



**Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión**  
**Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**

**Predicción de niveles de ruido y evaluación de la exposición al ruido vehicular  
mediante CNOSSOS-EU en el Distrito de Huacho, 2025**

**Tesis**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental**

**Autores**

**Oscar Efrain Rivas Quiñones**  
**Katherine Nicole Zelada Cordova**

**Asesora**

**Mg. Lucero Katherine Castro Tena**



**Huacho – Perú**  
**2026**



#### **Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

**Reconocimiento:** Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



# UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

## LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

**Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**

### METADATOS

<b>DATOS DEL AUTOR (ES):</b>		
<b>NOMBRES Y APELLIDOS</b>	<b>DNI</b>	<b>FECHA DE SUSTENTACIÓN</b>
Oscar Efrain Rivas Quiñones	71134979	23/04/2026
Katherine Nicole Zelada Cordova	70871935	23/04/2026
<b>DATOS DEL ASESORA:</b>		
<b>NOMBRES Y APELLIDOS</b>	<b>DNI</b>	<b>CÓDIGO ORCID</b>
Mg. Lucero Katherine Castro Tena	70837735	<a href="https://orcid.org/0000-0002-6770-8615">https://orcid.org/0000-0002-6770-8615</a>
<b>DATOS DE LOS MIEMROS DE JURADOS – PREGRADO:</b>		
<b>NOMBRES Y APELLIDOS</b>	<b>DNI</b>	<b>CÓDIGO ORCID</b>
M(o). Luis Miguel Chávez Barbero	15759159	<a href="https://orcid.org/0000-0001-7816-1582">https://orcid.org/0000-0001-7816-1582</a>
M(o). María del Rosario Grados Olivera	15736587	<a href="https://orcid.org/0000-0002-3004-0252">https://orcid.org/0000-0002-3004-0252</a>
Mg. Hellen Yahaira Huertas Pomasoncco	46741141	<a href="https://orcid.org/0000-0002-4204-7320">https://orcid.org/0000-0002-4204-7320</a>

# 2026-015411 RIVAS QUIÑONES OSCAR EFRAIN 202...

## Predicción de Niveles de Ruido y Evaluación de la Exposición al Ruido Vehicular Mediante CNOSSOS-EU en el Distrito de Huac...

UI-FIAIAYA PREGRADO 2026

Unidad de Investigación FIAIAYA-2026

Facultad de Ingeniería Agrarias, Industrias Alimentarias y Ambiental

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3504331686

211 páginas

Fecha de entrega

11 mar 2026, 2:48 p.m. GMT-5

85.424 palabras

Fecha de descarga

11 mar 2026, 2:54 p.m. GMT-5

376.947 caracteres

Nombre del archivo

TESIS\_RIVAS\_Y\_ZELADA\_S-B.pdf

Tamaño del archivo

15.1 MB



Página 2 de 231 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3504331686

## 14% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Fuentes principales

14% Fuentes de Internet

6% Publicaciones

7% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## DEDICATORIA

A mi madre Jaquelina Córdova Uzuriaga, por darme su apoyo incondicional tanto en este proyecto como en la vida, a mi hermano Miguel Zelada Córdova por ser mi público de ensayo para casi todo, y a Quilla, quien no me dejaba sola mientras trasnochaba en mi escritorio.

Y a Oscar Rivas Quiñones, por animarme en los momentos donde nos faltaba dirección, por ser el mejor compañero de investigación que pudiera pedir y por no soltar mi mano hasta que  
logramos esto, juntos.

*Katherine Nicole Zelada Córdova*

En primer lugar, dedico esta investigación a mis padres Efraín Rivas Rivera y Merlina Quiñones Alvarado por su amor y confianza quienes, con arduo sacrificio diario, y apoyo constante hicieron posible mi educación por lo que este logro académico, es en gran parte por y para ellos. A mis hermanos, quienes fueron testigos de las noches largas de estudio y encuentren este logro una motivación para entender que con esfuerzo y disciplina se alcanzan las metas. A mi compañera de tesis Katherine Nicole Zelada Córdova por ser mi luz en los días más oscuros de esta investigación, por creer en mí cuando las dudas me vencían, por llenar cada vacío mental con su inteligencia, su confortante energía y especial cariño, por ello  
esta tesis es tan tuya como mía.

*Oscar Efraín Rivas Quiñones*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Padre Creador por permitirnos llevar esta investigación en las condiciones más favorables, con salud y con la certeza de que esta investigación es el fruto de nuestra formación como ingenieros. A mis padres por todo el apoyo a lo largo de este proceso, esto no hubiera sido posible sin ellos esperándonos en la línea de meta. A nuestras asesoras por su orientación académica, su paciencia y sus valiosas observaciones, que ayudaron a dar forma a esta investigación.

*Katherine Nicole Zelada Córdova*

Agradezco a Dios en primer lugar por mantenernos con salud integra durante el desarrollo de esta investigación. A mis padres por el apoyo incondicional y acompañamiento en este y todos los pasos de mi formación profesional. A nuestras asesoras y jurados que, con sus aportes y crítica constructiva, hicieron que este proyecto cumpla con el rigor metodológico y cumpla con la calidad académica esperada.

*Oscar Efraín Rivas Quiñones*

Y por último, ambos agradecemos enormemente a DGMR Software, por medio del Gerente de Producto Douglas Manvell, por el acceso a la licencia Company de iNoise y la orientación necesaria para hacer de esta investigación una realidad.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>9</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>10</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS.....</b>	<b>11</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>12</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>13</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>16</b>
1.1 Descripción de la Realidad Problemática.....	16
1.2 Formulación del Problema.....	19
1.2.1. Problema General.....	19
1.2.2. Problemas Específicos.....	19
1.3 Objetivos de la Investigación.....	20
1.3.1. Objetivo General.....	20
1.3.2. Objetivos Específicos.....	20
1.4 Justificación de la Investigación.....	20
1.5 Delimitación del Estudio.....	21
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>23</b>
2.1 Antecedentes de la investigación.....	23
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	23
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	25
2.2 Bases Teóricas.....	27
2.2.1 Niveles de Ruido Vehicular.....	27
2.2.2 Exposición al Ruido Vehicular.....	60
2.3 Definición de Términos Básicos.....	71
2.4 Hipótesis de Investigación.....	73
2.4.1 Hipótesis General.....	73
2.4.2 Hipótesis Específicas.....	73
2.5 Operacionalización de Variables.....	74
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>75</b>
3.1 Diseño Metodológico.....	75
3.1.1. Ubicación.....	75
3.1.2. Tipo de Investigación.....	78
3.1.3. Nivel de Investigación.....	78
3.1.4. Enfoque de Investigación.....	78
3.1.5. Diseño de Investigación.....	78
3.2 Población y Muestra.....	79
3.2.1 Población.....	79
3.2.2 Muestra.....	79
3.3 Técnicas de Recolección de Datos.....	79
3.3.1 Técnicas para Recolección de Atributos de Tráfico Vehicular.....	80

3.3.2	Técnicas para Recolección de Atributos del Entorno Acústico.....	91
3.4	Técnicas para el Procesamiento de la Información.....	100
3.4.1	Elección del Software de Modelamiento. ....	100
3.4.2	Predicción de los Niveles de Ruido del Tráfico Vehicular.....	100
3.4.3	Técnicas para Contrastación del Modelo con Mediciones Directas. ....	106
3.4.4	Técnicas para la Evaluación de la Exposición de la Población. ....	108
3.4.5	Simulación de Escenarios de Mitigación frente al Ruido.....	109
3.5	Limitaciones del Estudio.....	113
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS .....</b>		<b>114</b>
4.1	Análisis de Resultados .....	114
4.1.1.	Niveles de presión sonora simulados mediante CNOSSOS-EU.....	114
4.1.2.	Exposición de la población al ruido vehicular.....	126
4.1.3.	Relación entre Niveles Sonoros y Exposición Poblacional. ....	129
4.1.4.	Evaluación de escenarios de mitigación - Urbanización Los Cipreses..	131
<b>CAPÍTULO V. DISCUSIÓN .....</b>		<b>138</b>
5.1	Discusión de Resultados .....	138
5.1.1.	NPS simulados mediante CNOSSOS-EU (OE-1). ....	138
5.1.2.	Exposición de la población al ruido vehicular (OE2).....	140
5.1.3.	Relación entre niveles sonoros y exposición poblacional (OE3).....	141
5.1.4.	Evaluación de escenarios de mitigación (OE4). ....	142
<b>CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>144</b>
6.1	Conclusiones .....	144
6.2	Recomendaciones .....	144
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>146</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>165</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Coordenadas geográficas del área delimitada de estudio. ....	21
Tabla 2	Estudios relevantes sobre métodos empleados para modelamiento de ruido. 29	
Tabla 3	Variación de niveles de presión sonora por fuentes variadas. ....	36
Tabla 4	Atenuación producida por la vegetación .....	40
Tabla 5	Valores de atenuación generada por edificaciones. ....	40
Tabla 6	Resumen de la aplicación del método CNOSSOS-EU.....	44
Tabla 7	Sugerencias para la obtención del IMH.....	46
Tabla 8	Clasificación de vehículos conforme al modelo CNOSSOS-EU. ....	47
Tabla 9	Tipología de pavimentos conforme al modelo CNOSSOS-EU.....	50
Tabla 10	Caracterización de periodos de evaluación conforme a CNOSSOS-EU.....	51
Tabla 11	Radios de amortiguación promedio en función a la IMD.....	53
Tabla 12	Coefficientes de absorción por tipos de suelo.....	56
Tabla 13	Niveles umbral correspondientes a los efectos del ruido nocturno. ....	67
Tabla 14	Matriz de operacionalización.....	74
Tabla 15	Datos para condiciones de tráfico de un tramo vial.....	85
Tabla 16	Corrección meteorológica por periodo para el área de estudio. ....	98
Tabla 17	Umrales normativos (ECA/END) aplicados.....	109
Tabla 18	Comparación de absorción acústica por tipo de pavimento. ....	111
Tabla 19	Factores de reflexión por banda de octava para barreras acústicas. ....	111
Tabla 20	Media de emisión sonora vehicular y desviación estándar por tipo de vía. 114	
Tabla 21	Distribución superficial de los NPS vehicular por clase sonora y periodo. 116	
Tabla 22	Afectación territorial por superación de límites normativos (END/ECA). 117	
Tabla 23	Distribución de edificaciones expuestas según clase de NPS (dB(A)).....	118
Tabla 24	Densidad relativa de exposición edificatoria (REE).....	120
Tabla 25	Edificios expuestos por superación de límites normativos (END/ECA)...	122
Tabla 26	Estadística descriptiva por indicador de niveles de ruido simulados.....	122
Tabla 27	Áreas críticas (hotspots) según percentiles de ruido.....	124
Tabla 29	Distribución población residencial expuesta según clase de NPS (dBA)...	126
Tabla 30	Población expuestas por superación de límites normativos (END/ECA)...	128
Tabla 31	Resultados de análisis de normalidad por Shapiro-Wilk. ....	130
Tabla 32	Correlaciones de Pearson entre niveles sonoros y número de residentes. ..	131
Tabla 33	NPS media y máxima por indicador para cada escenario de mitigación....	132
Tabla 34	Distribución Superficial por bandas de nivel en cada escenario (Lden)....	133
Tabla 35	Distribución Superficial por bandas de nivel en cada escenario (Lnight)..	133
Tabla 36	Población residente expuesta por bandas de nivel (Lden).....	134
Tabla 37	Población residente expuesta por bandas de nivel (Lnight). ....	135
Tabla 38	Variaciones de los efectos observados entre escenarios de mitigación. ....	136

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Mapa de delimitación del área de estudio.....	22
<i>Figura 2.</i> Consideraciones para la modelización y predicción del ruido vehicular.....	32
<i>Figura 3.</i> Factores que afectan a la incertidumbre en las predicciones del ruido vial.....	33
<i>Figura 4.</i> Trayectorias de propagación sonora entre una fuente (F) y un receptor (R).....	38
<i>Figura 5.</i> Efecto de los obstáculos en la propagación sonora.....	39
<i>Figura 6.</i> Refracción sonora causada por la temperatura.....	41
<i>Figura 7.</i> Refracción sonora generado por el viento.....	42
<i>Figura 8.</i> Distinción del área de cálculo entre el área de proyecto.....	52
<i>Figura 9.</i> Distinción entre el cálculo de un modelo con obstáculos y sin ellos.....	53
<i>Figura 10.</i> Distinción entre el cálculo de un modelo con IMD variado.....	54
<i>Figura 11.</i> Pirámide de efectos del ruido sobre la salud.....	65
<i>Figura 12.</i> Esquema de impactos a la salud por exposición al ruido.....	68
<i>Figura 13.</i> Mapa de ubicación y sectorización del área de estudio.....	76
<i>Figura 14.</i> Mapa de intersecciones viales en el área de interés.....	82
<i>Figura 15.</i> Conteo de flujo vehicular en intersecciones por segmentos de vías.....	83
<i>Figura 16.</i> Configuración para aforado de una intersección regular de 4 segmentos.....	84
<i>Figura 17.</i> Mapa de rutas optimizadas para actualización de recorrido virtual.....	87
<i>Figura 18.</i> Cálculo de la distancia considerada para frenado y Crossing area.....	89
<i>Figura 19.</i> Inserción de área en intersecciones y usos de suelo.....	90
<i>Figura 20.</i> Flujo metódico para actualización de Street View.....	93
<i>Figura 21.</i> Importación de Recorrido virtual actualizado en el área de interés.....	94
<i>Figura 22.</i> Rosa de viento anual de Huacho por el modelo ERA5T.....	98
<i>Figura 23.</i> Asignación de tipo de elemento en iNoise en función al contenido.....	101
<i>Figura 24.</i> Esquema de la grilla de cálculo en iNoise a dos alturas (4 m y 1.5 m).....	102
<i>Figura 25.</i> Ejemplo de ubicación de receivers alrededor de un edificio - CASO 1.....	103
<i>Figura 26.</i> Distribución de receptores en fachadas a 2 alturas (4 y 1.5 m).....	104
<i>Figura 27.</i> Escala estándar CNOSSOS-EU con referencia al ECA Ruido (Perú).....	106
<i>Figura 28.</i> Resumen del flujo metódico.....	112
<i>Figura 29.</i> Distribución de niveles de emisión acústica vehicular por tipo de vía.....	115
<i>Figura 30.</i> Distribución superficial de los NPS por rango sonoro y periodo.....	116
<i>Figura 31.</i> Distribución porcentual de edificaciones expuestas por clase de NPS.....	119
<i>Figura 32.</i> Distribución de exposición edificatoria por periodo y sector urbano.....	121
<i>Figura 33.</i> Distribución global de NPS vehicular (dBA) por indicador.....	123
<i>Figura 34.</i> Distribución sectorial % de áreas críticas (hotspots) por indicador.....	125
<i>Figura 35.</i> Distribución porcentual de residentes expuestos por clase de NPS.....	127
<i>Figura 36.</i> Comparación de afectación (END/ECA) por dominio evaluado.....	129
<i>Figura 37.</i> Distribución de exposición edificatoria por periodo y sector urbano.....	137

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa de Ruido Vehicular y Exposición Poblacional – Lden. ....	166
Anexo 2. Mapa de Ruido Vehicular y Exposición Poblacional – Diurno. ....	167
Anexo 3. Mapa de Ruido Vehicular y Exposición Poblacional – Vespertino. ....	168
Anexo 4. Mapa de Ruido Vehicular y Exposición Poblacional – Nocturno. ....	169
Anexo 5. Mapa de Exposición Máxima por Edificio Residencial – Lden.....	170
Anexo 6. Mapa de Exposición Máxima por Edificio Residencial – diurno. ....	171
Anexo 7. Mapa de Exposición Máxima por Edificio Residencial – vespertino. ....	172
Anexo 8. Mapa de Exposición Máxima por Edificio Residencial – nocturno.....	173
Anexo 9. Mapa comparativo de Escenarios de Mitigación (Lden). ....	174
Anexo 10. Mapa comparativo de Escenarios de Mitigación – Lnight.....	175
Anexo 11. Mapa de EAM por intersección en el sector urbano 2. ....	176
Anexo 12. Mapa de EAM por intersección en el sector urbano 3. ....	177
Anexo 13. Mapa de EAM por intersección en el sector urbano 5. ....	178
Anexo 14. Mapa de EAM por intersección en el sector urbano 6. ....	179
Anexo 15. Configuraciones para el aforado manual en intersección cruz.....	180
Anexo 16. Configuraciones para el aforado manual en intersección T. ....	182
Anexo 17. Configuraciones para el aforado manual en intersección Y.....	184
Anexo 18. Configuración para el AMV en intersección Rampa de Incorporación. ..	185
Anexo 19. Configuraciones para el aforado manual en intersección Glorieta. ....	186
Anexo 20. Formato técnico de campo. ....	187
Anexo 21. Validación de Formato Técnico de Campo por juicio de expertos. ....	189
Anexo 22. Descripción gráfica por categoría vehicular (D.S. 058-2003 MTC).....	192
Anexo 23. Categorización de vías según PDU-2013-2022. ....	193
Anexo 24. Respuesta a lo solicitado a la MPH por Ley de Transparencia. ....	196
Anexo 25. Formulario QAI “Conformidad de iNoise con CNOSSOS-EU”. ....	198
Anexo 26. Formulario QAI “Conformidad de iNoise con ISO 9613-2:1996”.....	199
Anexo 27. Consolidado de Flujo Vehicular y Emisión sonora total por segmento...200	
Anexo 28. Umbrales normativos (ECA/END) aplicados. ....	204
Anexo 0.29. Comparación de contrastación de NPS medidos y predichos. ....	204
Anexo 30. Distribución sectorial de áreas críticas (hotspots) por indicador. ....	205
Anexo 31. Aforado Manual Vehicular EAM-12N-S2 – periodo diurno. ....	207
Anexo 32. Aforado Manual Vehicular EAM-12N-S2 – periodo diurno. ....	207
Anexo 33. Aforado Manual Vehicular EAM-16C-S2 – periodo diurno. ....	208
Anexo 34. Aforado Manual Vehicular EAM-107(A-C)-S6 – periodo diurno.....	208
Anexo 35. Aforado Manual Vehicular EAM-21EyN-S2 – periodo vespertino.....	209
Anexo 36. Aforado Manual Vehicular EAM-58(E, N, A)-S3 – vespertino. ....	209
Anexo 37. Aforado Manual Vehicular EAM-79ByC-S3 – vespertino.....	210
Anexo 38. Aforado Manual Vehicular EAM-107(D, N, A)-S6 – vespertino.....	210
Anexo 39. Aforado Manual Vehicular EAM-110N-S6 – periodo nocturno. ....	211
Anexo 40. Aforado Manual Vehicular EAM-57AyB-S3 – periodo nocturno.....	211
Anexo 41. Aforado Manual Vehicular EAM- A y B-S2 – periodo nocturno.....	212
Anexo 42. Aforado Manual Vehicular EAM-22AyB-S2 – periodo nocturno.....	212

## RESUMEN

**Objetivos:** Evaluar la relación entre los niveles de presión sonora generados por el tráfico vehicular y la población residencial expuesta mediante el modelamiento con CNOSSOS-EU en el distrito de Huacho, 2025. Específicamente, modelar niveles sonoros  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$ ,  $L_{night}$  y  $L_{den}$ , caracterizar la distribución espacial de la población residencial expuesta según bandas de nivel sonoro, caracterizar distribución espacial de población expuesta; analizar relación estadística niveles-población; comparar escenarios de mitigación en zona crítica.

