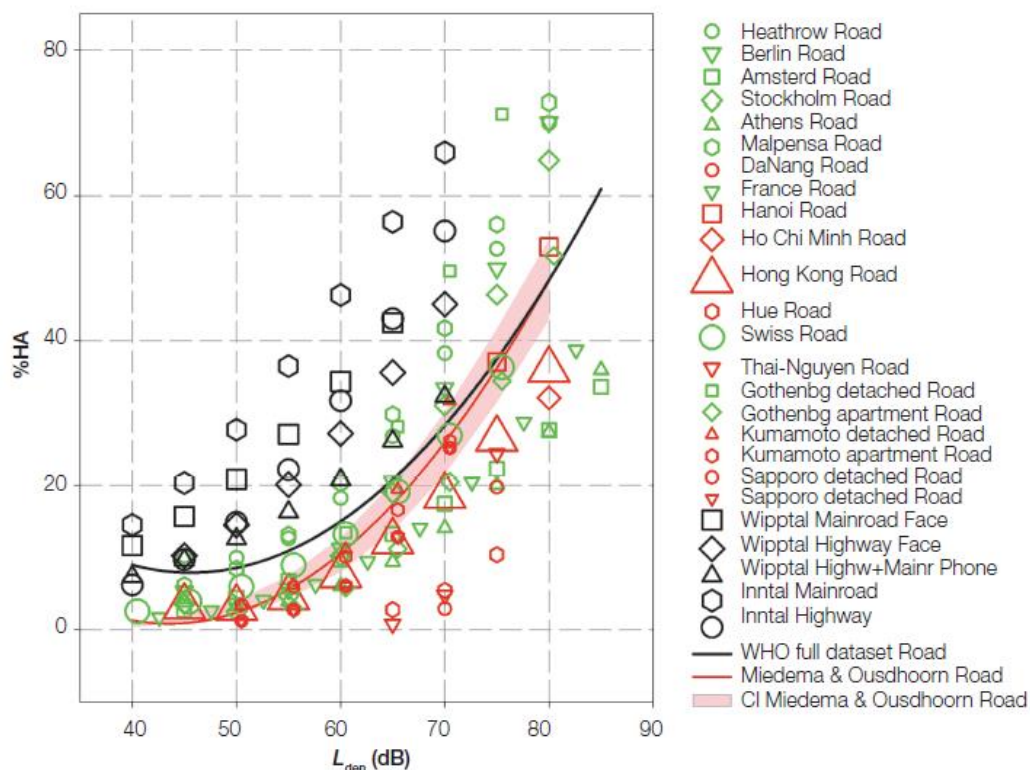
A continuación se presentan las curvas dosis – respuesta que serán utilizadas en el presente análisis, que si bien corresponden a ruidos específicos (tráfico vehicular, tren, avión); son a la fecha la única evidencia realizada por expertos, basada en meta análisis y revisiones sistemáticas de alta calidad, que aseguran un análisis robusto de evaluación del riesgo en salud por exposición a ruido ambiental.

La curva dosis respuesta del efecto Alta Molestia y el ruido del tráfico vehicular al cual esa población está expuesta, permite modelar la Función Exposición Respuesta (FER) de la relación entre el nivel de ruido L_{den} ⁴⁸ y el porcentaje de población que declara alta molestia (%HA). Los puntos de datos estimados de cada uno de los estudios se representan en la siguiente figura. La línea negra representa la FER agregada para el "conjunto de datos completo de la OMS". La categoría más baja de exposición al ruido considerada en los estudios, y por tanto incluida en la revisión sistemática, es de 40 dB, que evidencia que aproximadamente el 9% de la población informa alta molestia.

⁴⁷ Se encontró un RR de 1.08 (95%CI: 1.02 - 1,14) por 10 dB (LDEN) en un rango de ruido de aproximadamente 50 – 70 dB.

⁴⁸ Nivel de presión sonora medio de largo plazo medido todos los días, tardes y noches de un año.

Figura 4-6: Curva dosis-respuesta % población que declara Alta Molestia (HA) y ruido ambiental



Fuente: Figura N° 6 Environmental Noise Guidelance OMS (2018)

El cálculo de la construcción de la línea que representa al conjunto de estudios se realiza mediante una regresión cuadrática cuya fórmula es la siguiente:

$$\% HA = 78,927 - 3,1162 * L_{den} + 0,0342 * L_{den}^2$$

A partir de esta fórmula es posible construir la siguiente tabla de asociación entre el incremento del ruido ambiental por tráfico vehicular y el porcentaje de población que podría presentar una alta molestia.

Tabla 4-4: Asociación entre incremento del ruido ambiental y el % de población con alta molestia

L_{den} (dB)	% HA
40	9,0%
45	8,0%
50	8,6%
55	11,0%
60	15,1%
65	20,9%
70	28,4%

L _{den} (dB)	% HA
75	37,6%
80	48,5%

Fuente: Tabla 10 Environmental Noise Guidelines (OMS 2018)

Las curvas dosis-respuesta de asociación entre el ruido ambiental por tráfico vehicular y los efectos de perturbación del sueño autodeclarados (despertar durante el sueño, dificultad para quedarse dormido y alteraciones del sueño), que se utilizarán para el análisis de efectos también se basan en un conjunto importante de evidencia robusta y sistematizada cuyas características se presentan a continuación. El efecto en salud priorizado es el porcentaje de población que declara grave perturbación del sueño y el riesgo relativo observado indica que ante un incremento de 10 dB se incrementa en un 2,13% el número de personas afectadas (Odds ratio: OR⁴⁹).

Tabla 4-5: Asociación entre ruido por tráfico vehicular y perturbaciones del sueño

Indicador	Resultado en salud priorizado	Riesgo cuantitativo por efecto en salud	Menor nivel de exposición observ.	Evidencia cualitativa
L _{night}	% HSD	OR: 2,13 (95% IC: 1,82 - 2,48) por incrementos de 10 dB	43 dB	Moderado (rebajado por las limitaciones de los estudios, inconsistencia; mejorado por dosis-respuesta y magnitud del efecto)

Fuente: Tabla 11 Environmental Noise Guidelines (OMS 2018)

A partir de este cálculo del riesgo relativo, es posible construir la siguiente tabla de asociación entre el incremento del ruido ambiental por tráfico vehicular y el porcentaje de población que podría presentar perturbación del sueño.

Tabla 4-6: Asociación entre incremento del ruido ambiental y el % de población con perturbación del sueño

L _{night} (dB)	% HSD	95% CI	
40	2,0%	0,90	3,15
45	2,9%	1,40	4,44
50	4,2%	2,14	6,27
55	6,0%	3,19	8,84
60	8,5%	4,69	12,43
65	12,0%	6,59	17,36

Fuente: Tabla 10 Environmental Noise Guidelines (OMS 2018)

De esta manera aplicando la metodología de evaluación del riesgo a la salud indicada en la Guía de Riesgo para la Salud de la Población (SEA 2012), incluyendo la evidencia actualizada en la Guía de Ruido Ambiental de la OMS (2018) se establece que el análisis se basa en los valores absolutos medidos para