**Metodología:** Diseño cuantitativo descriptivo-correlacional no experimental en sectores urbanos residenciales del distrito (S2, S3, S5, S6) con un área total de 379.85 Ha. Se recolectaron datos de tráfico vehicular (flujos clasificados por tipo, velocidades, composición) mediante aforos manuales en intersecciones críticas y atributos del entorno acústico (edificaciones, pavimentos, topografía, meteorología) mediante recorridos virtuales actualizados y revisión documental; Esto se integró en iNoise a fin de modelar la propagación del ruido para luego cruzar espacialmente las isófonas obtenidas con edificaciones residenciales. Análisis Shapiro-Wilk, correlación Pearson y simulaciones de mitigación (pavimentos porosos, pantallas acústicas y combinación) en Urbanización Los Cipreses elegida como zona crítica. **Resultados:**  $L_{den}$  superó 60 dBA en 35.2% del área total, afectando 12,847 residentes (68.4%). Hotspots ( $>P95$ ) concentraron 18.2 ha en S5 ( $L_{den}$  máximo). Correlación positiva significativa ( $r=0.847$ ,  $p<0.01$ ) entre niveles sonoros y población expuesta. Escenario combinado (pavimento+ pantallas) redujo  $L_{den}$  4.2 dBA, disminuyendo población expuesta 27.3%. **Conclusiones:** CNOSSOS-EU predice eficazmente ruido vehicular y exposición poblacional en contextos peruanos, confirmando relación directa entre niveles de presión sonora y población residencial expuesta. Su aplicación permite generar mapas estratégicos de ruido que orientan la planificación urbana y medidas de mitigación acústica en el distrito de Huacho.

Palabras clave: *CNOSSOS-EU, ruido vehicular, mapas estratégicos de ruido, exposición poblacional, mitigación acústica, modelamiento acústico.*

## ABSTRACT

**Objectives:** To evaluate the relationship between sound pressure levels generated by vehicular traffic and the exposed residential population using CNOSSOS-EU modeling in the district of Huacho, 2025. Specifically, to model Lday, Levening, Lnight, and Lden sound levels; characterize the spatial distribution of the exposed residential population according to sound level bands; characterize the spatial distribution of the exposed population; analyze the statistical relationship between levels and population; compare mitigation scenarios in critical areas. **Methodology:** Non-experimental quantitative descriptive-correlational design in urban residential sectors of the district (S2, S3, S5, S6) with a total area of 379.85 ha. Vehicle traffic data (flows classified by type, speed, composition) were collected through manual measurements at critical intersections, and attributes of the acoustic environment (buildings, pavements, topography, meteorology) were collected through updated virtual tours and document review. This was integrated into iNoise in order to model noise propagation and then spatially cross-reference the isophones obtained with residential buildings. Shapiro-Wilk analysis, Pearson correlation, and mitigation simulations (porous pavements, acoustic screens, and combination) were performed in the Los Cipreses neighborhood, which was chosen as a critical area. **Results:** Lden exceeded 60 dBA in 35.2% of the total area, affecting 12,847 residents (68.4%). Hotspots (>P95) concentrated 18.2 ha in S5 (maximum Lden). Significant positive correlation ( $r=0.847$ ,  $p<0.01$ ) between sound levels and exposed population. The combined scenario (pavement + screens) reduced Lden by 4.2 dBA, decreasing the exposed population by 27.3%. **Conclusions:** CNOSSOS-EU effectively predicts traffic noise and population exposure in Peruvian contexts, confirming a direct relationship between sound pressure levels and the exposed residential population. Its application allows the generation of strategic noise maps that guide urban planning and noise mitigation measures in the district of Huacho.

**Keywords:** *CNOSSOS-EU, traffic noise, strategic noise maps, population exposure, noise mitigation, acoustic modeling.*

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el ruido generado por el tránsito vehicular ha crecido de manera alarmante debido a la expansión urbana en las ciudades más importantes del mundo y sus alrededores. Lo que antes se consideraba un simple efecto colateral de la movilidad urbana ahora se reconoce como uno de los problemas ambientales más persistentes, con impactos comprobados en la salud y la calidad de vida de la población expuesta. A nivel internacional, la Unión Europea respondió con el método armonizado CNOSSOS-EU, que ha permitido en sus países generar mapas estratégicos de ruido, estimar poblaciones expuestas a ciertos niveles sonoros y evaluar opciones de mitigación (MITECO y CEDEX, 2025). En contraste, Perú depende casi exclusivamente de mediciones puntuales y comparaciones con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), lo que restringe seriamente la comprensión espacial del fenómeno y la planificación de intervenciones a escala urbana.

Este panorama se repite en Huacho, capital de la provincia de Huaura, atravesada por la Carretera Panamericana Norte y otras vías regionales que concentran tráfico de carga y pasajeros. Su red vial y urbanización creciente han elevado la relevancia del ruido vehicular, generando quejas de vecinos y transeúntes en zonas de alto flujo. Sin embargo, las autoridades enfrentan limitaciones en recursos e instrumentos, lo que resulta en un incumplimiento constante de los ECA en puntos críticos y en la ausencia de evaluaciones predictivas, análisis espaciales de exposición o simulaciones de mitigación para decisiones basadas en evidencia.

Ante esta situación, la presente investigación tiene como objetivo general evaluar la relación entre los niveles de presión sonora por tráfico vehicular y la población residencial expuesta en el distrito de Huacho, utilizando el modelo CNOSSOS-EU (2025). Los objetivos específicos son: (i) modelar los niveles sonoros producidos por el tráfico en el área urbana con CNOSSOS-EU; (ii) cuantificar la población expuesta por bandas de *Lden* y *Lnight* mediante cruce espacial de edificaciones y simulaciones; (iii) analizar la relación entre niveles simulados y magnitud de población expuesta por grado de ruido; y (iv) evaluar la eficacia potencial de medidas de mitigación en una zona crítica a través de simulaciones acústicas.

Se adoptó un enfoque cuantitativo descriptivo-correlacional, centrado en la relación entre ruido vehicular y población expuesta mediante análisis estadístico, prueba de Shapiro-Wilk para normalidad y correlación de Pearson. Con un diseño no experimental, se usaron datos recolectados en campo de: flujos vehiculares, velocidades, características viales, pavimentos y configuración urbana se integraron en iNoise con CNOSSOS-EU para generar mapas de *Lday*,

*Levening*, *Lnight* y *Lden*. Estos se cruzaron con cartografía de edificaciones y registros poblacionales para estimar exposición, y se simularon tres escenarios en Urbanización Los Cipreses: pavimento de alta absorción, pantallas acústicas y su combinación.

La tesis se organiza en cinco capítulos. El Capítulo I presenta el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación del estudio. El Capítulo II expone el marco teórico y los antecedentes nacionales e internacionales sobre ruido vehicular, modelamiento acústico y exposición poblacional. El Capítulo III describe la metodología empleada, el área de estudio, las variables, las fuentes de información y los procedimientos de modelación con CNOSSOS-EU. El Capítulo IV muestra los resultados relacionados con los niveles de ruido simulados, la población expuesta, la relación ruido–población y los escenarios de mitigación. Finalmente, el Capítulo V desarrolla la discusión de los hallazgos, las conclusiones vinculadas a cada objetivo específico y las recomendaciones orientadas a la gestión del ruido vehicular en Huacho y a la posible adopción de metodologías predictivas en el país.

# CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 Descripción de la Realidad Problemática

En las últimas décadas, el crecimiento económico y la expansión urbana han impulsado un aumento sostenido del parque automotor y de las infraestructuras de transporte; Así, de acuerdo con cifras del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC, como se cita en Asociación Automotriz del Perú [AAP], 2024), el total anual del parque automotor nacional ascendió a 3,422,588 unidades vehiculares en 2023; donde solo en Lima se concentraron 2,227,868 en el mismo año; asimismo, se han construido 174,108 kilómetros de infraestructura vial nacional solo en el año 2023, 3% más respecto al año 2020. Además, la Superintendencia Nacional de los Registros Públicos (SUNARP, como se cita en AAP, 2025) reportó que, para el acumulado de la venta de vehículos livianos nuevos en el 2025, “se registraron 186,981 unidades vendidas, cifra que significó un récord histórico y mayor en 23.8 % con relación a todo lo comercializado el 2024”. En general, cuando se habla de inversión en infraestructura vial, se priorizan los beneficios que representa para la comodidad humana, ya que significa accesibilidad, confort y beneficios económicos, porque la plusvalía de las propiedades aledañas se incrementa, disminuyen los costos de traslado, las actividades cotidianas se realizan en menos tiempo, entre otras ventajas. Habitualmente este crecimiento se presenta de forma tan presurosa, que según Zamorano *et al.* (2019), para la población misma es difícil asimilarlo, y para cuando caen en cuenta, las apacibles zonas residenciales que habitaban, de pronto se ven rodeadas de grandes vialidades, con los beneficios e inconvenientes que de ello se derivan.

Buhaug y Urdal (2013) y Mohsin *et al.* (2019) sostienen que uno de los impactos negativos procedentes del uso de vehículos automotores sobre el ambiente es el incremento de sonidos indeseados, los cuales se generan a través de sus propios mecanismos, motores y la interacción de los neumáticos con el pavimento. Se entiende por ruido como “un sonido indeseable que moleste, perjudique o afecte a la salud de las personas” (Decreto Supremo N.º 085-2003-PCM, 2003). Además, la evidencia epidemiológica resaltada por Münzel (2018), Neitzel (2018), Bodin *et al.* (2016) y Babisch *et al.* (2013) muestra que el ruido del tráfico no solo afecta el confort cotidiano, sino que se asocia con alteraciones del sueño, estrés crónico, incrementos en enfermedades cardíacas isquémicas, disminución del rendimiento laboral y académico, pérdida de audición; por lo que el Centro Estatal de Vigilancia Epidemiológica y Control de Enfermedades (CEVECE, como se cita en Zamorano *et al.*, 2019) asevera que “el ruido debe considerarse como un problema ambiental de gran relevancia, además de ser un factor de riesgo

sanitario”. Es más, el ruido ambiental es la segunda amenaza principal a los problemas de salud ambiental, solo superada por la contaminación atmosférica (Agencia Ambiental Europea [EEA], 2020).

En respuesta a esta problemática, desde la comunidad científica internacional se han desarrollado metodologías de modelamiento geoespacial del ruido por tráfico vial a fin de representar de forma cuantitativa y espacial el comportamiento del ruido en entornos urbanos (Alam *et al.*, 2020; Brito, 2017). Siendo desglosados en: 1) Interpolación de mediciones sonométricas, por el modelo de generación de isófonas *Kriging*, el cual es un método tradicionalmente empleado, sin embargo, Murillo *et al.* (2012, como se cita en González y Rodríguez, 2022) resalta que “estos procedimientos no consideran la manera del cómo se propaga el sonido ni la existencia de fenómenos acústicos como absorción, reflexión, difracción y atenuación generados por edificaciones y demás objetos existentes en el entorno”, ocasionando divergencias entre los niveles de presión sonora modelados y el comportamiento físico real del fenómeno; en contraste a los 2) Modelos predictivos, basados en ecuaciones matemáticas complejas para la emisión y propagación acústica en función a diferentes parámetros del tráfico vehicular y el medio acústico, los cuales se ejecutan en sistemas de información geográfica. Garg y Maji (2014) mencionan como principales modelos de este tipo adoptados en los últimos años al FHWA de EE. UU., ASJ RTN 2008 de Japón, CoRTN del Reino Unido, RLS 90 de Alemania, Son Road de Suiza, Harmonoise de Europa, Nord 2000 de los países escandinavos, NMPB-Routes-2008 de Francia.

En la Unión Europea (UE) este enfoque se ha consolidado mediante la Directiva Sobre el Ruido Ambiental - END (Directiva 2002/49/CE, 2002) y la adopción del Método Común Europeo de Evaluación del Ruido Ambiental - CNOSSOS-EU (Directiva (UE) 2015/996/CE, 2015), que representa el marco jurídico para la elaboración de Mapas Estratégicos de Ruido para todos los Estados miembros de la UE obligándolos a transferir de las metodologías preexistentes basadas en el ámbito nacional (conocidos como métodos interinos). Gracias a ello, en el marco de la ronda de mapas de ruido END 2022, se han elaborado representaciones que muestran que alrededor de 89 millones de personas están expuestas a niveles de ruido de tráfico rodado iguales o superiores a 55 dB Lden en áreas urbanas, es decir, más del 11% de la población europea (Agencia Ambiental Europea [EEA], 2025).

En cambio, en el contexto peruano la evaluación del ruido ambiental se ha centrado históricamente en mediciones puntuales in situ y en la comparación directa con los Estándares

de Calidad Ambiental (ECA) para ruido establecidos por el Decreto Supremo N.º 085-2003-PCM (2003), que fija límites diferenciados por tipo de zona y periodo (por ejemplo, 60 dB(A) diurno y 50 dB(A) nocturno para zonas residenciales). Si bien este procedimiento es útil para la vigilancia normativa en puntos específicos, resulta insuficiente para caracterizar la distribución espacial del ruido, identificar gradientes sonoros, delimitar zonas críticas de exposición poblacional y analizar el efecto potencial de diferentes escenarios de gestión. Estudios locales sobre ruido vehicular en ciudades peruanas han mostrado con frecuencia superaciones de los ECA en vías de alto tránsito como el realizado por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) en el año 2015, donde luego de medir los niveles de ruido en 224 puntos, ubicados en 43 distritos de la provincia de Lima, el informe identifica a 10 puntos como críticos debido a que exceden los 80 dB(A), sin embargo, el 90,21% excede el umbral normativo nacional de 60 dBA (OEFA, 2016); pero en su mayoría se han limitado a comparar mediciones puntuales con la norma sin incorporar modelamiento predictivo ni estimaciones detalladas de la población expuesta (Ascanio y Coronel, 2024; Coronel, 2022 y Dávila, 2023).

La ciudad de Huacho, capital de la provincia de Huaura, constituye un ejemplo claro de esta problemática, el distrito colinda por la Carretera Panamericana Norte y por vías de jerarquía regional que concentran el mayor flujo de vehículos pesados y livianos, lo que, en un contexto de crecimiento continuo del parque automotor nacional, incrementa la probabilidad de exposición sostenida de la población urbana a niveles elevados de ruido de tránsito, añadido a ello, la ciudad se encuentra en expansión hacia el Sur (Cono Sur) que contribuye a las nuevas construcciones de infraestructura vial por las necesidades de la población emergente.

Distintos monitoreos locales, como los realizados por Cuevas (2025); Pantoja (2024); Luna (2022); Castillo (2021) y Romero *et al.* (2018); evidencian el incumplimiento de los ECA para ruido en la mayoría de los puntos de medición establecidos coincidiendo en que el tráfico vehicular es el principal emisor de ruido, lo que sugiere una exposición crónica de la población a niveles sonoros superiores a los umbrales recomendados para la protección de la salud; sin embargo, estos estudios se han enfocado mayormente en mediciones aisladas y, en algunos casos, en la percepción subjetiva de molestia, sin integrar modelos predictivos que permitan evaluar de manera conjunta los niveles de ruido y la exposición de los residentes.

Esta situación establece una brecha científica y técnica preocupante: pese a la existencia de evidencia sobre el incumplimiento de la normativa de ruido en Huacho y en otras ciudades

peruanas, no se dispone de evaluaciones que combinen el modelamiento de niveles sonoros, el análisis espacial de la exposición residencial y la simulación de medidas de mitigación, tal como se requiere en los enfoques modernos de gestión del ruido ambiental. En ausencia de herramientas predictivas estandarizadas, la gestión del ruido en el distrito se apoya en información fragmentada y principalmente puntual, lo que restringe la planificación de intervenciones urbanas y de infraestructura orientadas a reducir de manera eficaz la exposición de la población.

Frente a este escenario, se hace necesario aplicar metodologías de modelamiento acústico reconocidas internacionalmente, como CNOSSOS-EU, adaptando su configuración al contexto del área de estudio y de este modo, la presente investigación busca contribuir a cerrar la brecha entre las prácticas locales de evaluación del ruido, basadas en mediciones puntuales y comparación con ECA, y los enfoques predictivos empleados en otros países, proporcionando insumos técnicos que fortalezcan la toma de decisiones y la gestión del ruido ambiental en Huacho.

## **1.2 Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema General.**

¿Cuál es la relación entre los niveles de presión sonora generados por el tráfico vehicular y la población residencial expuesta, a partir del modelamiento con CNOSSOS-EU en el distrito de Huacho, 2025?

### **1.2.2. Problemas Específicos.**

- ¿Cuáles son los niveles de presión sonora ( $L_{day}$ ,  $L_{evening}$ ,  $L_{night}$  y  $L_{den}$ ) generados por el tráfico vehicular modelados mediante CNOSSOS-EU en el distrito de Huacho, 2025?
- ¿Cómo se distribuye espacialmente la población residencial expuesta al ruido vehicular según bandas de nivel sonoro en el distrito de Huacho, 2025?
- ¿Qué relación existe entre los niveles de presión sonora simulados y la magnitud de población residencial expuesta en el área urbana del distrito de Huacho, 2025?
- ¿En qué medida los escenarios de mitigación simulados modifican los niveles de presión sonora vehicular y la cantidad de población residencial expuesta en una zona crítica del distrito de Huacho, 2025?

## **1.3 Objetivos de la Investigación**

### **1.3.1. Objetivo General.**

Evaluar la relación entre los niveles de presión sonora generados por el tráfico vehicular y la población residencial expuesta, mediante el modelamiento con CNOSSOS-EU en el distrito de Huacho, 2025.

### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- Modelar y describir los niveles de presión sonora producidos por el tráfico vehicular mediante la aplicación del método CNOSSOS-EU en el distrito de Huacho, 2025.
- Caracterizar la distribución espacial de la población residencial expuesta al ruido vehicular según bandas de nivel sonoro en el distrito de Huacho, 2025.
- Analizar la relación estadística entre los niveles de presión sonora simulados y la magnitud de población residencial expuesta en el distrito de Huacho, 2025.
- Comparar los niveles de presión sonora vehicular y la población residencial expuesta bajo diferentes escenarios de mitigación del ruido, simulados con CNOSSOS-EU en una zona crítica del distrito de Huacho, 2025.

## **1.4 Justificación de la Investigación**

El distrito de Huacho, al ser una ciudad en proceso de expansión, enfrenta un problema creciente de ruido ambiental asociado al aumento del tráfico vehicular y crecimiento urbano; no obstante, actualmente el Marco Normativo Peruano para la gestión del ruido ambiental se fundamenta en el Decreto Supremo N.º 085-2003-PCM (Estándares de Calidad Ambiental para Ruido), que establece límites máximos por tipo de zona (residencial: 60 dB(A) diurno, 50 dB(A) nocturno). Sin embargo, esta norma no exige la elaboración de mapas estratégicos de ruido ni la evaluación predictiva de exposición poblacional, limitando su capacidad de guiar decisiones de planificación urbana. Por el contrario, la Directiva Europea 2002/49/CE obliga a los Estados miembros a elaborar mapas estratégicos de ruido cada 5 años, con el fin de proporcionar información detallada sobre exposición poblacional y facilitar el diseño de planes de acción contra el ruido. Este estudio representa un primer paso hacia la adopción de estándares de evaluación acústica comparables a los europeos, demostrando la viabilidad técnica de cerrar esta brecha normativa.

## 1.5 Delimitación del Estudio

Este estudio se delimita geográficamente en el distrito de Huacho, provincia de Huaura, región Lima, Perú, específicamente en los sectores 2, 3, 5 y 6 bajo la categorización realizada por el gobierno local (*Figura 1*). Se consideró la delimitación más apropiada para el análisis del presente estudio por tres razones: (1) en aquellos sectores predominan las zonas con uso de suelo residencial, (2) se encuentran dentro del casco urbano y (3) tienden a concentrar considerablemente el volumen de flujo vehicular de Huacho. El análisis se centra en el ruido producido por el tráfico vehicular de manera transversal en el año 2025, utilizando características de tráfico y entorno acústico. La recolección de datos *in situ* se realizarán durante cuatro meses. Para evaluar la exposición al ruido se considerarán los habitantes en las edificaciones de uso residencial, excluyendo otros tipos de edificaciones. La investigación se basa en el modelado acústico con CNOSSOS-EU, contrastando el desempeño predictivo mediante mediciones *in situ*, y se complementa con análisis estadístico, revisión documental y observación directa. Se utilizarán softwares específicos para el modelado acústico, análisis estadístico y SIG.

Tabla 1

Coordenadas geográficas del área delimitada de estudio.

Sector	UTM – Zona 18 Sur		Área (Ha)	Descripción
	Este	Norte		
S1	214884,00	8771196,00	85,27	Zona Comercial/Zona Residencial
S2	215937,75	8771152,92	55,52	Zona Comercial/Zona Residencial
S3	215946,52	8770326,42	133,25	En su mayoría Zona Residencial
S4	214868,07	8770509,20	63,16	En su mayoría Zona Comercial
S5	215120,94	8769976,57	42,53	En su mayoría Zona Residencial/ZPE
S6	215734,05	8769331,59	125,0	En su mayoría Zona Residencial/ZPE
S7	214412,00	8768944,00	61,94	Zona de expansión (Cono Sur)
S8	214560,00	8768507,00	20,09	Zona de expansión (Cono Sur)
S9	214951,00	8768260,00	45,15	Zona de expansión (Cono Sur)

*Nota.* Adaptado de la información del Plan de Desarrollo Urbano 2013-2022 (PDU) local (MPH, 2014), aprobada con la Ordenanza Municipal N° 004-2014-MPH y actualizada por Ordenanza Municipal N.° 028-2019-MPHH.

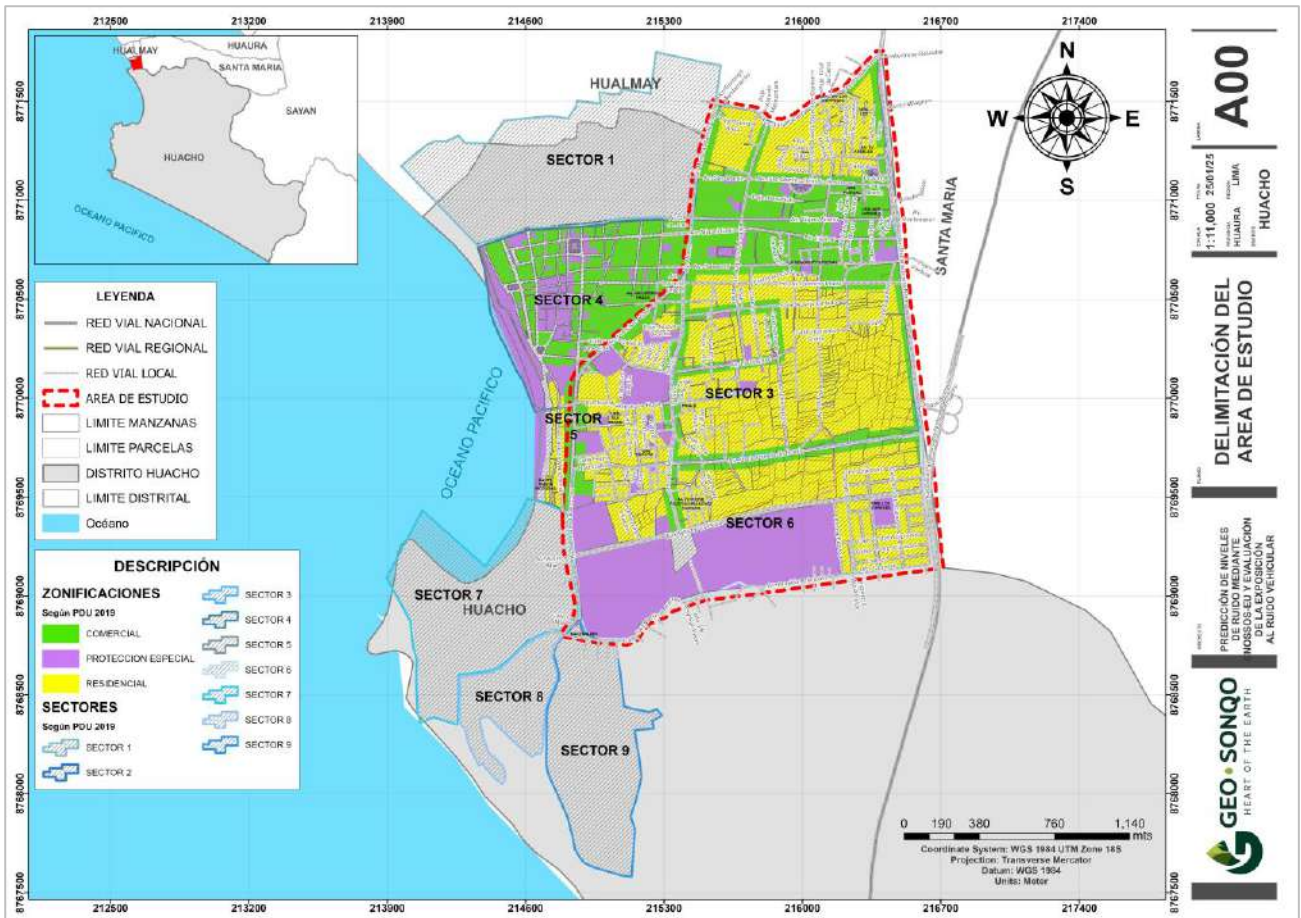


Figura 1. Mapa de delimitación del área de estudio.

Nota: Adaptado del Plan de Desarrollo Urbano 2013-2022 (PDU) local (MPH, 2014), aprobada con la Ordenanza Municipal N° 004-2014-MPH y actualizada por Ordenanza Municipal N.° 028-2019-MPHH.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1 Antecedentes Internacionales.

Ascari, E., Cerchiai, M., Ferdianelli, L., Melluso, D. y Licitra, G. (2024), Massarosa, Italia. Artículo de investigación que tuvo como objetivo principal calibrar los coeficientes acústicos de los pavimentos de bajo ruido (LNP) definidos por el usuario en el modelo CNOSSOS-EU para así obtener estimaciones más fiables de la exposición de la ciudadanía al ruido de los vehículos. Los resultados indicaron que el uso de superficies calibradas redujo los NPS en las zonas urbanas hasta en 3 dB(A), así como una disminución del 9 % en el porcentaje de personas muy molestas (HA), una disminución del 7 % en los casos de trastornos graves del sueño (HSD) y una disminución del 4 % en los casos atribuibles a cardiopatías isquémicas (IHD). Los beneficios también se estimaron en términos de reducción de los años de vida ajustados por discapacidad (AVAD) y su valoración monetaria. Se concluye que la personalización de las superficies en CNOSSOS-EU, mejora significativamente la precisión de los modelos acústicos, contribuyendo a una mejor planificación y evaluación de las estrategias de reducción del ruido de los vehículos en entornos urbanos.

Yeboah, F. L. (2021) desarrolló su tesis de Máster en Programación en Ciencias de la Información Geoespacial titulada: Mapeo de la contaminación acústica con SIG de código abierto, Universidad de Gävle, Suecia; con el objetivo de utilizar herramientas GIS de código abierto para predecir la contaminación acústica por tráfico vehicular utilizando la ciudad mediana Gävle como estudio de caso. Los indicadores de ruido medidos fueron el equivalente diurno ( $L_{day}$ ), vespertino ( $L_{evening}$ ), nocturno ( $L_{night}$ ) y el promedio diario equivalente ( $L_{den}$ ); los datos del tráfico, las fuentes de tráfico y los edificios se integraron en Quantum GIS (QGIS) utilizando el método de predicción CNOSSOS-EU empaquetado en el complemento OpeNoise para crear mapas de ruido de la ciudad con los cuales compararía los datos obtenidos en campo. Realizó el análisis de correlación y regresión realizado entre los valores observados y simulados, obteniendo un coeficiente de correlación de 0.69, lo que indica una fuerte asociación y relación lineal entre los niveles de ruido observados y predichos. Finalmente concluye que CNOSSOS-EU tiene un buen poder predictivo para el ruido por tráfico vehicular y recomienda que se realicen más estudios con este modelo.

Faulkner, J. y Murphy, E. (2022) llevaron a cabo el artículo de investigación titulado: Modelización del ruido del tráfico rodado y estimación de la exposición de la población mediante CNOSSOS-EU: Perspectiva desde Irlanda, con el objetivo de evaluar la aplicación del modelo de predicción de ruido del tráfico por carretera CNOSSOS-EU para Irlanda y así determinar su efecto sobre las estadísticas futuras de exposición de la población en relación con estimaciones anteriores. Para ello, se compararon los modelos CNOSSOS-EU y CRTN-TRL mediante un experimento de medición en carretera y un análisis de estimación de la exposición de la población. Los resultados del experimento de medición en carretera indicaron que el modelo CNOSSOS-EU logra predecir la situación real del ruido con mayor precisión que CRTN-TRL, sugiriendo que las estimaciones estadísticas de exposición de la población calculadas con el método CNOSSOS-EU pueden reflejar con mayor exactitud la situación real de exposición al ruido que las estimaciones anteriormente comunicadas. El estudio concluye que, cambiando la metodología de cálculo de CRTN-TRL a CNOSSOS-EU se puede esperar se altere notablemente las estadísticas de exposición de la población para las poblaciones expuestas al ruido del tráfico rodado  $> 55 \text{ dB(A)} L_{den}$  y  $> 50 \text{ dB(A)} L_{night}$  en relación con las estimaciones anteriores, lo cual cambiaría futuras rondas de elaboración de mapas estratégicos de ruido en el país; a su vez indica que puede ser necesaria una gama más amplia de estrategias de planificación de medidas contra el ruido para hacer frente a esta situación.

La Diputación Foral de Bizkaia (2023), en cumplimiento del Decreto 213/2012, de 16 de octubre, llevó a cabo la elaboración de mapas acústicos correspondientes a la red de carreteras provinciales bajo su jurisdicción, en particular en el tramo Trucíos-Turtzioz, como parte de sus funciones de gestión del ruido ambiental en las infraestructuras de transporte y las aglomeraciones supramunicipales. Este estudio cuantitativo y descriptivo utilizó el modelo CNOSSOS-EU para calcular los niveles de ruido originados por el tráfico rodado en las carreteras provinciales BI-2617 y BI-4618. Para ello, se desarrollaron diversas variables, como cartografía, ejes viarios, intensidad del tráfico, velocidades medias, características del firme, infraestructura acústica (pantallas, muros, túneles y viaductos), edificios y datos de población. Los resultados muestran la distribución de la población expuesta agrupada por intervalos de 5 dB(A) para los indicadores  $L_{día}$ ,  $L_{tarde}$  y  $L_{noche}$ . Se concluyó que el período nocturno es el que presenta una mayor exposición de la población, con 494 personas afectadas por niveles inferiores a 50 dB(A) y ninguna expuesta a niveles superiores a los objetivos de calidad acústica, con solo 0,01 km<sup>2</sup> por encima de estos umbrales.

González Lozano, R. y Rodríguez Hernández, S. V. (2023) realizaron un artículo de investigación titulado: Estimación del riesgo por contaminación sonora urbana mediante modelado geoespacial y evaluación espacial multicriterio en Santa Clara, Cuba; entre 2021 y 2022. El objetivo principal de la investigación fue modelar espacialmente el riesgo asociado a la contaminación acústica generada por el tráfico rodado dentro de la circunvalación de la ciudad, abordando el riesgo como una combinación del peligro del ruido y la distribución socioeconómica de la zona. El estudio adoptó un enfoque mixto con un alcance descriptivo y explicativo, integrando métodos cuantitativos y cualitativos para caracterizar los componentes del fenómeno basándose en un estudio de caso. Se examinó la aplicabilidad del modelo francés NMPB-Routes para estimar la emisión y propagación del ruido de los vehículos en contextos urbanos cubanos, interpretado mediante herramientas geoespaciales. Además, se efectuó un análisis de vulnerabilidad mediante una evaluación espacial multicriterio, que integró criterios sociales y económicos definidos por expertos. El estudio concluye que determinadas zonas urbanas están muy expuestas al riesgo acústico y propone una herramienta conceptual útil para la gestión del ruido ambiental en contextos similares.

### **2.1.2 Antecedentes Nacionales.**

Luna, V. N. (2022) desarrolló su tesis de grado titulada: Evaluación de la contaminación de ruidos y la influencia a la población del distrito de Huacho, con el objetivo de evaluar el nivel de contaminación acústica y su impacto en la población urbana del distrito. Para evaluar la percepción de la población, se realizaron encuestas a 192 personas que vivían cerca de cuatro intersecciones muy transitadas: Avenida Panamericana, Avenida 28 de Julio, Avenida Grau y Avenida San Martín, seleccionadas intencionadamente en función del tiempo que los residentes llevaban viviendo en sus hogares y su proximidad a los puntos de monitorización. Los resultados mostraron que el 61,8 % de los encuestados informó de trastornos del sueño relacionados con el ruido, el 69,7 % informó de que sufría estrés debido a la exposición continua y el 66,3 % informó de dificultades de comunicación. Se concluyó que ninguno de los puntos evaluados cumplía con los estándares de calidad ambiental (ECA) para el ruido, y que el 57,3 % de los participantes consideraba que el ruido ambiental tenía un impacto negativo en su bienestar, mientras que el resto atribuía su situación a otras causas.

Cahuana, J. M. y Mesías, T. (2022) desarrollaron su tesis de grado titulada: Modelamiento ambiental aplicando el software SoundPlan en la evaluación de la contaminación sonora del distrito de Chimbote, provincia del Santa, región Ancash, con el objetivo de determinar cómo

afecta el ruido del tráfico a la calidad de vida de los residentes a lo largo de la avenida Real, entre las calles Ayacucho y Ferrocarril. La metodología consistió en utilizar el software SoundPlan para modelar la propagación del ruido, comparando los resultados de 2014, 2015, 2016, 2018 y 2019; además se utilizó la interpolación Kriging ordinaria para construir los modelos predictivos. Los resultados se compararon con la normativa de ruido vigente (ECA para el ruido ambiental). Se observaron valores críticos de presión sonora, que alcanzaron los 86,5 dB(A) en 2014, los 87,5 dB(A) en 2015 y hasta los 88 dB(A) durante el día en 2018 y 2019. Se concluyó que el modelo acústico implementado con SoundPlan representaba eficazmente la contaminación acústica en el distrito de Chimbote y validaba su comportamiento durante los años analizados.

Coronel, A. I. (2022) desarrolló su tesis de grado titulada: Evaluación de puntos críticos de contaminación acústica utilizando el mapa de ruido ambiental en la zona comercial central de la ciudad de Juliaca, Puno. La investigación se centró en el desarrollo de un mapa de ruido ambiental utilizando el software ArcGIS, con el objetivo de identificar puntos críticos de contaminación acústica en la zona comercial de dicha ciudad. Como resultado, se detectaron 10 puntos que superaban los estándares de calidad ambiental (ECA) para zonas comerciales, 18 puntos con niveles cercanos a los 70 dB(A) y 5 puntos con valores significativamente más bajos. El estudio identificó el tráfico rodado como la principal fuente de ruido, con las motocicletas representando el 54 % del total de la contaminación acústica registrada.

Dávila, C. R. (2023) desarrolló su tesis de grado titulada: Modelo geoespacial del ruido ambiental en el casco urbano de la ciudad de Aucayacu, 2022, en Tingo María. El objetivo era identificar el modelo geoespacial más adecuado para representar la contaminación acústica en el área urbana de Aucayacu. Se midieron los NPS (dBA) en 12 puntos situados en intersecciones muy transitadas y se realizaron encuestas a 263 residentes para determinar su percepción sobre el ruido. Los resultados reflejaron que los estándares de calidad ambiental (ECA) son superados en las zonas residenciales. El 94 % de la población encuestada afirmó que el ruido afecta su salud, identificando al tráfico rodado como principal fuente de molestias. El autor concluye que, para alcanzar un nivel de precisión cercano al 99,7 % en la predicción del ruido, los modelos deben tener en cuenta variables como la densidad del tráfico, la velocidad, el tipo de vehículo, el estado de la red vial y las características en las fachadas de los edificios.

Ascanio, D. A. y Coronel, M. C. (2024) desarrollaron su tesis de grado titulada: Influencia del ruido vehicular en la calidad de vida de la zona comercial de la avenida Real en el distrito de Huancayo desde la calle Ayacucho hasta la calle Ferrocarril, 2023. La investigación tuvo como objetivo el determinar la relación entre el ruido del tráfico vial y la calidad de vida de los residentes en este distrito comercial; se realizaron encuestas a 100 personas (40 residentes y 60 trabajadores de la zona), cuyos resultados se compararon con mediciones de ruido tomadas en siete puntos estratégicos utilizando un sonómetro de clase I durante las horas pico diurnas y nocturnas. Entre los resultados más significativos, se informó que se alcanzaron NPS de hasta 74,78 dB(A) en la intersección de Jr. Puno y que el 90 % de los encuestados expresó una percepción muy insatisfactoria de su calidad de vida. Se concluyó que el flujo de tráfico influye de manera significativa en las diferentes dimensiones que componen el bienestar de la población.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Niveles de Ruido Vehicular.**

Para Yeboah (2021), la predicción de los niveles de ruido y su modelización es un proceso riguroso para caracterizar los niveles sonoros de diversas fuentes de ruido y su propagación, ello implica una descripción de la fuente y la recopilación de datos pertinentes junto con la descripción del entorno acústico, así como todos los elementos que intervienen entre la fuente y las regiones receptoras, lo cual se traduce en una gran cantidad de cálculos y numerosos supuestos para la descripción del ruido, la propagación y las regiones receptoras, representados en mapas de ruido. El objetivo fundamental de un modelo predictivo del ruido del tráfico rodado radica en proporcionar una herramienta analítica que permita anticipar los niveles de presión acústica que probablemente se generarán tanto en las nuevas infraestructuras viarias como en las carreteras existentes, contribuyendo así la planificación urbana y la aplicación de medidas de mitigación del ruido (Arana *et al.*, 2000, como se cita en Bastián, 2013).

Con lo mencionado anteriormente, surge la siguiente pregunta: ¿Qué es y para qué realizar un mapa de ruido? Para responder a esta interrogante, el Ministerio del Ambiente (MINAM, 01 de agosto de 2013) sostiene que un mapa de ruido representa cartográficamente los niveles de presión acústica registrados en una zona determinada durante un período establecido. Esta herramienta ayuda a identificar las principales fuentes de contaminación sonora y a estimar el número de personas expuestas a ella, proporcionando la base técnica para diseñar y aplicar

planes de acción contra el ruido (PAR) destinados a reducir el ruido ambiental y proteger la salud humana.

En Europa, el término alterno y más íntegro es Mapa Estratégico de Ruido (MER), y según la unidad de investigación conformada por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (MITECO y CEDEX, 2025), el objetivo de los MER es facilitar a las autoridades pertinentes en las naciones miembros de la Unión Europea a establecer prioridades territoriales para la reducción del ruido. Además, permiten cuantificar la población expuesta y comunicar al público los niveles de exposición, así como las medidas aplicadas para mitigarlos.

Como se desprende del Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido Ambiental, el MINAM (01 de agosto de 2013), los mapas de ruido pueden ser de dos tipos: generales o específicos sobre una o varias fuentes determinadas. Los primeros se denominan mapas urbanos o de aglomeración, mientras que los segundos se usan con frecuencia para representar el entorno de carreteras, ferrocarriles, aeropuertos, canteras, zonas recreativas, zonas de obra y zonas industriales; además, dicho protocolo contempla la necesidad de determinar como primer paso las características del mapa que se busca obtener para luego elegir cómo abordar su elaboración.

Y aunque estudios anteriores han indicado que el ruido producido por la actividad comercial en la ciudad representa un problema de salud pública para quienes viven cerca de las zonas comerciales (Murphy y Douglas, 2018), situación que se repite en otros análisis similares, la fuente de ruido más extendida y predominante en entornos urbanos proviene del tráfico vehicular (Ascanio y Coronel, 2024; Dávila, 2023; Luna, 2022).

Por consiguiente, la presente investigación y la modelización del ruido se centrarán en esta fuente específica en el casco urbano del distrito de Huacho, considerando su atenuación por obstáculos, edificaciones y demás variables en función de los usos del suelo, como son: uso comercial, residencial, especial, etc., tomando en cuenta la clasificación territorial existente; por ende, de ahora en adelante abarcaremos los distintos métodos que nos permitan elaborar un mapa de ruido vehicular con dichas características.

### ***Métodos de Modelamiento de Ruido Vehicular.***

Existe una gran variedad de métodos para realizar un modelado acústico del tráfico vehicular, que difieren en las ecuaciones utilizadas para el cálculo de los niveles de ruido, así

como en los distintos factores de corrección aplicados en función de la situación que se quiera modelizar. Por su parte, González-Lozano y Rodríguez Hernández (Revisión al estado del arte de la modelación geoespacial del ruido por tráfico de carreteras, 2022) analizaron un conjunto de 94 publicaciones catalogadas en bases de datos como Scopus y Google Scholar, abarcando el período comprendido entre los años 2005 y 2022; y de los cuales los trabajos más relevantes sobre modelización geoespacial del ruido del tráfico rodado encontrados en la revisión bibliográfica se encuentran resumidos en la Tabla 2.