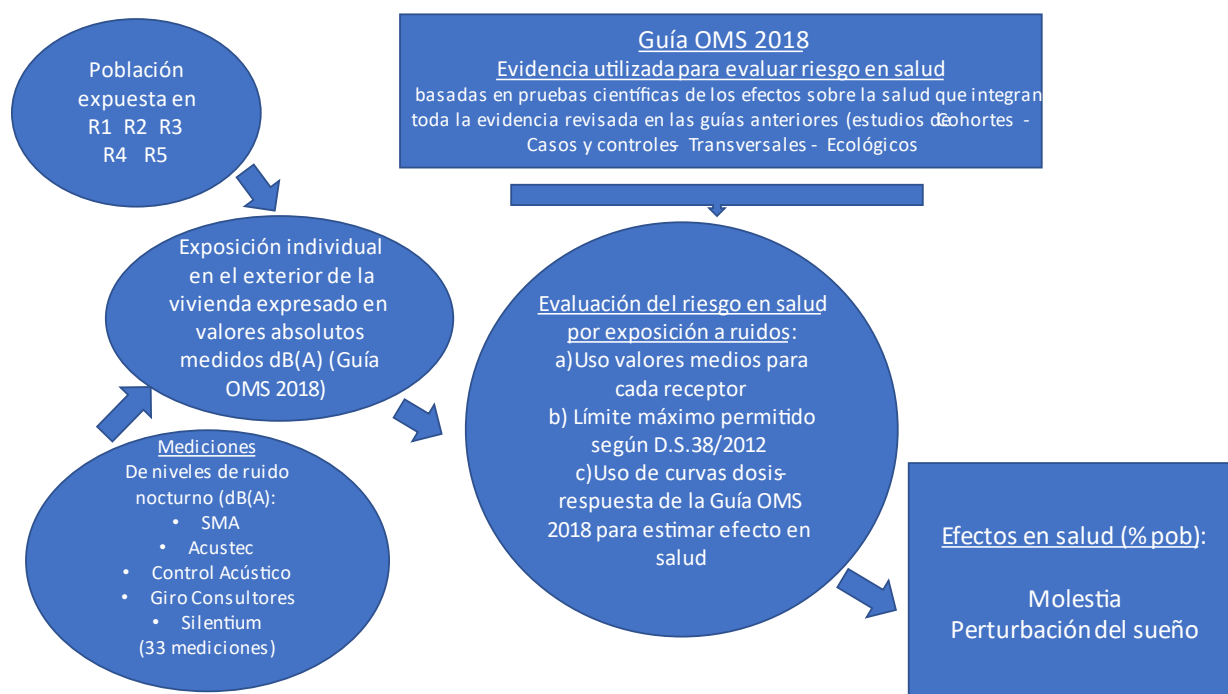
⁴⁹ Un odds ratio (OR) es una medida de asociación entre una exposición y un resultado. La OR representa las probabilidades de que un resultado ocurra dada una exposición particular, comparada con las probabilidades de que el resultado ocurra en ausencia de esa exposición.

cada receptor definido por la SMA en la Res Ex N°08/Rol D-094-2020. Tal como indica la OMS se evaluará el riesgo en salud utilizando los valores medios de cada receptor, considerando como nivel de riesgo aceptable el límite máximo permitido por la norma de ruidos. Se estima la magnitud del riesgo sobre la población expuesta mediante el uso de las curvas dosis-respuestas que presentan mayor evidencia, determinando la magnitud del riesgo de estos efectos adversos, por sobre el nivel normado en Chile (D.S.38/2011) y por sobre el riesgo aceptable definido por la OMS, utilizando los indicadores que recomienda la guía en:

1. El porcentaje de la población expuesta "altamente perturbada en el sueño"
2. El porcentaje de la población expuesta "muy molesta por el ruido".

A continuación se presenta un esquema que resumen la metodología de análisis de los potenciales efectos negativos ante la exposición a ruido.

Figura 4-7: Metodología de análisis efectos en salud por exposición a ruidos



Fuente: elaboración propia

4.4. Caracterización del riesgo

De la revisión de la evidencia respecto del riesgo en salud debido a la exposición a ruidos ambientales nocturnos, a continuación se presentan los resultados del análisis realizado en los cinco receptores cercanos a la Subestación Ancoa.

A partir de lo señalado, los resultados obtenidos en las mediciones de ruido ambiental para cada uno de los receptores se analizan respecto del límite máximo permisible de ruido que define nuestra legislación, dependiendo del momento del día (diurno y nocturno) y considerando la localización de los receptores sensibles.

Tabla 4-7: Niveles máximos permisibles de NPC según D.S. N° 38/2011 del MMA.