Tabla 2

*Estudios relevantes sobre métodos empleados para modelamiento de ruido.*

Nº	Autor(es) y referencia	País	Año	Método y Clasificación
1	Asensio <i>et al.</i>	España	2021	Estimación de niveles acústicos de un solo vehículo mediante simulación espacial. (Método predictivo)
2	Iglesias <i>et al.</i>	España	2021	Modelación de ruido usando regresión lineal simple integrada en ArcGIS y análisis en SPSS. (Método predictivo)
3	Nourani, Gökçekus, y Umar	Irán	2020	Predicción 2D de ruido en ArcGIS basada en inteligencia artificial. (Método predictivo)
4	Lopez y Souza	Brasil	2020	Simulación de niveles sonoros en CadnaA utilizando los modelos CoRTN y NMPB-Routes. (Método predictivo)
5	Kavisha Kumar <i>et al.</i>	Países Bajos	2020	Uso de GeoMilieu para predicción acústica según el método CNOSSOS-EU. (Método predictivo)
6	Graziuso <i>et al.</i>	Italia	2020	Captura de ruido en campo mediante NoiseCapture y análisis posterior en ArcGIS. (Método basado en medición directa)
7	Ponze Cateriano y Sierra Sacasqui	Perú	2020	Representación 2D en ArcGIS a partir de mediciones acústicas reales. (Método basado en medición directa)
8	Rojas	Perú	2019	Modelación en QGIS basada en datos sonoros obtenidos en campo. (Método basado en medición directa)
9	Manojkumar, Basha, y Srimuruganandam	India	2019	Predicción de ruido usando modelo CoRTN en ArcGIS. (Método predictivo)
10	Mazarías	España	2019	Simulación sonora en Predictor7810 con el modelo francés XPS/NMPB. (Método predictivo)
11	Mamani <i>et al.</i>	Perú	2019	Construcción de mapas acústicos en ArcGIS con datos medidos en campo. (Método basado en medición directa)
12	Gutiérrez	Colombia	2019	Simulación 2D en SoundPLAN mediante el modelo alemán RLS-90. (Método predictivo)
13	Bocher <i>et al.</i>	Francia	2019	Representación en OrbisGIS usando el modelo francés NMPB-2008. (Método predictivo)
14	Berger y Bill	Alemania	2019	Visualización 3D de ruido usando CNOSSOS-EU con librerías MapBox. (Método predictivo)
15	Bello <i>et al.</i>	EE. UU	2019	Modelación 3D en tiempo real mediante el proyecto SONIC. (Método basado en medición directa)
16	Alva y Diaz	Perú	2019	Mapeo acústico 2D en ArcGIS con mediciones directas. (Método basado en medición directa)
17	Agudelo, Marín, y García	Colombia	2019	Simulación acústica en CadnaA usando NMPB-Routes 96. (Método predictivo)
18	Zambon <i>et al.</i>	Italia	2018	Representación en tiempo real con el sistema DINAMAP. (Método basado en medición directa)
19	Villena	Perú	2018	Creación de mapas acústicos en ArcGIS con datos de campo. (Método basado en medición directa)
20	González-Lozano y Betancourt	Cuba	2018	Uso de ArcGIS para modelar ruido con datos recogidos en sitio. (Método basado en medición directa)

21	Grubeša <i>et al.</i>	Croacia	2018	Modelado en plataforma web con datos de sensores móviles. (Método basado en medición directa)
22	Arcos	Ecuador	2018	Simulación acústica en MATLAB aplicando el modelo HARMONOISE. (Método predictivo)
23	Alías <i>et al.</i>	España	2018	Mapeo sonoro en tiempo real usando el proyecto DYNAMAP. (Método basado en medición directa)
24	Zhao <i>et al.</i>	China	2017	Representación 2D con CadnaA usando NMPB-Routes 96 e ISO 9613. (Método predictivo)
25	Zhao <i>et al.</i>	Singapur	2017	Modelado 3D en CadnaA con algoritmo angular y malla TIN para representar propagación. (Método predictivo)
26	Villegas, Orozco, y Jiménez	Colombia	2017	Predicción en SoundPLAN con modelo RLS-90 y datos colaborativos. (Método predictivo)
27	Tortosa <i>et al.</i>	Perú	2017	Comparación de modelado 2D en OpenNoise con visualización 3D en Predictor-LimA. (Método predictivo)
28	Ryua, Park, Chunc, y Chang	Corea del Sur	2017	Simulación en SoundPLAN considerando indicadores del entorno y el modelo RLS-90. (Método predictivo)
29	Oiamo, Davies, y Rinner	Canadá	2017	Simulación de ruido en SoundPLAN con modelo TNM e ISO 9613-2. (Método predictivo)
30	Kumar, Ledoux, Commandeur, y Stoter	Países Bajos	2017	Modelación 3D en GeoMilieu con el método RMW-2012. (Método predictivo)
31	Hipólito <i>et al.</i>	México	2017	Captura de datos colaborativos y modelación 2D con SVM y redes neuronales. (Método basado en medición directa)

*Nota.* Adaptado de “Revisión al estado del arte de la modelación geoespacial del ruido por tráfico de carreteras”, por Gonzales-Lozano y Rodríguez, 2022.

De la tabla, se analiza que los métodos de modelización del ruido geoespacial pueden clasificarse en dos grupos principales: métodos basados en mediciones directas y métodos derivados de modelos predictivos.

#### *Métodos de mediciones directas.*

Los enfoques metodológicos basados en mediciones sonométricas directas pueden dividirse en métodos en tiempo real y métodos con desfase temporal. El primer grupo incluye investigaciones que exploran el uso de redes de sensores acústicos inalámbricos (WASN), tecnologías que permiten el registro continuo de los niveles sonoros en entornos urbanos. Sin embargo, estos sistemas presentan ciertas limitaciones, como la gestión de eventos acústicos atípicos, la capacidad de cálculo de los sensores, los mecanismos de detección de fallos operativos y los efectos del envejecimiento del material, que pueden comprometer la fiabilidad de los datos adquiridos.

Por otra parte, los métodos de retardo, es decir, aquellos basados en mediciones previas al modelado, siguen siendo los más utilizados en los estudios tradicionales. Sin embargo, presentan importantes limitaciones, como desviaciones con respecto a las condiciones reales debido a la omisión de los fenómenos físicos inherentes a la propagación de las ondas sonoras. Sumado a ello, el MINAM (01 de agosto de 2013) advierte que estas técnicas pueden ser muy

costosas y llevar mucho tiempo para alcanzar niveles de precisión aceptables en los mapas acústicos generados.

Incluidos en uno u otro grupo, están aquellos métodos con carácter colaborativo y, en los que los datos se obtienen mediante aplicaciones móviles instaladas en dispositivos personales. A pesar de su creciente presencia en la literatura, esta estrategia presenta importantes limitaciones técnicas: los resultados pueden variar considerablemente en función del tipo de dispositivo móvil utilizado así como de la calidad del mismo, lo que da lugar a desviaciones considerables en los resultados. En este sentido, la modelización geoespacial del ruido basada en datos colaborativos se encuentra todavía en una fase incipiente, debido principalmente a su dependencia de la precisión y la estabilidad de las fuentes de datos.

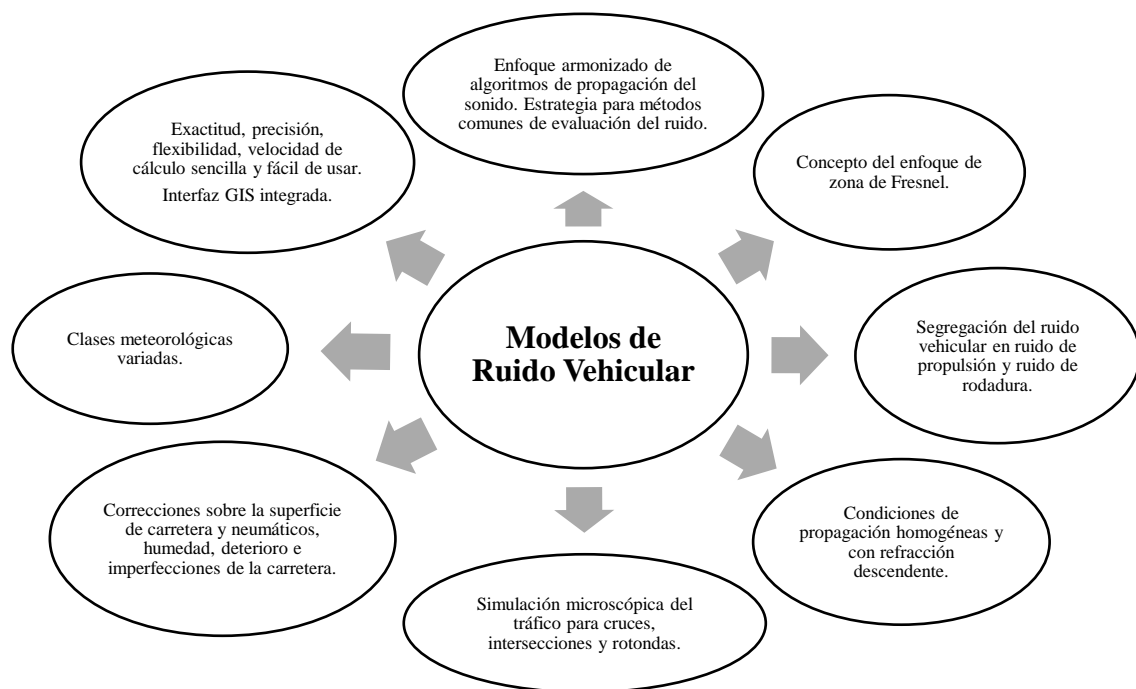
#### *Métodos de modelos predictivos.*

Los métodos de predicción aplicados a la modelización geoespacial del ruido están ampliamente documentados en la literatura internacional, ya que estos métodos se articulan en torno a la implementación conjunta de un modelo de emisión sonora, que describe el comportamiento acústico de las fuentes, y un modelo de propagación, que simula la dispersión del sonido en el entorno. Estos dos elementos actúan como motores de cálculo dentro de programas informáticos especializados en simulación acústica. La fiabilidad de sus resultados, junto con su capacidad para adaptarse a múltiples escenarios (reales o previstos), ha consolidado su uso como herramienta fiable, sin embargo, una de sus principales limitaciones es el acceso restringido a softwares comerciales especializados en mapeos acústicos, que suelen ser costosas y disponen de licencias cerradas.

Pacheco (2017), sostiene que el origen de los modelos predictivos responde a la necesidad de hacer frente a los crecientes impactos de la contaminación acústica, especialmente tras el aumento significativo del número de vehículos en las carreteras después de la Segunda Guerra Mundial y el creciente interés por resolver los problemas medioambientales con un enfoque global.

Probablemente, el primer modelo de ruido de tráfico vial fue el que se presentó en el Manual de Control de Ruido Acústico (Anon., 1952, como se cita en Steele, 2001, pág. 272), el cual se ofreció para velocidades de 35 a 45 mph y distancias mayores a 20 pies (6.10 mts). Posteriormente, se desarrollaron modelos con formulaciones empíricas de emisión de fuentes de ruido y su propagación, para luego basar su desarrollo en principios científicos que agregan métodos numéricos como consecuencia del aumento de las habilidades informáticas. Ante ello,

Garg y Maji (2014) realizaron una revisión crítica de los principales modelos de ruido del tráfico adoptados en los últimos años en los países desarrollados, los cuales son el FHWA de EE. UU., ASJ RTN 2008 de Japón, CoRTN del Reino Unido, RLS 90 de Alemania, Son Road de Suiza, Harmonoise de Europa, Nord 2000 de los países escandinavos, NMPB-Routes-2008 de Francia y el modelo más reciente de la Unión Europea, Método Común Europeo de Evaluación del Ruido Ambiental (CNOSSOS-EU); mostrando las principales características e implicaciones en base a los atributos técnicos, incluidos los algoritmos de modelado de fuentes y propagación del sonido, cuyos resultados se resumen en la *Figura 2*. Además de ello, se prevé que el cálculo de la incertidumbre pueda contribuir a aumentar la calidad y la fiabilidad de los niveles de emisión de las fuentes y de los mapas de ruido así generados, siendo así que en la *Figura 3* se asimilan todos los factores que afectan a la incertidumbre en la predicción del ruido del tráfico en un diagrama de análisis causa-efecto. En vista de que es difícil sopesar las ventajas y desventajas de cada enfoque, y más aún cuando todos estos modelos han sido validados en sus respectivos países, se concluye que una metodología armonizada con un enfoque sencillo y que consuma menos tiempo, junto con cálculos de incertidumbre, será más adecuada para los urbanistas y las autoridades urbanas para las predicciones del ruido del tráfico, los estudios de evaluación del impacto ambiental, la identificación de puntos críticos, la evaluación del porcentaje de molestias y la planificación de medidas de control.



*Figura 2.* Consideraciones para la modelización y predicción del ruido vehicular.

*Nota:* Adaptado de Garg y Maji (2014).

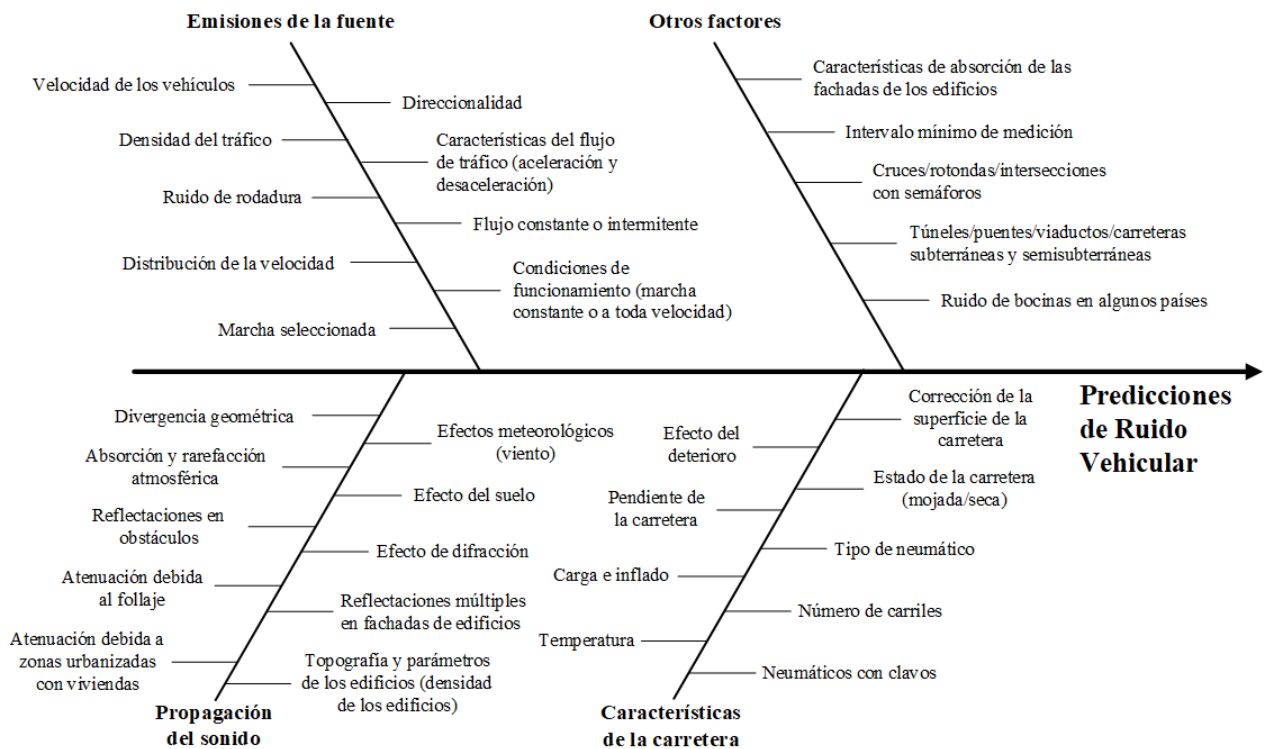


Figura 3. Factores que afectan a la incertidumbre en las predicciones del ruido vial.

Nota. Adaptado de Garg y Maji (2014).

De conformidad con el análisis bibliográfico de Gonzales-Lozano y Rodríguez (2022), en Perú existen pocos estudios de modelamiento de ruido basados en métodos predictivos; la mayoría están orientados a mediciones directas con desfase temporal de manera sistematizada en aras de cumplir con la normativa nacional en temas de ruido. Por el contrario, Europa es una de las regiones pioneras en la adopción de estrategias para mitigar y controlar la contaminación acústica (Aspuru & Segues, 2011). Siendo así que, desde junio de 2007, los Estados miembros de la Unión Europea (UE) se encuentran sujetos a una obligación legal, establecida en la Directiva 2002/49/CE sobre el ruido ambiental (END), que exige la elaboración y aplicación de mapas estratégicos de ruido (MER) para todas las infraestructuras viarias, ferroviarias y aeroportuarias, así como para las aglomeraciones, con un ciclo de revisión y actualización de cinco años (Kephelopoulou *et al.*, 2014).

Sin embargo, el uso de diferentes algoritmos de cálculo en los esquemas de proyección acústica implementados por cada país ha generado dificultades en la comparación y la estandarización de los resultados, por lo que surgió la necesidad de establecer una metodología común para evaluar la exposición al ruido ambiental en toda la UE (Garg & Maji, 2014). En respuesta a este problema, la Comisión Europea, en colaboración con los Estados miembros, ha desarrollado CNOSSOS-EU, un marco metodológico armonizado para evaluar el ruido

ambiental. El propósito de este marco metodológico es la normalización de los procedimientos de cálculo, lo que resulta en un incremento de la fiabilidad, la coherencia y la comparabilidad de los resultados de las evaluaciones del ruido.

Por lo sustentado, el método de predicción de ruido vehicular que se abordará en adelante en este trabajo de investigación será el modelo CNOSSOS-EU, que será adecuado para las condiciones vehiculares contextualizado en la ciudad de Huacho.

### ***Fundamentos Teóricos de la Propagación del Sonido.***

Desde una perspectiva física, no hay una distinción clara entre sonido y ruido. El sonido es una percepción sensorial auditiva del sujeto receptor y la forma compleja e irregular de los patrones de ondas de sonido se denomina ruido. El MINAM (2013) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2017) coinciden en que el ruido es un sonido indeseado, definido por su naturaleza estridente, desagradable o inesperada. Al tratarse de una clasificación subjetiva, resulta inviable definir el ruido. Sin embargo, bajo determinadas circunstancias, el sonido afecta negativamente a la salud a causa de la carga de energía acústica que contiene (Armijos, 2018).

#### *Naturaleza del Sonido.*

Murphy y King (2014; como se cita en Yeboah, 2021) describen más técnicamente el sonido como el resultado de variaciones de presión en un medio y percibido por el oído cuando las fluctuaciones cruzan los límites de presión atmosférica imperantes. Una onda sonora describe típicamente el movimiento de una sola molécula de aire (movimiento de vaivén) a través de la cual se propaga el sonido. Está caracterizada por su periodo y frecuencia, amplitud y longitud de onda. De las tres, la frecuencia y la amplitud son las más significativas en las mediciones de sonido. Normalmente, una molécula de aire está en equilibrio hasta que es desplazada a través de una serie de oscilaciones por un sonido que se propaga. El desplazamiento máximo de una molécula de aire desde su posición de equilibrio (estado inalterado) corresponda a la amplitud de onda, por lo que dicha amplitud representa el valor máximo de presión de una onda en dirección horizontal. El nivel de presión sonora (NPS) es una medida que cuantifica las vibraciones del aire involucradas en la generación de sonido. Se mide en una escala logarítmica en decibelios (dB) en lugar de pascales (Pa), comparando cada registro de nivel de presión con un nivel de referencia; siendo este nivel de 20  $\mu\text{Pa}$ , los cuales corresponden a 0 dB. El tiempo que tarda la molécula de aire en moverse de un lado a otro es el periodo de la onda, y la frecuencia está inversamente relacionada con el período. Es así

como, mientras que el periodo es el número de segundos por oscilación, la frecuencia es el número de oscilaciones que hace una onda sonora cada segundo y se expresa en hercios (Hz). La percepción de la frecuencia de un sonido se manifiesta como su tono; los sonidos de alta frecuencia, como los de una alarma de incendio, se perciben como un tono alto. A continuación, la *Tabla 3* muestra algunos valores de presión sonora de varias fuentes de ruido y la distancia a la cual se mide (Armijos, 2018).