Tipo de Zona	Nivel de Presión Sonora Corregido (NPC) Máximo Permitido [dB(A)]	
	Periodo Diurno 7:00 a 21:00 horas	Periodo Nocturno 21:00 a 7:00 horas
Zona I	55	45
Zona II	60	45
Zona III	65	50
Zona IV	70	70
Zona Rural	NPC máximo permitido para Zona III	

Fuente: D.S. 38/2011 del MMA, artículos 7° y 9°.

Dado que todos los receptores se encuentran ubicados en Zona Rural, aplica como límites máximos de presión sonora corregida los valores establecidos para la Zona III.

Basado en el hecho de que la norma de ruido es una norma de emisión, pero que se mide en la inmisión, por lo cual puede considerarse que, al igual que las normas primarias de calidad ambiental, la definición de un límite máximo estaría específicamente orientado a proteger la salud de los receptores cercanos. Por lo cual, se define que cualquier emisión por sobre el nivel de presión sonora corregido de 50 dB(A) podría generar potencialmente efectos a la salud. Los posibles efectos en la salud que se podrían generar dado la evidencia revisada y los niveles de ruido medidos dicen relación con evaluar el porcentaje de la población expuesta que podría presentar alta molestia (highly annoyance %HA) e importante perturbación del sueño (highly sleep disturbance %HSD).

Adicionalmente se caracteriza el riesgo en salud de estos receptores sensibles a partir del nivel de riesgo aceptable que establece la OMS en su última guía que es más exigente. La caracterización del riesgo se realiza también considerando los efectos de presentar alta molestia (highly annoyance %HA) e importante perturbación del sueño (highly sleep disturbance %HSD).

Tabla 4-8: Caracterización del riesgo en salud por exposición a ruidos nocturnos

Receptor	Medida utilizada	Dosis de exposición dB (A)	Perturbación del sueño		Molestias	
			% población sobre norma DSN°38/2011	% población sobre recomendación OMS (2018)	% población sobre norma DSN°38/2011	% población sobre recomendación OMS (2018)
R1	Promedio	49,57	0,0	1,2	0,0	0,0
	UCL95	50,10	0,0	1,3	0,0	0,0
R2	Promedio	52,00	0,7	2,0	0,7	0,0
	UCL95	53,20	1,2	2,5	1,2	0,1

Receptor	Medida utilizada	Dosis de exposición dB (A)	Perturbación del sueño		Molestias	
			% población sobre norma DSN°38/2011	% población sobre recomendación OMS (2018)	% población sobre norma DSN°38/2011	% población sobre recomendación OMS (2018)
R3	Promedio	41,67	0,0	0,0	0,0	0,0
	UCL95	42,40	0,0	0,0	0,0	0,0
R4	Promedio	46,13	0,0	0,3	0,0	0,0
	UCL95	47,70	0,0	0,7	0,0	0,0
R5	Promedio	50,33	0,1	1,4	0,1	0,0
	UCL95	50,70	0,3	1,6	0,2	0,0

Fuente: elaboración propia

Nota UCL95 asegura con un 95% de confianza que en la distribución de los datos medidos, la exposición real al ruido ambiental nocturno de cada receptor es menor o igual al valor UCL calculado.

Considerando que el ruido generado por la Subestación es continuo y sin oscilaciones significativas (lo que hace teóricamente que sus efectos sean menos disruptivos para el sueño), **es posible concluir que desde el punto de vista de evaluación del riesgo a la salud derivado de la situación constatada de superación de la norma de ruido nocturno en todos los receptores cercanos, en el receptor R2 un 2,5% de la personas allí expuestas podrían presentar como efectos en salud importantes perturbaciones del sueño en las condiciones más exigentes de análisis (UCL95 y recomendación OMS 45 dB).** En los otros receptores la probabilidad de presentar importantes perturbaciones en el sueño es menor (1,6% de la población que habita en R5; 1,3% de quienes viven en R1 y 0,7% de las personas que viven en R4). En R3 no existe probabilidad de que se genere este efecto en la salud de las personas que allí residen.

Respecto de la presencia de molestias, la evaluación del riesgo a la salud derivado del incumplimiento normativo, indica que la probabilidad de presentar altas molestias es aún menor. Se estima que solamente un 0,1% de las personas que residen en R2 pudieran presentar el efecto en salud de molestias en base a la recomendación OMS. En el resto de los receptores incluso utilizando el UCL95 (valor que asegura con un 95% de confianza que en la distribución de los datos medidos, la exposición real al ruido ambiental nocturno de cada receptor sea menor o igual al valor UCL calculado) no se evidencia que este efecto se pudiera presentar.

Por los resultados presentados, utilizando la metodología de evaluación de riesgo en salud de la Guía SEA y los criterios de medición de efectos de la OMS, es razonable descartar la existencia de un riesgo potencial en la salud de las personas derivadas del hecho infraccional imputado.

4.5. Análisis de incertidumbre de la exposición ambiental

Un aspecto metodológico que complejiza la posibilidad de comparar los resultados obtenidos en relación con la exposición a ruido nocturno en los receptores vecinos a la Subestación dice relación con la forma de medición del ruido ambiental. La norma chilena establece que el tiempo de medición debe ser de 3

minutos, es decir lo que se obtiene con estas mediciones son resultados puntuales, a diferencia de las metodologías de medición de ruido a nivel internacional, donde el indicador más recomendado para el ruido nocturno es L_{night} que representa el promedio del ruido medido durante varias horas, por lo general entre 8 y 10 horas.

A pesar de lo anterior, tal como lo indica la norma chilena de ruido ambiental, D.S. N°38/2011, las mediciones realizadas en cada receptor consideraron el lugar, momento y condición de mayor exposición al ruido nocturno, de modo que represente la situación más desfavorable para dicho receptor (art 16) y adicionalmente las mediciones se realizaron en las condiciones habituales de uso del lugar y se descartaron mediciones que incluyeron ruidos ocasionales (art 17).

En la guía de la OMS 2018, que recoge y reanaliza toda la evidencia previa, reafirma que sus recomendaciones son fuente específica, identificando efectos en salud provocados por el ruido nocturno, asociados al ruido por el tráfico vehicular, tráfico de trenes y aviones; para los cuales la evidencia es sólida, se cuenta con un mayor número de estudios validados (meta análisis). Una característica común a este tipo de ruido ambiental es su variabilidad, es dinámico y asociado a eventos: paso del avión, tren o vehículo.

Respecto de otras fuentes evaluadas, incluyendo el ruido por turbina eólica, dada la baja calidad de la evidencia, no se construye aún una función exposición-respuesta para este tipo de ruido nocturno y la OMS no entrega recomendaciones debido a que la evidencia es considerada aún insuficiente. La ausencia de funciones exposición-respuesta para el tipo de ruido generado durante la noche por la Subestación Ancoa es otra incertidumbre importante en este caso.

El hecho que el ruido sea estable, continuo, de baja intensidad y con pocas oscilaciones, evidenciada en la baja variabilidad de las diferentes mediciones realizadas en los receptores avala que el carácter de este ruido es menos disruptivo del sueño, pudiendo en muchos casos no producir interrupciones, ni reducir el tiempo total de sueño.

5. CONCLUSIONES

El ruido es un agente físico que produce daño acústico y sordera, principalmente en los ambientes laborales. Desde hace algunas décadas se viene estudiando el impacto del ruido ambiental sobre la población general y los niños.

Si bien existe abundante evidencia que asocia el ruido con molestias, alteraciones funcionales y patologías crónicas, la reciente actualización de la OMS respecto de los efectos en salud debido a la exposición al ruido confirma que el comportamiento de este agente físico y su capacidad de generar efectos en salud varía mucho dependiendo del tipo de la fuente que origina el ruido, por lo cual establece recomendaciones basadas en la construcción de funciones exposición – respuesta respecto de fuentes específicas (ruido debido al tránsito vehicular, movimiento de trenes y aviones).