Además, es importante mencionar que los niveles sonoros ambientales abarcan una amplia gama de frecuencias diferentes y la percepción humana difiere de una persona a otra. Para tener en cuenta estas variaciones en la percepción del oído humano, se aplica la ponderación A en los sonómetros permitiendo determinar la intensidad relativa de las frecuencias (Berglund et al., 1995; como se cita en Yeboah, 2021). En la modelización de la exposición al ruido, el contenido de frecuencia de las fuentes de ruido individuales suele tener más importancia que el nivel de ruido global. Por lo tanto, la gama de frecuencias de un sonido se agrupa en bandas de frecuencia más pequeñas y manejables, como son las de octava simple y de tercio de octava. Dichas bandas se caracterizan por sus frecuencias centrales y sus límites inferior y superior.

La fórmula para determinar el nivel de presión sonora continuo equivalente, también conocido como NPS promediada en el tiempo con ponderación A ( $L_{AeqT}$ ), se halla en la Norma Técnica Peruana ISO 1996-1 (Instituto Nacional de Calidad [INACAL], 2020), tal y como se ilustra en la ecuación 1.

$$L_{AeqT} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} \right]; (\text{dB}) \quad (1)$$

Donde  $p_A(t)$  es la presión sonora instantánea ponderada “A”, a lo largo de un tiempo variable  $t$ , y  $p_0$  es la presión sonora referencial con un valor de  $20 \mu Pa$ . El micro Pascal ( $\mu Pa$ ) es definido como la millonésima parte de un Pascal; es decir,  $\mu = 10^{-6}$ . Por otro lado, el Pascal se define como la cantidad de fuerza perpendicular aplicada a una superficie específica. El Pascal ( $Pa$ ) es equivalente a  $1 \text{ N/m}^2$ . (Centro Español de Metrología [CEM], 2020).

Tabla 3

*Variación de niveles de presión sonora por fuentes variadas.*

Fuente de sonido	Distancia	Presión del sonido (Pa)	NPS (dB)
Rifle 30-60 al disparar	A 1 m del tirador	7 265	171
Explosión de granada	Ambiente	1 600–8 000	158–172
Motor de jet	1 m	632	150
Grito humano	1 pulgada	110	135
Trompeta	0.5 m	63.2	130
Nivel de exposición con máximo riesgo de pérdida auditiva	Al oído	20	120
Motor de jet	100 m	6.32–200	110–140
Apisonadora	1 m	2	100
Tráfico en una vía congestionada	10 m	0.2–0.632	80–90
Nivel de exposición con riesgo a la audición (largo plazo)	Al oído	0.356	85
Vehículo con pasajeros	10 m	(2–20) x 10 <sup>-2</sup>	60–80
Nivel de exposición con riesgos a la salud (problemas de audición, efecto disruptivo del sueño o estado de concentración, etc.)	Ambiente	6.32 x 10 <sup>-2</sup>	70
Televisión encendida (en el hogar)	1 m	2 x 10 <sup>-2</sup>	60
Conversación normal	1 m	(2–20) x 10 <sup>-3</sup>	40–60
Habitación en silencio	Ambiente	(2–6.32) x 10 <sup>-4</sup>	20–30
Respiración calmada	Ambiente	6.32 x 10 <sup>-5</sup>	10
Límite de la audición	Al oído	2 x 10 <sup>-5</sup>	0
Cámara anaecóica	Ambiente	(1.9–6.8) x 10 <sup>-6</sup>	(- 9.4)–(- 20.36)

*Nota.* Obtenido de Armijos (2018).

Ahora bien, para efectuar la comparación de los niveles de ruido simulados con el modelo de predicción CNOSSOS-EU en esta investigación frente a las medidas directas de ruido acorde con el Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido Ambiental (MINAM, 2013) las muestras directas deberán utilizar la ponderación A con el objetivo de poder comparar los resultados con el ECA Ruido vigente.

#### *Propagación del Ruido en el Ambiente.*

Gerges y Arenas (2010) explican que, a medida que aumenta la distancia entre la fuente de ruido y el receptor, disminuye proporcionalmente la intensidad del sonido propagado en el aire libre. Este fenómeno de atenuación tiene como causante principal a la divergencia geométrica, entendida como la pérdida de energía a lo largo de la trayectoria de propagación. Otros factores también son relevantes en la propagación del sonido, como la absorción del aire, la presencia de vegetación, las características topográficas del terreno, la existencia de barreras

físicas y los fenómenos de reflexión y difracción en las propias fuentes de sonido. En cuanto a las condiciones atmosféricas, variables como el viento, la temperatura del aire y la humedad relativa tienen un impacto significativo en la propagación acústica a distancias superiores a 100 metros (Harris, 1995). Estos factores alteran la dirección de la onda sonora, generan turbulencias y modifican la viscosidad del medio. La viscosidad del aire, en particular, tiene un mayor impacto en las frecuencias altas, como explica Falch (1997; como se cita en Armijos, 2018); actuando la atmósfera como un filtro natural. Por último, dado que la mayoría de tomas de datos se realizan a una altura aproximada de 1,5 metros sobre el suelo, la reflexión y la absorción del suelo se convierten en factores importantes a la hora de estudiar la transmisión del sonido en espacios exteriores (Stevens, 2008). Todos estos efectos se corrigen mediante factores aditivos que permiten estimar la atenuación total del sonido.

- **Divergencia geométrica.** Este fenómeno se manifiesta en la propagación esférica del sonido en el área libre desde una fuente puntual. Este fenómeno está relacionado con la distribución de la energía acústica sobre superficies esféricas que se expanden a medida que avanza el frente de onda, provocando una disminución de la intensidad con la distancia (Organización Internacional para la Normalización, 2024). Acorde a lo anterior expuesto, tenemos que:

$$A_{div} = 20 \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + 11 \quad (2)$$

Donde:  $d$  es la distancia en metros entre la fuente y el receptor y  $d_0$  la distancia de referencia usualmente igual a 1 metro. Además, Harris (1995) propone una forma alternativa de esta expresión que incluye una corrección ( $C$ ) relacionada con las condiciones atmosféricas, en particular la temperatura y la presión. Este valor de corrección se considera cero cuando la temperatura es de 20 °C y la presión es de 1 atmósfera, pero puede tomar otros valores en condiciones diferentes. La distancia  $r$ , en este contexto, se interpreta como el radio de una esfera donde su centro es la fuente de sonido. Por tanto, la ecuación es:

$$A_{div} = 20 \log(r) + 10.9 - C \quad (3)$$

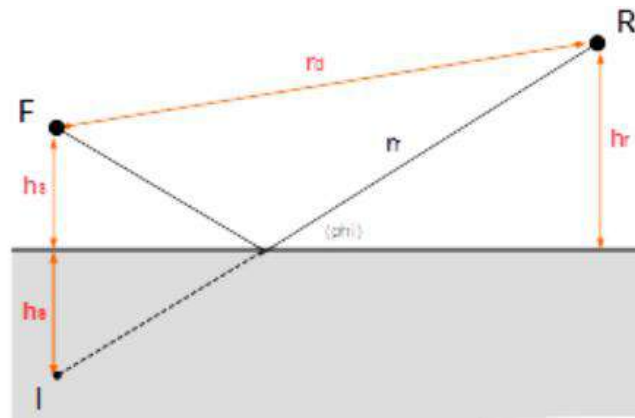
- **Absorción del aire.** Cuando el sonido se transmite a través de la atmósfera, parte de la energía se disipa en forma de calor debido a la naturaleza no perfectamente elástica del aire. Este proceso se produce como resultado de sucesivas compresiones y

rarefacciones, que originan transformaciones termodinámicas complejas e irreversibles. La atenuación resultante está fuertemente influenciada por la frecuencia del sonido ( $f$ , en Hz). Esta finalmente está dada por la siguiente ecuación:

$$A_{atm} = \frac{\alpha \cdot d}{1000} \quad (4)$$

Los valores del coeficiente  $\alpha$  deben ser obtenidos acorde a la norma ISO 9613-2:2024 y varían en función de la frecuencia central de cada banda de octava.

- **Efecto del suelo.** Cuando una onda sonora incide sobre una superficie, su energía se divide en tres partes: una fracción se refleja, otra atraviesa el material y otra se absorbe. En superficies planas y rígidas, como el suelo o el hormigón, predomina el reflejo, que se comporta de forma similar a como un espejo refleja la luz. Este fenómeno puede visualizarse en la *Figura 4* que muestra como las ondas sonoras van de una fuente  $F$  al receptor  $R$  en una doble vía de propagación, la primera directa ( $rd$ ) y la segunda mediante reflexión del suelo ( $rr$ ). El cruce entre estas dos trayectorias depende principalmente de las propiedades del suelo, el ángulo de incidencia, la diferencia de distancia entre las trayectorias y la frecuencia de la onda sonora.



*Figura 4.* Trayectorias de propagación sonora entre una fuente (F) y un receptor (R)

*Nota.* Obtenido de Guía Técnica para aplicación de CNOSSOS-EU (MITECO y CEDEX (2025)).

- **Barreras/apantallamiento.** Las barreras son estructuras empleadas para reducir la transmisión del ruido en diversas situaciones, como carreteras, obras de construcción o zonas industriales. Estas estructuras crean un efecto de blindaje al interrumpir la línea de visión entre fuente y receptor, provocando una atenuación por difracción en los bordes. Para MITECO y CEDEX (2025), cuando el sonido incide en una barrera, parte de la energía sonora se refleja, otra parte se absorbe internamente y se transforma en

vibraciones mecánicas, mientras que el resto rodea el obstáculo, tanto por el borde superior como por los laterales, alterando el campo acústico debido al efecto de difracción. Además, sostiene que la presencia de pantallas acústicas altera la propagación e intensidad del sonido mediante cuatro mecanismos principales:

- **Transmisión** (parte de la onda atraviesa la barrera, dependiente de las propiedades del material, frecuencia e incidencia)
- **Difracción** (el sonido se curva sobre los bordes, penetrando la zona de sombra, y su reducción depende de la diferencia en la trayectoria con y sin obstáculo, y de la frecuencia)
- **Reflexión** (parte de la onda rebota en la pantalla y no alcanza al receptor al otro lado)
- **Absorción** (parte de la energía sonora es absorbida por el material de la barrera, siendo mayor en pantallas absorbentes utilizadas para mitigar reflexiones hacia otros receptores).

Para que un objeto se considere una barrera eficaz, debe tener una densidad superficial mínima de  $10 \text{ kg/m}^2$ , no presentar aberturas o huecos significativos y tener una dimensión horizontal superior a la longitud de onda del sonido en la frecuencia en cuestión.

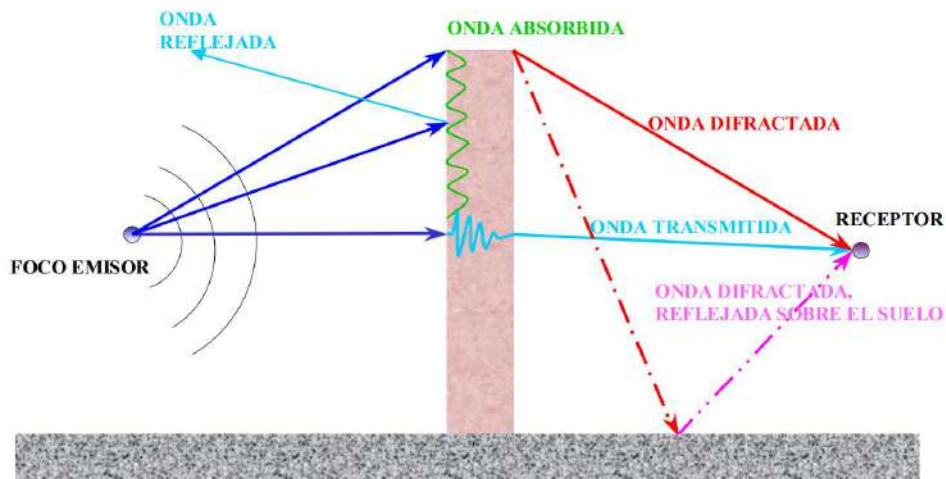


Figura 5. Efecto de los obstáculos en la propagación sonora.

Nota. Obtenido de Insonorización de una prensa mecánica (Losaro, 2015).

- **Otros tipos de atenuaciones.** Entre los efectos misceláneos ( $A_{\text{misc}}$ ) se incluyen la reflexión en las fachadas de las edificaciones o en estructuras verticales cercanas, la atenuación debida a la vegetación y la reducción del sonido a medida que se propaga

en entornos urbanos densamente contruidos. Contrariamente a la creencia popular, los árboles y arbustos no son barreras acústicas eficaces. Aunque su capacidad para bloquear directamente el sonido es limitada, su presencia mejora la atenuación del suelo al mantener la porosidad de este a través de sus raíces (Harris, 1995). No obstante, si la vegetación es lo suficientemente profusa como para bloquear completamente la visibilidad, sin presentar espacios intersticiales entre las ramas o troncos, puede producirse una atenuación adicional. La Tabla 4 muestra los coeficientes de atenuación por metro de vegetación densa para diferentes bandas de octava.

Tabla 4

*Atenuación producida por la vegetación*

	Frecuencia (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$A_{veget}$ dB/m	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08

*Nota.* Obtenido de Harris (1995).

En las zonas urbanizadas, el efecto depende de la densidad y la morfología del entorno construido. La presencia de múltiples estructuras puede modificar la atenuación producida tanto por el suelo como por los reflejos, generando desviaciones acústicas que, en algunos casos, alcanzan los 10 dB. Este tipo de situación requiere un análisis caso por caso. La Tabla 5 detalla los valores de atenuación en zonas industriales densamente urbanizadas.

Tabla 5

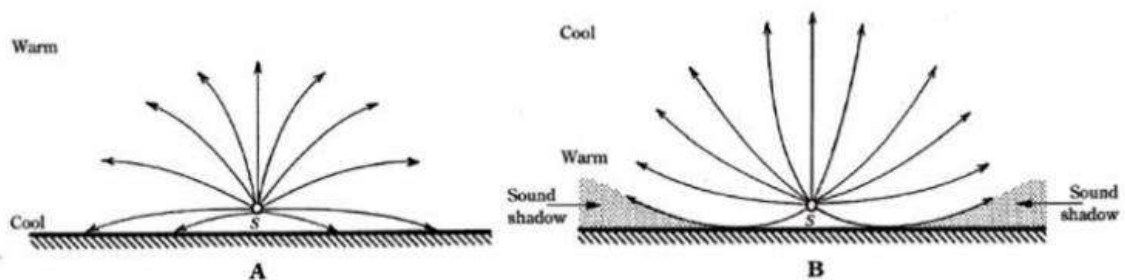
*Valores de atenuación generada por edificaciones.*

	Frecuencia (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$A_{site}$ dB/m	0.015	0.025	0.025	0.02	0.02	0.015

*Nota.* Obtenido de Harris (1995).

En contextos en los que la fuente de ruido es móvil, como en el caso del tráfico rodado, la atenuación también se produce en asociación con el movimiento de la fuente. Este fenómeno, conocido como divergencia dinámica, se produce cuando la fuente puntual se mueve a una velocidad  $v$ , cambiando el  $L_{AeqT}$ . Teniendo en cuenta una ponderación  $A$ , el nivel  $L(A)$  puede fluctuar con variaciones de hasta 6 dB cuando pasa un vehículo (MITECO y CEDEX, 2025).

- **Efectos del viento y la temperatura.** Cuando el sonido se propaga cerca del suelo y a distancias relativamente cortas (menos de 100 metros), las condiciones atmosféricas no tienen un efecto significativo. Dentro de este rango, se supone que la atmósfera es homogénea y que la propagación de las ondas es lineal. Sin embargo, a distancias mayores, esta suposición deja de ser válida y, además de la atenuación generada por la absorción atmosférica, deben tenerse en cuenta los efectos de la refracción acústica. Estos efectos son el resultado de los gradientes verticales de temperatura y velocidad del viento, que desvían la trayectoria de las ondas sonoras (Harris, 1995). En condiciones atmosféricas normales, la temperatura disminuye en relación a la altitud, lo que provoca que las ondas se desvíen hacia arriba y se generen zonas de sombra acústica cerca del suelo. Sin embargo, Hancock *et al.* (2023) señalan que, en algunos casos, se produce una inversión térmica, es decir, un aumento de la temperatura con la altitud. Esta inversión cambia radicalmente la dirección de la propagación del sonido, haciendo que las ondas se desvíen hacia abajo e intensificando los niveles de sonido en zonas que, de otro modo, se atenuarían (*Figura 6*).



*Figura 6.* Refracción sonora causada por la temperatura.

Nota. Obtenido de Stevens (2008).

La velocidad del viento es otro factor relevante en la dispersión del sonido, tanto en distancias cortas como largas. Debido a la viscosidad del aire, su valor es prácticamente nulo a nivel del suelo, y va aumentando gradualmente con la altitud hasta estabilizarse. Esta zona de transición puede extenderse a lo largo de varios cientos de metros y puede influir significativamente en la propagación del sonido, especialmente en entornos abiertos. Por este motivo, las normativas nacionales estipulan que las mediciones deben realizarse con el viento a favor para garantizar la coherencia de los datos (MINAM, 01 de agosto de 2013). La *Figura 7* muestra que cuando el sonido se propaga en la misma dirección que el viento, la refracción curva las ondas hacia el suelo, lo que aumenta los NPS percibidos. Por el contrario, si el viento sopla en dirección opuesta a la dispersión,

las ondas tienden a elevarse, creando una zona de sombra acústica donde el nivel de sonido es significativamente menor (Stevens, 2008).

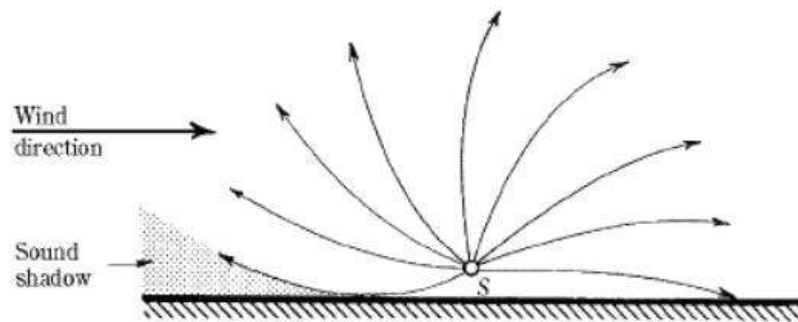


Figura 7. Refracción sonora generado por el viento

Nota. Obtenido de Stevens (2008).

### ***El Modelo CNOSSOS-EU.***

#### *Desarrollo del Modelo CNOSSOS-EU.*

En 2002, la Directiva 2002/49/CE de la Comisión Europea (CE, 21 de diciembre de 2020), conocida como Directiva sobre evaluación y gestión del ruido ambiental (END), se convirtió en legislación de la Unión Europea (UE), la cual se formuló en última instancia para proteger a la población europea de la afectación a la salud por el ruido ambiental, impulsada por un creciente número de investigaciones que señalan al ruido ambiental como fuente de diversas consecuencias negativas para la salud, tal como sostienen Faulkner y Murphy (2022). En virtud de esta legislación, desde 2007 los estados miembros de la UE están legalmente obligados a elaborar Mapas Estratégicos de Ruido (MER) cada 5 años para el tráfico rodado, ferroviario, aéreo e industrial dentro de cada aglomeración de más de 250.000 habitantes, y desde 2012 para las aglomeraciones de más de 100.000 habitantes. Fuera de las aglomeraciones, también deben cartografiarse las carreteras que tengan más de 3 millones pasos de vehículos al año y los ferrocarriles con más de 30.000 pasos al año, así como los aeropuertos que presenten más de 50.000 movimientos al año. En 2009, conforme al artículo 6.2 de la Directiva 2002/49/CE, la Comisión Europea aprobó el desarrollo del método de cálculo CNOSSOS-UE bajo el objetivo de desarrollar un marco metodológico armonizado para la evaluación del ruido que considera la atenuación debida a la propagación y términos para la evaluación de la afectación poblacional (Kephalopoulos et al., 2012, como se cita en Garg y Maji, 2014). En 2015, se publicó la Directiva (UE) 2015/996 de la Comisión Europea (2015), por la que se establece el método común de evaluación del ruido ambiental, el cual representa el marco jurídico para la aplicación de las rondas posteriores de elaboración de Mapas

Estratégicos de Ruido (MER), con todos los Estados miembros de la UE obligados a transferir de las metodologías preexistentes basadas en el ámbito nacional (conocidos como métodos interinos) al enfoque normalizado la nueva metodología estándar para la próxima ronda de elaboración de mapas estratégicos de ruido en 2022 (MITECO y CEDEX, 2025). Además, CNOSSOS es obligatorio, no solo para la elaboración de los MER, sino que también debe utilizarse en todos los estudios acústicos derivados de las obligaciones legales, como, los incluidos en procedimientos de Evaluación Ambiental o atención de denuncias ambientales vinculadas al ruido.