A pesar de las dificultades para evaluar los efectos en salud debido a la exposición del ruido ambiental generado por la Subestación Ancoa, se ha utilizado las curvas dosis-respuesta más sólidas de la guía OMS actualizada el 2018, confirmándose que en el receptor R2 un 2,5% de la personas allí expuestas podrían presentar como efectos en salud importantes perturbaciones del sueño en las condiciones más exigentes de análisis (UCL95 y recomendación OMS de límite máximo 45 dB). En los otros receptores la probabilidad de presentar importantes perturbaciones en el sueño es menor (1,6% de la población que habita en R5; 1,3% de quienes viven en R1 y 0,7% de las personas que viven en R4). En R3 no existe probabilidad de que se genere este efecto en la salud de las personas que allí residen.

Respecto de la presencia de molestias, la evaluación del riesgo a la salud derivado del incumplimiento normativo, indica que la probabilidad de presentar altas molestias es aún menor. Se estima que solamente un 0,1% de las personas que residen en R2 pudieran presentar el efecto en salud de molestias si se utiliza la recomendación de riesgo aceptable de OMS. En el resto de los receptores incluso utilizando el valor medio más exigente (UCL95) no se evidencia que este efecto se pudiera presentar.

Finalmente es necesario reconocer que la ausencia de cambios en las atenciones de salud en los centros de atención primaria y hospitalaria a los cuales acude la población que vive en los receptores sensibles analizados, no permite dar cuenta de la situación de salud de este grupo poblacional, por lo cual en esta versión se elimina este subcapítulo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- a. WHO 2018. Environmental Noise Guidelines for the European Region
- b. Van Kempen E, Casas M, Pershagen G, Foraster M (2018). WHO environmental noise guidelines for the European Region: a systematic review on environmental noise and cardiovascular and metabolic effects: a summary. *Int J Environ Res Public Health*. 15(2). pii: E379 ([http:// www.mdpi.com/1660-4601/15/2/379/htm](http://www.mdpi.com/1660-4601/15/2/379/htm), accessed 27 June 2018).
- c. Basner M, McGuire S (2018). WHO environmental noise guidelines for the European Region: a systematic review on environmental noise and effects on sleep. *Int J Environ Res Public Health*. 15(3):pii: E519 (<http://www.mdpi.com/1660-4601/15/3/519/htm>, accessed 27 June 2018).
- d. Bakker RH, Pedersen E, van den Berg GP, Stewart RE, Lok W, Bouma J (2012). Impact of wind turbine sound on annoyance, self-reported sleep disturbance and psychological distress. *SciTotal Environ*. 425:42–51.
- e. Brink M (2011). Parameters of well-being and subjective health and their relationship with residential traffic noise exposure – a representative evaluation in Switzerland. *Environ Int*. 37:723–33.
- f. Clark C, Head J, Stansfeld SA (2013). Longitudinal effects of aircraft noise exposure on children's health and cognition: a six-year follow-up of the United Kingdom RANCH cohort. *J Environ Psychol*. 35:1–9

- g. Ellenbogen J.M, Grace S, Heiger-Bernays WJ, Manwell JF, Mills DA, Sullivan KA, Weisskopf MG (2012). Wind Turbine Health Impact Study: Report of Independent Expert Panel. Massachusetts Department of Environmental Protection, Massachusetts Department of Public Health: Massachusetts, USA.
- h. Mathias Basner * ID and Sarah McGuire. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Effects on Sleep. March 2018.
- i. Selander J, Nilsson ME, Bluhm G, Rosenlund M, Lindqvist M, Nise G et al. (2009). Long-term exposure to road traffic noise and myocardial infarction. *Epidemiology*. 20(2):272–9.
- j. Stansfeld SA, Clark C, Cameron RM, Alfred T, Head J, Haines MM et al. (2009a). Aircraft and road traffic noise exposure and children’s mental health. *J Environ Psychol*. 29:203–7.
- k. Stansfeld SA, Haines MM, Berry B, Burr M (2009b). Reduction of road traffic noise and mental health: an intervention study. *Noise Health*. 11(44):169–75.