Cabe señalar que la modificación más actual de dicha directiva es suscitada por la Directiva Delegada (UE) 2021/1226 de la Comisión Europea (21 de diciembre de 2020), luego de una revisión por la CE se introdujo cambios sustanciales en diversos aspectos técnicos del marco metodológico, como los cálculos relacionados con los fenómenos de difracción durante la propagación del sonido, así como los criterios para estimar la impacto acústico de la población en las fachadas de los edificios. Estos cambios se han incorporado oficialmente al Anexo II de la Directiva 2002/49/CE, con el fin de adaptar el método común dictado al progreso científico y tecnológico (MITECO y CEDEX, 2025).

En general, el modelo CNOSSOS-UE funciona dividiendo las fuentes físicas de ruido en las correspondientes fuentes puntuales, determinando la trayectoria de propagación aplicable entre la fuente puntual y el receptor, y generando estimaciones punto a punto para las respectivas trayectorias de propagación (Faulkner & Murphy, 2022). El modelo de fuente vial de CNOSSOS-EU se deriva del proyecto Harmonoise/IMAGINE (Peeters *et al.*, 2007), mientras que el modelo de propagación, aplicable a fuentes viales, ferroviarias e industriales, se derivó de NMPB-Routes-2008 (Dutilleux *et al.*, 2008).

Para concluir, de entre la variedad de métodos de predicción, el más reciente método común refleja con mayor exactitud el escenario real del ruido por tráfico rodado, siendo la media de las diferencias entre los niveles de ruido previstos y observados de  $\pm 1$  dB tanto para las áreas residenciales como para las de uso de suelo mixto, respectivamente, lo cual se traduce en un alto poder predictivo. Este argumento se fundamenta en las investigaciones realizadas por Faulkner y Murphy (2022) y Yeboah (2021).

#### 2.2.1.1.1 CNOSSOS-EU y Fuentes de Tráfico Rodado.

Tal como describe la Guía Técnica para la aplicación del método CNOSSOS (MITECO y CEDEX, 2025), para la caracterización del ruido del tráfico viario, la metodología se

fundamenta en una secuencia de procedimientos pensados para modelar con la mayor precisión las emisiones sonoras vehiculares bajo diversas condiciones operativas, los cuales se resumen en la Tabla 6.

Tabla 6

*Resumen de la aplicación del método CNOSSOS-EU.*

Proceso	Descripción
1. Clasificación de vehículos	Los vehículos se agrupan en cinco categorías distintas según sus características de emisión de ruido, definidas más adelante.
2. Representación de fuentes sonoras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuente lineal: El flujo de tráfico se modela inicialmente como una fuente lineal continua, sumando las emisiones vehiculares por categoría y velocidad.</li> <li>• Fuente puntual (interna): El software subdivide internamente la fuente lineal en fuentes puntuales a 0.05 metros sobre el pavimento.</li> <li>• Ubicación en vías multicarril: Idealmente, cada carril se representa con una fuente lineal centrada.</li> </ul>
3. Cálculo de la emisión sonora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruido de rodadura: Generado por la interacción neumático-pavimento.</li> <li>• Ruido de propulsión: Producido por el motor, sistema de escape, etc.</li> <li>• Combinación: Suma energética (Cat. 1-3: Rodadura + Propulsión; Cat. 4: Propulsión).</li> </ul>
4. Condiciones de referencia	<p>Se establecen estándares base para el cálculo, como: velocidad constante, ausencia de pendiente, temperatura del aire: 20 °C, pavimento de referencia (A.A.D./SMA 0/11), seco y acústicamente neutro para la emisión base, y neumáticos sin clavos, los cuales son representativos del estado medio de mantenimiento y no tienen efecto al calcular la emisión, sino que sirven de referencia para determinar variaciones.</p> <p>Se aplican ajustes para reflejar condiciones reales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de pavimento: Según absorción y rugosidad respecto al pavimento de referencia.</li> </ul>
5. Aplicación de correcciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neumáticos con clavos: Incremento para vehículos ligeros; sin embargo, es poco común aplicarlo.</li> <li>• Temperatura del aire: Corrección del ruido de rodadura.</li> <li>• Pendiente de la carretera: Ajuste del ruido de propulsión.</li> <li>• Aceleración/desaceleración: Correcciones en zonas de cambio de velocidad.</li> </ul>

*Nota.* Adaptado de MITECO y CEDEX (2025).

De la tabla anterior se desprende que el precitado marco metodológico fue desarrollado sobre la base de condiciones de referencia estándar, tanto en lo que respecta a parámetros meteorológicos como a características del tráfico. Las fórmulas y coeficientes incluidos en este sistema han sido definidos para ser válidos bajo dichos escenarios de referencia. No obstante, esto no implica que el modelo sea inaplicable en contextos que no coincidan exactamente con esas condiciones, al contrario, contempla la introducción de correcciones específicas que permiten adaptar sus estimaciones a las particularidades de cada zona de estudio, garantizando así su versatilidad y aplicabilidad en diferentes realidades territoriales y climáticas (Pacheco, 2017).

Tomando en cuenta cada uno de estos procesos, será posible la modelización precisa y detallada del ruido producido por el tráfico vehicular. En adelante, abordaremos las directrices, recomendaciones y recursos pertinentes para la caracterización detallada de cada parámetro previamente descrito, facilitando así su aplicación práctica en el contexto específico de la presente investigación.

#### 2.2.1.1.2 *Buenas Prácticas para la Gestión de Gatos de Entrada.*

- **Intensidad del tráfico.** La intensidad media de tráfico anual es uno de los factores cruciales para determinar adecuadamente el ruido generado por los vehículos que circulan por una vía específica. Por lo tanto, para simular los niveles de ruido mediante el método CNOSSOS-EU, será esencial establecer adecuadamente este flujo para los distintos periodos de evaluación (diurno, vespertino y nocturno).

MITECO y CEDEX (2025) ofrecen recomendaciones para la obtención de los datos de tráfico de los distintos ejes viarios, indicando que existen diversas fuentes, dependiendo de la titularidad del eje viario a trabajar. En vista de que esta investigación se realiza en el casco urbano de la ciudad de Huacho, la titularidad es de carácter municipal, donde normalmente hay menos información pública disponible. En España, la representación del tráfico vehicular está sistematizada mediante el Plan Anual de Aforos, que consiste en estaciones de aforo encargadas de recoger datos de Intensidad Media Diaria (IMD), los valores porcentuales de vehículos por categoría, la tipología de carretera y la velocidad de las vías; además, dichos datos son observables en un visor web administrado por el Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible. Por otro lado, en Perú no existe un plan vigente como tal. No obstante, en ocasiones, en los Planes de Movilidad Urbana (PMU) de las municipalidades que los han aprobado, se suelen incluir estudios del tráfico local

Cabe señalar que los datos que hay que introducir en el modelo no corresponden al tráfico diario medio (IMD), sino al tráfico medio por hora (IMH), que varía de acuerdo con la hora del día considerada (día, tarde y noche). Los datos pertenecientes al IMH pueden obtenerse de varias maneras, las cuales se describen en la Tabla 7.

Tabla 7

*Sugerencias para la obtención del IMH.*

Situación	Descripción
1. Datos horarios obtenidos de aforadores.	En caso de que se disponga de datos de recuento diferenciados por horas, estos datos se utilizarán como base para calcular una IMH media para cada periodo de evaluación (día, tarde y noche).
2. Datos horarios extrapolados a partir de conteos manuales.	A falta de datos diferenciados por horas, se pueden realizar recuentos de tráfico en los distintos periodos de tiempo, de forma que se pueda extrapolar una IMH media para cada periodo de evaluación (día, tarde y noche) a partir de estos recuentos manuales realizados en un momento representativo de cada periodo de evaluación.  Si ninguna de las dos opciones anteriores es posible, puede asumirse un IMH medio para cada periodo de evaluación basado en los criterios establecidos en la Guía de buenas prácticas para la elaboración de mapas estratégicos de ruido y la producción de datos asociados sobre exposición al ruido (European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise [WG-AEN], 2006).
3. Sin datos	

*Nota.* Adaptado de MITECO y CEDEX (2025).

Para finalizar, resulta imprescindible la caracterización, simulación y representación de todos los ejes viarios por los que transitan vehículos, con el fin de evaluar de forma precisa la exposición de la población al ruido. En aquellos ejes viales donde no se disponga de datos de aforo vehicular por parte de las autoridades competentes o mediante conteos manuales directos, MITECO y CEDEX (2025) proponen una metodología basada en la categorización viaria integral del municipio que se fundamenta en la clasificación de los ejes viales en función de su entidad y tipología (grandes avenidas, calles principales, vías de servicio, etc.). De esta manera, a los ejes viales sin información de Intensidad Media Diaria (IMD) específica, se les podrá asignar un valor de IMD extrapolado de ejes viales de categoría similar, permitiendo así cubrir la totalidad de la red vial en el modelado acústico sin incurrir en errores significativos en el cartografiado del ruido.

- **Clasificación de vehículos.** Para la identificación de las fuentes de ruido del tráfico rodado, la metodología aplicada establece la combinación de las emisiones sonoras de los varios tipos de vehículos que circulan por un eje viario, agrupándolos en cinco grandes categorías en función de sus características de emisión: vehículos ligeros (Categoría 1), vehículos semipesados (Categoría 2), vehículos pesados (Categoría 3), vehículos de dos ruedas (Categoría 4) y una categoría abierta para futuros vehículos (Categoría 5), como se menciona en MITECO y CEDEX (2025). En el caso concreto de los vehículos de dos ruedas, se distinguen dos subclases: ciclomotores y

motocicletas, debido a sus diferentes modos de conducción y variabilidad numérica. Mientras que las cuatro primeras categorías se aplican habitualmente, la quinta está reservada a futuros vehículos con características de emisión sonora significativamente diferentes, como los vehículos eléctricos. A continuación, se presentan las principales características de las distintas categorías de vehículos antes mencionadas de manera resumida en la Tabla 8, comparándola con la clasificación establecida en el Reglamento Nacional de Vehículos aprobado por Decreto Supremo N° 058-2003-MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 07 de octubre de 2003).

Tabla 8

*Clasificación de vehículos conforme al modelo CNOSSOS-EU.*

Categoría	Nombre	Descripción	Homologación con RNV
1	Vehículos ligeros	Turismos, camionetas $\leq$ 3.5 toneladas, todoterrenos, vehículos polivalentes, incluidos remolques y caravanas	M1 y N1
2	Vehículos pesados medianos	Vehículos medianos, camionetas > 3.5 toneladas, autobuses, autocaravanas, entre otros, con dos ejes y dos neumáticos en el eje trasero	N2, M3 y N2, N3
3	Vehículos pesados	Vehículos pesados, turismos, autobuses, con tres o más ejes	M2 y N2 con remolque M3 y N3
4	Vehículos de dos ruedas	4a Ciclomotores de dos, tres y cuatro ruedas	L1, L2, L6
		4b Motocicletas con y sin sidecar, triciclos y cuatriciclos	L3, L4, L5, L7
5	Categoría abierta	Su definición se atenderá a las futuras necesidades	N/A

*Fuente:* Adaptado de Orden PCI 139/280 y comparado con las categorías de vehículos comprendidas en la clasificación vehicular establecida en el Reglamento Nacional de Vehículos aprobado por Decreto Supremo N° 058-2003-MTC (MTC, 07 de octubre de 2003).

Cabe señalar que, debido a lo complicado que resulta registrar grandes cantidades de datos de tráfico con el suficiente detalle como para diferenciar cada categoría, MITECO y CEDEX (2025) brindan algunas indicaciones para solventar dicho inconveniente en cuanto a la distribución de las categorías vehiculares. De ellas, solo se mencionan las que mejor se adecuan al contexto de la presente investigación.

En cuanto a los vehículos pesados (categorías 2 y 3), se recomienda una distribución por defecto del 50%-50% para cada categoría, un supuesto que estudios como el Noise Adapt Project de Dublín, presentado por Murphy *et al.* (2021), han demostrado que tiene una baja sensibilidad en los niveles de ruido resultantes, con diferencias de sólo

$\pm 0,3$  dB(A) en los escenarios simulados. En cuanto a los vehículos de dos ruedas (categoría 4), para los ejes viarios municipales se sugiere utilizar los datos oficiales de la autoridad nacional, regional o local competente sobre la composición del parque automotor en función del tamaño de la población de la localidad. Por último, a la hora de determinar los porcentajes de vehículos pesados y de dos ruedas, deben tenerse en cuenta las prohibiciones de circulación existentes para determinados tipos de vehículos en determinadas vías, como la restricción de ciclomotores en autovías, vías alrededor de Plazas de Armas o la prohibición de vehículos pesados en cascos urbanos, la cual, según el art. 42 del Reglamento Nacional de Vehículos (MTC, 07 de octubre de 2003), dichos vehículos requieren de autorización otorgada por la Municipalidad Provincial para la circulación por la red vial local; Por esa razón, el tránsito de camiones de más de 3,5 toneladas está prohibido en muchas calles de las zonas urbanas. Estas consideraciones permiten afinar la modelización del ruido del tráfico en ausencia de datos específicos y reflejar las particularidades normativas y de tráfico de la zona de estudio.

- **Velocidad.** La velocidad media de circulación de distintos vehículos en una misma vía es una variable crucial para la correcta interpretación de la emisión de ruido de un eje vial utilizando CNOSSOS-EU. Para ello, MITECO y CEDEX (2025) nos muestran las recomendaciones a aplicar en ausencia de redes fijas de aforo, la cual es la situación del contexto donde se ejecuta esta investigación. Se recomienda, en primer lugar, analizar los límites de velocidad en zonas establecidas por el municipio. En segundo lugar, se tendrán en cuenta los límites de velocidad genéricos establecidos por la autoridad nacional competente para las vías urbanas según su tipología, siendo en este caso la dictaminada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (17 de julio de 2021) mediante el Decreto Supremo 025-2021-MTC que modifica el Reglamento de Tránsito Vehicular y establece nuevos límites de velocidad en las áreas urbanas de todo el país. En él se advierte que el límite de velocidad no debe superar los 30 km/h (antes 40 km/h) en calles y jirones. Lo mismo se aplica a las avenidas, donde el límite de velocidad no debe superar los 50 km/h (antes 60 km/h). Del mismo modo, se modificaron los límites de velocidad en las vías que atraviesan viviendas situadas de manera continua o parcialmente dispersa, considerando el uso de suelo. En zonas comerciales, 30 km/h; en zonas residenciales, 50 km/h; y en zonas escolares/hospitalarias, 30 km/h.

Para las vías situadas fuera de la aglomeración de Huacho, y en ausencia de datos de velocidad, se considerarán las limitaciones genéricas en carretera, establecidas por el MTC mediante el Reglamento Nacional de Tránsito, estipulado en el Decreto Supremo N° 016-2009-MTC (21 de abril de 2009), el cual enuncia que la velocidad permitida en los tramos donde no haya señal reguladora visible, los límites máximos de velocidad para automóviles, camionetas y motocicletas son de 100 km/h; para vehículos que den servicio de transporte de pasajeros, 90 km/h; para vehículos de carga, 80 km/h; y para vehículos que transporten mercancías peligrosas, 70 km/h. Adicionalmente, MITECO y CEDEX (2025) recomiendan realizar un análisis específico de los tramos con condiciones específicas como curvas cerradas o travesías, ajustando la velocidad máxima permitida en dichas situaciones. Además, de implementar protocolos de aceleración y deceleración gradual en las entradas y salidas de las glorietas y en los cruces/salidas de las carreteras, con incrementos o disminuciones de velocidad no mayores a 20 km/h entre tramos seguidos, evitando cambios bruscos en la velocidad de circulación.

- **Pavimento.** Para la caracterización precisa de un eje viario y su influencia en la potencia acústica, el tipo y el estado del pavimento son factores determinantes según el método CNOSSOS-UE (MITECO y CEDEX, 2025). La guía técnica proporciona una clasificación de los principales firmes de carretera considerados por el modelo (Tabla 9), junto con un análisis comparativo de la variación de la potencia acústica. Este análisis, presentado para una carretera sin pendiente, con una Intensidad Media Horaria (IMH) de 600 vehículos/hora y varias velocidades, evalúa las diferencias de potencia acústica entre la superficie de referencia CNOSSOS-EU y otros tipos de asfalto. La configuración específica de este análisis comparativo consideró una composición vehicular de 10% de vehículos pesados (distribuidos equitativamente entre las categorías 2 y 3) y 10% de vehículos de dos ruedas (divididos equitativamente entre las categorías 4a y 4b) (Tabla 18). Este ejercicio pone de manifiesto la sensibilidad de la potencia acústica a las características del pavimento y la necesidad de seleccionar datos que reflejen fielmente las condiciones de la zona de estudio en Huacho para evitar la subestimación de los niveles de ruido. La autoridad a cargo de la elaboración es responsable de garantizar que los datos introducidos en el modelo coincidan con la realidad, basándose en la información disponible (MITECO y CEDEX, 2025).

Tabla 9

*Tipología de pavimentos conforme al modelo CNOSSOS-EU.*

	Tipo de pavimento	Descripción del tipo de pavimento
0	Superficie de referencia	Hormigón asfáltico 0/11-0/16. Mezcla bituminosa caliente 0/11.
NL01	1-capa ZOAB	Asfalto poroso.
NL02	2-capas ZOAB	Asfalto poroso de doble capa.
NL03	2-capas ZOAB (fino)	Asfalto poroso de doble capa con capa superior fina.
NL04	SMA (Stone Mastiek Asphalt) -0/5	Mezcla bituminosa en caliente con árido de máximo 5 mm.
NL05	SMA (Stone Mastiek Asphalt) -0/8	Mezcla bituminosa en caliente con árido de máximo 8 mm.
NL06	Hormigón cepillado	Hormigón cepillado.
NL07	Hormigón cepillado optimizado	Hormigón cepillado optimizado.
NL08	Hormigón pulido	Hormigón pulido.
NL09	Superficie estabilizada	Superficie con tratamiento extra en la capa más superficial.
NL10	Adoquines en espiga	Adoquines en espiga.
NL11	Adoquines no colocados en espiga	Adoquines no colocados en espiga.
NL12	Adoquines silenciosos	Adoquines silenciosos.
NL13	Capa delgada A	Asfalto de capa fina poco ruidoso tipo A.
NL14	Capa delgada B	Asfalto de capa fina poco ruidoso tipo B.

*Nota.* Obtenido de MITECO y CEDEX (2025).

- Pendiente.** La pendiente de la calzada tiene una doble influencia en la emisión de ruido según CNOSSOS-UE, afectando a la velocidad del vehículo y, por tanto, al ruido de rodadura y propulsión, y modificando la carga y régimen del motor, incidiendo en el ruido de propulsión. La Orden PCI 1319/2018 incorpora una corrección del ruido de propulsión al modelo en función de la pendiente, la velocidad y la categoría del vehículo. Para la simulación en software, la pendiente se puede introducir directamente si se conoce el valor exacto de la sección. Como alternativa, los softwares de Sistema de Información Geográfica (SIG) suelen calcularla automáticamente interpolando entre los vértices del eje de la carretera y el Modelo Digital del Terreno (MDT), teniendo en cuenta la dirección de la carretera y del tráfico para aplicar las correcciones pertinentes (MITECO y CEDEX, 2025).
- Rotondas y semáforos.** Para la aplicación de la corrección de aceleración y desaceleración en el método CNOSSOS-UE, MITECO y CEDEX (2025) explican que es esencial identificar las intersecciones reguladas por semáforos y rotondas en el área de estudio. Mientras que la ubicación de las rotondas puede obtenerse a partir de la capa de ejes viales, la identificación de los semáforos puede requerir la consulta de bases de datos topográficas locales detallados o, en su defecto, visitas in situ. No obstante, estudios como el Noise Adapt Project en Dublín (Murphy *et al.*, 2021) sugieren una

consideración importante. Las pruebas “in situ” realizadas en intersecciones señalizadas y rotondas indicaron que la aplicación de los coeficientes de corrección en CNOSSOS-EU tendía a sobreestimar los niveles de ruido medidos sobre el terreno. De hecho, al eliminar estos coeficientes, la precisión del modelo mejoró significativamente, con sobreestimaciones mínimas o incluso insignificantes. Por lo que el proyecto Noise Adapt recomendó no aplicar los coeficientes de corrección para la regulación semafórica o las rotondas, ya que su inclusión no añadía precisión a los resultados del modelo. Por lo tanto, para el contexto de la presente investigación, se considerará la evaluación del impacto del tráfico en las intersecciones sin la aplicación de estos coeficientes de corrección, siguiendo la recomendación basada en la evidencia del estudio irlandés.

#### 2.2.1.1.3 Criterios para Caracterizar el Entorno Acústico.

- **Periodos de evaluación.** Para la evaluación del ruido de tráfico con CNOSSOS-EU, MITECO y CEDEX (2025) consideran fundamental analizar la operación de las fuentes sonoras en los periodos de evaluación estándar definidos en la guía técnica (Tabla 10).

Tabla 10

#### *Caracterización de periodos de evaluación conforme a CNOSSOS-EU.*

Periodo de evaluación	Horario
Diurno	De 7:00 h a 19:00 h
Vespertino	De 19:00 h a 23:00 h
Nocturno	De 23:00 h a 7:00 h

*Nota.* Obtenido de MITECO y CEDEX (2025).

- **Área de modelado.** MITECO y CEDEX (2025) recomiendan diferenciar dos zonas: el área de cálculo, que coincidirá con los límites definidos para la aglomeración urbana, abarcando todos los puntos y edificaciones residenciales dentro de ella para la evaluación del nivel acústico y de la población expuesta; además del área de proyecto, que se comprende más allá de donde se ubica la aglomeración. Esta área de proyecto ampliada incluye aquellas fuentes de ruido fuera de la aglomeración (principalmente carreteras con tráfico significativo) cuyos niveles de ruido puedan tener influencia dentro de los límites del área de cálculo y, para delimitarlo, se recomienda generar un buffer alrededor del área a calcular, cuya distancia variará acorde a la intensidad de tráfico de los ejes viales próximos, aplicando criterios similares a los utilizados para la

delimitación del área de cálculo de dichos ejes, tal y como se especifica en la guía técnica.

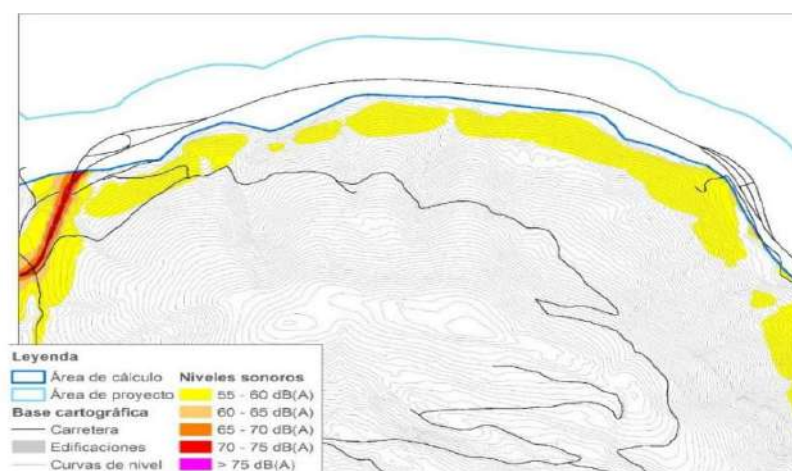


Figura 8. Distinción del área de cálculo entre el área de proyecto

Nota. Obtenido de MITECO y CEDEX (2025).

La Figura 8 ilustra la presencia de una importante vía de circulación adyacente a los límites de la aglomeración urbana, donde se observa que, a pesar de estar situada fuera del área de cálculo estrictamente definida para la ciudad, el ruido generado por esta carretera tiene un impacto directo en el perímetro urbano, razón por la cual se incluye dentro del área de proyecto para su debida consideración en la evaluación acústica.

**Eje viario.** El área de cálculo de un eje viario en CNOSSOS-EU se dimensiona principalmente en función de su Intensidad de Tráfico Media Diaria (IMD) (MITECO y CEDEX, 2025). Cuanto mayor sea el tráfico, mayor será el área que considerar debido a los mayores niveles de ruido. Sin embargo, hay otros factores que modulan esta zona, como la presencia de obstáculos como edificios o pantallas acústicas, la topografía del terreno circundante, la velocidad del tráfico y la tipología de los vehículos. Un terreno escarpado o la existencia de barreras tienden a reducir la propagación del sonido, reduciendo así el área de cálculo necesaria.



Figura 9. Distinción entre el cálculo de un modelo con obstáculos y sin ellos.

Nota. Obtenido de MITECO y CEDEX (2025).

Por tanto, en la delimitación del área de cálculo de una infraestructura vial, influirán cinco factores clave: la Intensidad Media Diaria (IMD) del eje, la velocidad y tipología de los vehículos, los obstáculos cercanos y el Modelo Digital del Terreno (MDT). Aunque todos influyen, el IMD es el factor más significativo. De manera orientativa, en la Tabla 11 se presentan los radios de amortiguación medios para definir el área de cálculo en función de la IMD total del eje de la carretera. Es importante señalar que estas distancias se calcularon considerando una reducida presencia de obstáculos, por lo que podría aminorarse en zonas densamente edificadas.

Tabla 11

*Radio de amortiguación promedio en función a la IMD.*

IMD	Radio del área de cálculo en torno al eje viario (m)
< 5 000	500
5 000 – 10 000	800
10 000 – 20 000	1 100
20 000 – 40 000	1 400
40 000 – 80 000	1 600
80 000 – 160 000	1 800
160 000 – 300 000	≥ 2 000

Nota. Obtenido de MITECO y CEDEX (2025).

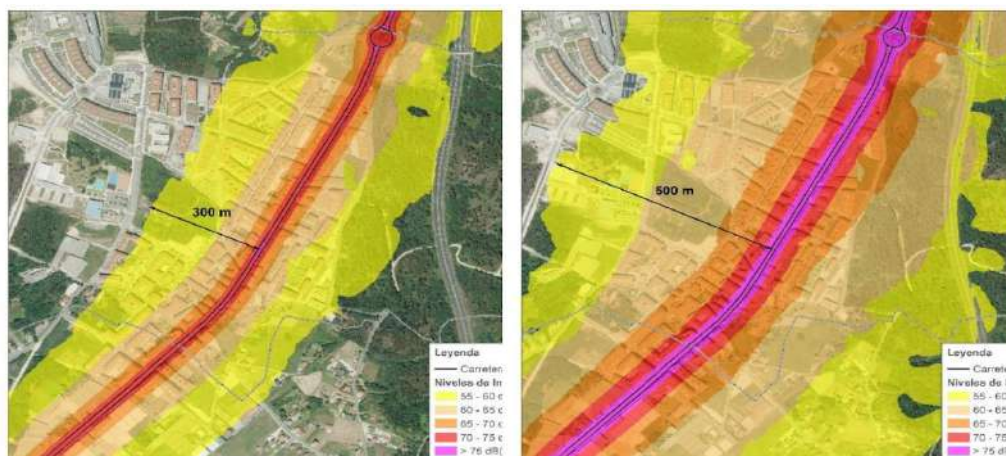


Figura 10. Distinción entre el cálculo de un modelo con IMD variado.

Nota. IMD=14000 (derecha) y 56000 (izquierda) veh/día Obtenido de MITECO y CEDEX (2025).

**Topografía.** Para ello, se pueden utilizar diversos recursos cartográficos disponibles a nivel nacional y regional, como el Modelo Digital del Terreno (MDT), con pasos de malla de 5 o 2 metros, los Modelos Digitales de Superficies (MDS) que contienen información de la elevación superficial considerando los elementos que se encuentran en la superficie, tales como la vegetación, edificaciones e infraestructuras; o los Modelos Digitales de Elevación (MDE) que, a partir de estos, se generarán curvas de nivel que se importarán al software de simulación. Para optimizar el tiempo de cálculo sin sacrificar la fiabilidad, se recomienda generar curvas de nivel con un intervalo pequeño (1-2 metros) y activar la opción de considerar solo la topografía explícita en el software. También se sugiere simplificar la geometría de estas curvas mediante algoritmos SIG o herramientas de software de simulación, ajustando el grado de simplificación a las necesidades del modelo (por ejemplo, mayor simplificación en zonas densamente edificadas donde los edificios tienen mayor influencia). Finalmente, se realizará una verificación del modelo tridimensional generado, corrigiendo anomalías y añadiendo elementos topográficos relevantes no representados inicialmente (MITECO y CEDEX, 2025). La selección de la fuente cartográfica más adecuada para Huacho dependerá de un equilibrio entre la precisión en la representación del terreno y la eficiencia en el tiempo de cómputo. Cabe señalar que estos recursos se pueden consultar en la Infraestructura de Datos Espaciales (IDEP) del Instituto Geográfico Nacional (IGN) o en el Sistema de Información para la Gestión de Riesgos de Desastres (SIGRID), que a menudo realizan estas bases para sus evaluaciones.

- **Condiciones atmosféricas.** Para la aplicación del método CNOSSOS-EU, es crucial la recopilación de datos meteorológicos relevantes como temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, ya que estas condiciones tienen influencia en la propagación del sonido y en los niveles resultantes de la simulación acústica (MITECO y CEDEX, 2025). En el Perú, esta información se encuentra en la IDEP del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Para la elaboración del mapa estratégico de ruido, se recomienda considerar datos meteorológicos medios anuales que representen la situación habitual, debido a que un MER representa la situación promedio anual y únicamente se evalúa la necesidad de generar situaciones medias diferenciadas para la época de verano y el resto del año, en caso de existir una variabilidad estacional de población significativa en el área de cálculo. Adicionalmente, se configura la probabilidad de ocurrencia de condiciones favorables de propagación, considerando los valores estándar recomendados: 50% durante el día, 75% por la tarde y 100% durante la noche.
- **Edificaciones.** Los edificios actúan como barreras acústicas que modifican la propagación del sonido, generando reflexión, absorción y difracción de las ondas sonoras; además, son elementos fundamentales para evaluar la afectación poblacional y los usos del suelo a la contaminación acústica, siendo "contenedores" de viviendas y actividades susceptibles de verse afectadas. La obtención de datos precisos sobre la ubicación, características y altura de las edificaciones es, por tanto, crucial para la elaboración de Mapas de Ruido Estratégicos (MER) y Estudios de Impacto Acústico.

Para la identificación de la capa de edificaciones en el presente estudio, la guía técnica recomienda analizar diversos recursos cartográficos, incluyendo la cartografía catastral local, la Base Topográfica Nacional a escala 1:25.000 (BTN25), las Bases Topográficas regionales (si existen para la región de Lima) y posibles Bases Topográficas locales proporcionadas por la Municipalidad Provincial de Huaura (MPH).

Una vez obtenida la capa de edificaciones, se debe realizar una depuración para eliminar construcciones inexistentes y añadir aquellas no recogidas en la cartografía oficial. En cuanto a la altura de los edificios, se determinará mediante interpolación con el Modelo Digital del Terreno (MDT), o bien asignando alturas estimadas en función del número de plantas (considerando una altura mínima de 4 m para la planta baja de cualquier edificación y una altura estándar de 3 m por planta para edificios residenciales), o

mediante datos obtenidos de la cartografía catastral o visitas in situ. No obstante, se recomienda clasificar las edificaciones por su uso antes de asignar la altura, siguiendo las indicaciones pertinentes de la guía (MITECO y CEDEX, 2025).

- **Absorción del terreno.** La absorción acústica del suelo es un factor relevante que depende directamente de su porosidad; por ello, los suelos compactos tienden a ser reflectivos (coeficiente de absorción  $G$  cercano a 0), mientras que los suelos porosos son más absorbentes ( $G$  cercano a 1). El modelo CNOSSOS-UE utiliza un coeficiente adimensional  $G$ , independiente de la frecuencia, para representar esta propiedad.
- Para definir adecuadamente las características de absorción de los suelos en las diferentes zonas del área de estudio, se recomienda utilizar la cartografía de uso del suelo disponible a escala 1:25,000. Esta información se encuentra en los portales del IGN y de la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN), los cuales se deben interpretar en términos de coeficientes de absorción según el tipo de uso del suelo predominante, sin embargo, en zonas con una tipología de suelo homogénea, se podría considerar la aplicación de un único coeficiente de absorción para simplificar el modelo. En la Tabla 12 se proporcionan valores indicativos de  $G$  para diferentes tipos de suelo al aire libre (MITECO y CEDEX, 2025). La correcta asignación de estos coeficientes, con base en la realidad del terreno en Huacho, optimizará la precisión de la simulación acústica.

Tabla 12

*Coefficientes de absorción por tipos de suelo.*

Descripción	Tipo	Valor $G$
Muy blando (con nieve o hierba)	A	1
Suelo forestal blando (con brezo corto y denso o musgo denso)	B	1
Suelo blando no compacto (césped, hierba o suelo mullido)	C	1
Suelo no compacto normal (suelo forestal y /o de pastoreo)	D	1
Terreno compactado y grava (césped compactado y zonas de parques)	E	0.7
Suelo denso compactado (carretera de grava o aparcamientos)	F	0.3
Superficies duras (hormigón y asfaltado convencional)	G	0
Superficies muy duras y densas (asfalto denso, hormigón y agua)	H	0

*Nota.* Obtenido de MITECO y CEDEX (2025).

#### 2.2.1.1.4 Modelo de Emisión de CNOSSOS-EU para Tráfico Rodado.

Como ya se mencionó, los vehículos se agrupan en cuatro categorías distintas con respecto a su caracterización de la emisión de ruido, mientras que la quinta categoría se prevé como una clase abierta para vehículos más modernos a desarrollarse en un futuro, siendo así

que para cada vehículo de carretera, el modelo de emisión se basa en un conjunto de ecuaciones matemáticas representando dos fuentes principales, a saber, el ruido de rodadura y el ruido de propulsión (Kephalopoulos *et al.*, 2014). Por consiguiente, Ascari *et al.* (2024) explican que las categorías de vehículos se indexarán con “*m*”, tal como se define en CNOSSOS-EU (1 - vehículo ligero, 2 - camión medio, 3 - camión pesado, 4 - vehículos de dos ruedas), y cada banda de octava de frecuencia de 63 Hz a 8 kHz se referenciará como “*i*”. De acuerdo con la descripción del modelo, la potencia lineal equivalente de la fuente de carretera puede representarse como en la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 L_{W,eq,line,i,m} &= L_{W,i,m} + 10 \log_{10} \left( \frac{Q_m}{v_m * \frac{1000}{3600}} \right) - 10 \log_{10}(3600) \\
 &= L_{W,i,m} + 10 \log_{10} \left( \frac{Q_m}{v_m * 1000} \right)
 \end{aligned} \tag{5}$$

Donde:

- $L_{W,i,m}$  es la potencia de la categoría  $m$  en la banda de frecuencia  $i$  en dB;
- $Q_m$  es el flujo de la categoría  $m$  en vehículos por hora;
- $v_m$  es la velocidad en km/h.

El nivel de potencia acústica del vehículo se define como la suma energética de los componentes de rodadura (R) y propulsión (P) en función de la velocidad, como se indica en la ecuación 9.

$$L_{W,i,m}(v_m) = 10 \log_{10} \left( 10 \frac{L_{W,i,m}(v_m)}{10} + 10 \frac{L_{WP,i,m}(v_m)}{10} \right) \tag{6}$$

Si  $m = 4$ , el ruido de rodadura se considera nulo y el nivel de potencia acústica viene dado por la ecuación 10.

$$L_{W,i,m=4}(v_{m=4}) = L_{WP,i,m=4}(v_{m=4}) \tag{7}$$

De acuerdo con el modelo, la potencia acústica debida al ruido de rodadura y de propulsión definida para  $m = 1,2,3$  puede escribirse como en las ecuaciones 11 y 12, donde se destacan las correcciones por superficie a partir de otras contribuciones.

$$L_{WR,i,m} = A_{R,i,m} + B_{R,i,m} \log_{10} \left( \frac{v_m}{v_{ref}} \right) + \Delta L_{WR,road,i,m} + \Delta L_{WR,others} \quad (8)$$

$$L_{WP,i,m} = A_{P,i,m} + B_{P,i,m} \left( \frac{v_m - v_{ref}}{v_{ref}} \right) + \Delta L_{WP,road,i,m} + \Delta L_{WP,others} \quad (9)$$

Donde:

- $v_{ref}$  se toma como 70 km/h
- $\Delta L_{WR,road,i,m}$  es la corrección debida al ruido de rodadura a la superficie de referencia;
- $\Delta L_{WR,others}$  tiene en cuenta los efectos debidos a los neumáticos con clavos, las aceleraciones y deceleraciones y la temperatura en el ruido de rodadura;
- $\Delta L_{WP,road,i,m}$  es la corrección debida al ruido de propulsión en la superficie de referencia;
- $\Delta L_{WP,others}$  tiene en cuenta los efectos debidos a las pendientes de la carretera, las aceleraciones y deceleraciones en el ruido de propulsión.

Así pues, el nivel de potencia acústica global viene dado por la ecuación 13.

$$L_{W,i,m}(v_m) = 10 \log_{10} \left( 10^{\frac{A_{R,i,m} + B_{R,i,m} \log_{10} \left( \frac{v_m}{v_{ref}} \right) + \Delta L_{WR,road,i,m} + \Delta L_{WR,others}}{10}} + 10^{\frac{A_{P,i,m} + B_{P,i,m} \left( \frac{v_m - v_{ref}}{v_{ref}} \right) + \Delta L_{WP,road,i,m} + \Delta L_{WP,others}}{10}} \right) \quad (10)$$

- **Nivel sonoro continuo equivalente día-tarde-noche ( $L_{den}$ )**

Vergara (2019) señala que el  $L_{den}$  puede calcularse como el nivel de presión acústica equivalente ponderado A medido durante un lapso de 24 horas, con una corrección adicional de 10 dB añadida al nivel equivalente nocturno (de 23:00 a 7:00 o de 22:00 a 6:00), una corrección adicional de 5 dB añadida al nivel equivalente para el periodo vespertino (de 19:00 a 23:00 o de 18:00 a 22:00), y ninguna corrección para el periodo diurno (de 7:00 a 19:00 o de 6:00 a 18:00). Las correcciones se introducen para indicar la mayor sensibilidad de la población a las molestias acústicas durante la tarde y la noche.

Específicamente, los distintos indicadores se calculan a través de las siguientes expresiones de acuerdo con lo establecido por la ISO (1996). El indicador  $L_{den}$  es un nivel sonoro promedio de todos los días, tardes y noches durante un año, y fue adoptado por la Unión Europea con la implementación de la Directiva de Ruido 2002/49/EC. El  $L_{den}$  en decibeles (dB) está definido por la siguiente fórmula:

$$L_{den} = 10 \log \left( \frac{1}{24} \right) \left( 12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening+5}}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night+10}}{10}} \right) \quad (11)$$

donde:

- $L_{day}$  es el nivel sonoro medio ponderado A de los períodos diurnos (7:00-19:00);
- $L_{evening}$  es el nivel sonoro medio ponderado A para los períodos vespertinos (19:00 – 23:00);
- $L_{night}$  es el nivel sonoro medio ponderado A para los períodos nocturnos (23:00- 7:00).

Los niveles para cada período, día, tarde y noche durante un año se calculan a partir de las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} L_{day} &= 10 * \log \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{d,i}}{10}} \right); \\ L_{evening} &= 10 * \log \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{e,i}}{10}} \right); \\ L_{night} &= 10 * \log \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{n,i}}{10}} \right) \end{aligned} \quad (12)$$

Donde  $N = 365$ . Los valores de indicadores de ruido para el  $i$ -ésimo día son determinados de acuerdo con la medición continua de niveles de ruido equivalente ponderado A en cada período correspondiente de la jornada, o mediante técnicas de muestreo y la determinación del nivel de ruido equivalente basado en la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
L_{day,i} &= 10 * \log \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{(L_{Aeq,T}) i}{10}} \right); \\
L_{evening,i} &= 10 * \log \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{(L_{Aeq,T}) i}{10}} \right); \\
L_{night,i} &= 10 * \log \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{(L_{Aeq,T}) i}{10}} \right)
\end{aligned} \tag{13}$$

Siendo  $T$  el período de muestreo y  $N$  el número de muestras utilizadas para el cálculo.  $L_{den}$  y  $L_{Night}$  son vinculados a los cálculos de exposición al ruido en los exteriores y fachadas más expuestas, reflejando una exposición promedio a largo plazo. Así,  $L_{den}$  y  $L_{night}$  representan todos los eventos sonoros particulares debidos a fuentes de ruido específicas que ocurren en un período largo de tiempo, como un año completo. La mayoría de los estudios que cuantifican efectos en la salud de la población por exposición a ruido ambiental consideran su ocurrencia como resultado de exposiciones a largo plazo. Se acepta de manera general que la exposición en los períodos más relevantes del día y la noche (esta última considera especialmente el tiempo que pasa una persona en su hogar) está correctamente atribuida al utilizar indicadores promedio como  $L_{den}$  y  $L_{Night}$  (Faulkner & Murphy, 2022).

### 2.2.2 Exposición al Ruido Vehicular.

El ruido ambiental forma parte constante del entorno diario en las sociedades contemporáneas. Independientemente de su intensidad, las personas se encuentran constantemente expuestas a diversas fuentes sonoras en diferentes entornos: dentro de sus hogares, cuando transitan por las calles, en el trabajo, cuando utilizan un transporte vehicular e incluso durante su tiempo de descanso y ocio (García, 2004).

Dada la información previa, podemos deducir que la exposición al ruido vehicular hace referencia al contacto continuo o intermitente de individuos con el sonido generado por el tráfico de vehículos motorizados en entornos urbanos. Y de acuerdo con Dávila (2023), esta clase de ruido constituye una de las principales formas de contaminación acústica en áreas urbanas y puede generar efectos adversos sobre la salud y el bienestar de la población.

Desde el punto de vista de Vélez (2019) y la OMS (1999), a diferencia de otros contaminantes, el manejo del ruido ambiental estuvo inicialmente restringido por el limitado conocimiento

acerca de sus efectos en la salud humana, la insuficiente información respecto a la relación dosis–respuesta y la ausencia de criterios establecidos. En contraste, actualmente las acciones para mitigar el ruido ambiental, en particular el producido por el tránsito vehicular, no proliferan como una prioridad en la gestión pública; en parte por desestimación de los efectos nocivos a largo plazo que genera en la población, así como de su magnitud, traducida al número de ciudadanos afectados por la exposición constante a entornos donde se supera el Estándar de Calidad Ambiental de Ruido (ECA Ruido) constantemente o con un margen considerable, limitándose a acciones de concienciación social.

En la práctica, para estimar la afectación de la población al ruido vehicular se requiere un proceso complejo por varias razones. En primer lugar, debido a que generalmente, los datos de población que habitan edificios residenciales no son de acceso público, lo que dificulta la estimación de la población asociada a dichos edificios. En segundo lugar, la disposición de habitaciones (más concretamente, si los dormitorios se encuentran en la fachada más cercana a la fuente de ruido o no) no siempre es conocida, lo que obstaculiza la realización de estudios de cartografía del ruido a gran escala. Suponer que toda la población de un edificio está expuesta puede conducir a sobreestimaciones de la exposición. (Murphy et al., 2006; Tsai et al., 2009; como se cita en Murphy y Douglas, 2018).

Aunque el ruido ambiental se percibe como un problema característico de los países desarrollados, la exposición a ella suele ser aún mayor en los países en vías de desarrollo, debido a las limitaciones en la planificación urbana y a la baja calidad constructiva. Los efectos del ruido sobre la salud, así como sus consecuencias a largo plazo, son cada vez más frecuentes y generalizados. En este contexto, es esencial aplicar medidas eficaces para reducir y controlar los niveles de exposición al ruido ambiental (Berglund, Lindvall y Schwela, 1995, [como se cita en Vélez Moreno, 2019] y OMS, 1999).

### ***Fuentes de Ruido Vehicular.***

Tomando en cuenta lo señalado por la OMS (1999, como se cita en Ramírez y Domínguez, 2011), se ha demostrado una relación directa y de carácter exponencial entre el nivel de desarrollo de un país y la magnitud de la contaminación acústica que afecta a su población, resultado del incremento en la infraestructura vial y, en consecuencia, del volumen de tránsito, además del ruido asociado a la actividad industrial.

Es entonces que Vijay *et al.* (2015) definen que el ruido del tráfico vehicular comprende el ruido de propulsión (motor, transmisión, escape), el contacto de la carretera y los neumáticos,

así como el ruido aerodinámico. El nivel de ruido presenta una relación directa con la velocidad de los vehículos, independientemente de su categoría.

En las zonas urbanizadas, uno de los aspectos que mayor incidencia tiene en la generación del ruido vehicular es el comportamiento de los conductores. Prácticas como la aceleración brusca o el aumento repentino de la velocidad del motor, especialmente en condiciones de tráfico intenso, pueden generar aumentos de ruido de hasta 15 dB(A) por encima de los niveles asociados a una conducción moderada y constante (E. Suárez, 2002, como se cita en Bastián, 2013).

Por otra parte, un estudio realizado en la ciudad de Pekín demostró que el diseño de las carreteras también desempeña un papel importante en el paisaje sonoro urbano. La construcción de carreteras de circunvalación concéntricas alrededor del centro de la ciudad ha alterado la distribución del tráfico intenso, reduciendo los niveles de ruido en el centro de la ciudad, pero generando un notable aumento en las zonas periféricas. Esta redistribución coincide con un crecimiento sostenido del número de vehículos en la carretera de alrededor del 11 % anual durante las últimas tres décadas (Li y Tao, 2004; Li *et al.*, 2002; como se cita en Ramírez y Dominguez, 2011).

Can *et al.* (2007, como se cita en Ramírez y Dominguez, 2011) identifican otros elementos del diseño de las carreteras que influyen en las emisiones de ruido, como las pendientes, la configuración geométrica, la señalización y los semáforos. En este último caso, la relación con el comportamiento de los conductores es especialmente evidente. Un ejemplo local es el barrio de Santa Anita, donde Lima (2023) señala que las intersecciones con semáforos tienen altos niveles de ruido, atribuibles al uso excesivo e inadecuado de las bocinas por parte de los conductores en los semáforos en rojo, agravado por la congestión del tráfico típica de las horas pico, lo que compromete seriamente la experiencia acústica de los peatones en las zonas más transitadas.

Zamorano *et al.* (2019) sostienen que el tráfico vehicular es un problema creciente en términos de contaminación acústica, especialmente en los países en desarrollo, donde la mayoría de los vehículos son antiguos o de segunda mano. Estas malas condiciones mecánicas intensifican las emisiones de ruido, lo que subraya la necesidad de políticas integrales de mitigación del ruido. Estas estrategias deben incluir tanto el control del parque automovilístico como la planificación urbana, teniendo en cuenta variables como la situación socioeconómica de la población y los efectos del crecimiento urbano en la calidad de vida.

Camero *et al.* (2004, como se cita en Ramírez y Dominguez, 2011) destacan a diversidad de sistemas de transporte presentes en distintas ciudades del mundo, la cual depende del tipo de planificación adoptada durante sus procesos de expansión, ubicando tres casos:

- ***Ciudades con expansión vehicular descontrolada*** como Phoenix (Estados Unidos) o Perth (Australia).
- ***Ciudades con crecimiento controlado de vehículos*** como Singapur y Hong Kong, que han implementado políticas restrictivas sobre el uso y la compra de vehículos privados, como impuestos elevados, peajes, restricciones de tráfico por zona y hora, y medidas para reducir el uso de automóviles con bajas tasas de ocupación.
- ***Ciudades que han priorizado el desarrollo urbano destinado a reducir la densidad de vehículos*** como Estocolmo (Suecia), Múnich (Alemania) y Nueva York (Estados Unidos). Estas ciudades han fomentado la creación de espacios peatonales, la mejora de las redes ferroviarias y de metro, y una planificación urbana que promueve modos de transporte sostenibles.

Los resultados son significativos, ya que demuestran que una adecuada proyección urbana, se puede desvincular el crecimiento de la población del aumento del número de vehículos en las carreteras, mitigando así los efectos medioambientales del transporte y promoviendo una mejor calidad de vida en los entornos urbanos.

Es así como se acentúa una diferencia en el panorama nacional, donde en la mayoría de los casos se ha desarrollado una expansión urbana sin planificación o lineamientos para preservar el orden y bienestar de la creciente ciudadanía; originando que a lo largo de los años se generen puntos álgidos del tráfico vehicular, donde se alcanzan niveles de ruido superiores al promedio en otras zonas o vías de tránsito, afectando a los ciudadanos que frecuentan las mismas por encontrarse en dirección a sus áreas de trabajo, residencias y como usuarios del transporte público o privado. Quito (2023) recalca que identificar zonas con un alto riesgo de ruido por tráfico vehicular generalmente implica realizar estudios de evaluación con la recopilación de datos de volúmenes de tráfico, tipos de vehículos, velocidades promedio y patrones de tráfico; estos datos pueden ser obtenidos mediante trabajo de campo por las autoridades pertinentes, sean regionales, provinciales, municipales o locales. Además de que, para identificar mejor estas zonas, sería pertinente elaborar un mapa de tráfico, que permita realizar una evaluación detallada del entorno que se está evaluando.

Gamero (2020), en su artículo para la revista *Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente* señala que uno de los principales problemas a la hora de elaborar mapas de ruido en Lima y Callao es la limitada representatividad espacial de los puntos de medición. Estos estudios recopilan datos sobre la presión acústica en lugares específicos de toda la ciudad, con un número limitado de puntos por distrito (entre 2 y 12), lo que impide que reflejen con precisión la realidad acústica de las zonas urbanas. El autor también critica la falta de técnicas de modelización estadística en el proceso de creación de mapas de ruido, a diferencia de lo que ocurre en países vecinos como Chile y Colombia, donde estas herramientas proporcionan resultados más precisos en relación con la realidad. Dado que las mediciones son específicas y puntuales, los mapas generados solo representan las condiciones acústicas específicas en el momento en que se tomaron, sin ofrecer una visión completa o predictiva. Esta situación ha llevado a la normalización de los altos niveles de ruido en el entorno urbano, creando una percepción de normalidad que obliga a la población a adaptarse a este problema para poder llevar a cabo sus actividades diarias.

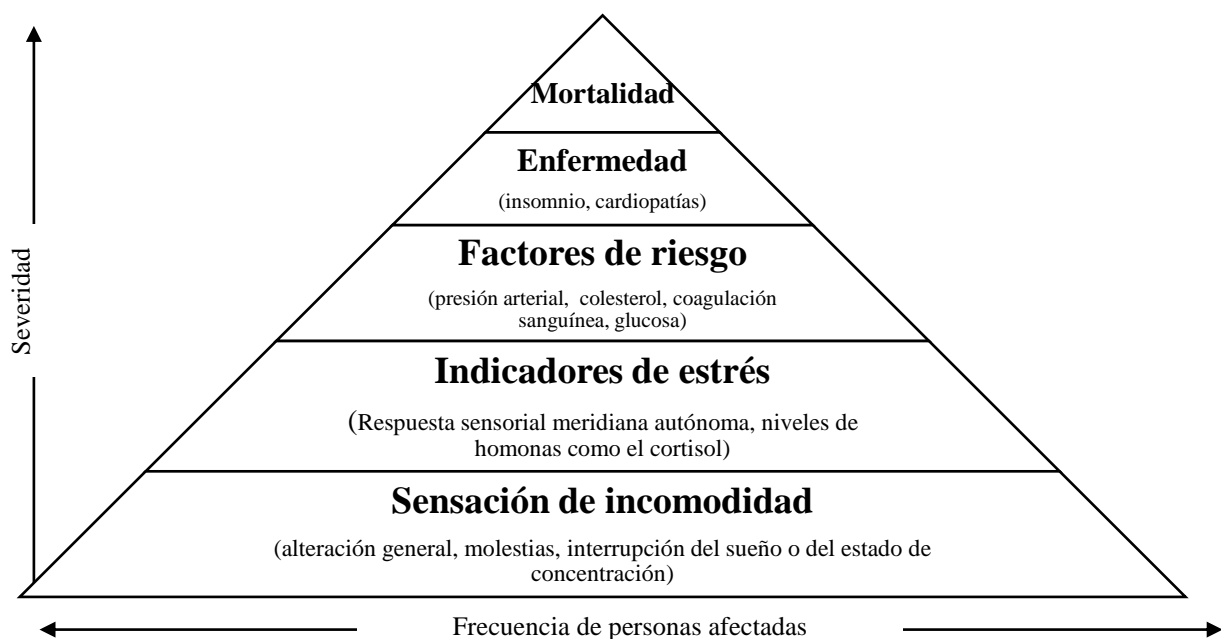
De manera similar, Solis (2013), realizó un estudio con residentes de Cercado de Lima expuestos al ruido urbano, que reveló que el 67,8 % de los encuestados percibía el tráfico vial como la principal fuente de ruido, mientras que el 21,6 % atribuía este impacto al uso recurrente de las bocinas de los automóviles. Estas últimas, con una intensidad promedio de entre 80 y 90 decibelios, solo deben utilizarse en casos de emergencia para prevenir accidentes. Sin embargo, en la ciudad de Lima, su uso es constante y excesivo, incluso para fines como llamar la atención de los transeúntes o solicitar prioridad. El estudio concluye que los residentes parecen estar acostumbrados al ruido ambiental, y que es muy probable que la población desarrolle “enfermedades de adaptación”, lo que disminuirá su calidad de vida a largo plazo.

### ***Impactos del Ruido Vehicular en la Salud.***

El ruido es un sonido molesto e indeseado. Aquella definición tiene un componente subjetivo, ya que depende de la percepción que tiene el oyente de un fenómeno que es esencialmente físico y objetivamente medible. En términos generales, el sonido consiste en una vibración que es captada por el sistema auditivo humano; sin embargo, cuando esta vibración es molesta o perjudicial, se identifica como ruido (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo [INSST], 2024).

Tomando en cuenta la definición previa, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2016, como se cita en Andrade y Mas, 2024) menciona que la percepción

humana del sonido expresado en decibeles con ponderación A (dB(A)) abarca desde 0 dB(A) hasta 120 dB(A), nivel a partir del cual se presenta sensación de dolor. Por su parte, Zamorano *et al.* (2019) explican que el ruido constituye un elemento perjudicial para la salud humana y sostienen que sus efectos pueden manifestarse tanto a nivel físico como psicosocial, aunque con frecuencia ambos tipos se presentan de manera conjunta. Desde otro punto de vista, Murphy y King (2022) plantean una pirámide que muestra el grado de los impactos en la salud asociados con la exposición crónica al ruido ambiental a largo plazo según su gravedad (*Figura 11*); estos efectos van desde la sensación de malestar hasta el aumento del riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y, en última instancia, la mortalidad.



*Figura 11.* Pirámide de efectos del ruido sobre la salud.

Nota. Adaptado de Murphy y King (2022).

En cuanto a cifras, en el reporte titulado Riesgos para la salud causados por el ruido ambiental en Europa, realizado por la Agencia Ambiental Europea (EEA, 2020), se destaca que el ruido ambiental constituye la segunda amenaza más importante para la salud ambiental, solo superada por la mala calidad del aire; además, uno de cada cuatro ciudadanos europeos se ve afectado por niveles de ruido vehicular superiores a los 55 dB a lo largo del día ( $L_{den}$ ), lo que implica que más de 100 millones de habitantes se encuentran expuestos a niveles perjudiciales de contaminación sonora. Asimismo, se calcula que la exposición continua al ruido contribuye a unos 48 000 casos nuevos de enfermedades cardiovasculares y 12 000 muertes prematuras por año, además de afectar de manera significativa el bienestar de 22 millones de personas que sufren molestias severas y alterar el sueño de aproximadamente 6,5 millones de individuos, de

esta forma poniendo en evidencia que el ruido generado por el tráfico rodado constituye un problema relevante de salud pública urbana.

En contraste, la situación en el Perú, de acuerdo con el informe sobre contaminación acústica en Lima y Callao elaborado por el OEFA en 2016 (como se cita en Gamero, 2020), indica que, del total de puntos evaluados en el área metropolitana de Lima, más del 90 % de los datos registrados superaban los estándares de calidad ambiental (ECA) para el ruido, y que en el Callao todos los puntos evaluados excedían el límite de 70 dB(A), alcanzándose un nivel máximo de 86,3 dB(A).

Uno de los efectos más significativos de la exposición prolongada al ruido es la pérdida progresiva de la capacidad auditiva que se debe principalmente al efecto de los sonidos intensos sobre las estructuras sensoriales del oído interno (Andrade *et al.*, 2024). En relación y de acuerdo a la OMS (2019, como se cita en Santa Cruz, 2021), la pérdida auditiva puede ser congénita (factores hereditarios y no hereditarios) o adquiridas; en esta última categoría, la exposición continua al ruido del tráfico, las actividades laborales y las actividades de ocio en entornos ruidosos desempeña un papel importante. La OMS advierte que aproximadamente el 50 % de los casos de pérdida auditiva adquirida podrían evitarse si se aplicaran medidas de salud pública eficaces.

Por su parte, Martínez y Peters (2015, como se cita en Pinedo, 2023) afirman que el tráfico vehicular genera aproximadamente el 80 % del ruido en las ciudades, aunque solo representa el 8 % de las quejas de los ciudadanos. De hecho, el ruido de la vida nocturna, aunque menos frecuente, causa mayor molestia debido a su carácter esporádico e inesperado.

Durante el periodo de confinamiento obligatorio por la pandemia de COVID-19, se registró una reducción temporal de los niveles de ruido en la ciudad de Lima, con reducciones de hasta 8 dB(A) registradas en varios barrios. No obstante, tras la reactivación de las actividades económicas y sociales, los niveles volvieron a aumentar. De los 131 puntos evaluados, 118 excedieron los límites establecidos por la normativa ambiental, comprometiendo el bienestar físico y mental de los residentes (Véliz *et al.*, 2023).

Lamentablemente, no existen otros datos estadísticos oficiales, actualizados y disponibles públicamente acerca de los efectos del ruido sobre la salud y calidad de vida de la población peruana, lo que supone una grave limitación. Esto resulta contradictorio si se tiene en cuenta que Perú es uno de los países fundadores de la Federación Iberoamericana de Acústica (FIA) desde 1996 e incluso ocupa la vicepresidencia. Sin embargo, según Gamero (2020) la Sociedad

Peruana de Acústica está inactiva, a diferencia de sus homólogas en países como Chile, donde se llevan a cabo actividades continuas, como conferencias, campañas de sensibilización, seminarios y publicaciones especializadas. Esta diferencia en el nivel de institucionalización y cultura acústica también se refleja en la formación profesional. En Perú no existen programas universitarios especializados en acústica; los estudios en este campo se abordan de forma limitada dentro de carreras como ingeniería ambiental o arquitectura, lo que limita considerablemente la producción científica nacional sobre el tema. Como resultado, esta falta de conocimientos especializados limita la capacidad de generar información técnica que pueda servir de base para una gestión eficaz del ruido ambiental (Ministerio del Medio Ambiente [MMA], 2023).

Retomando el asunto de la salud, es importante señalar que los efectos más comunes del ruido ambiental sobre la salud incluyen una intensa incomodidad y graves trastornos del sueño. Ambas condiciones se consideran factores de estrés crónico y pueden actuar como desencadenantes de enfermedades más graves. La Tabla 13 resume los diversos impactos de la exposición a altos niveles de ruido nocturno, según lo planteado por Murphy y King (2022).

Tabla 13

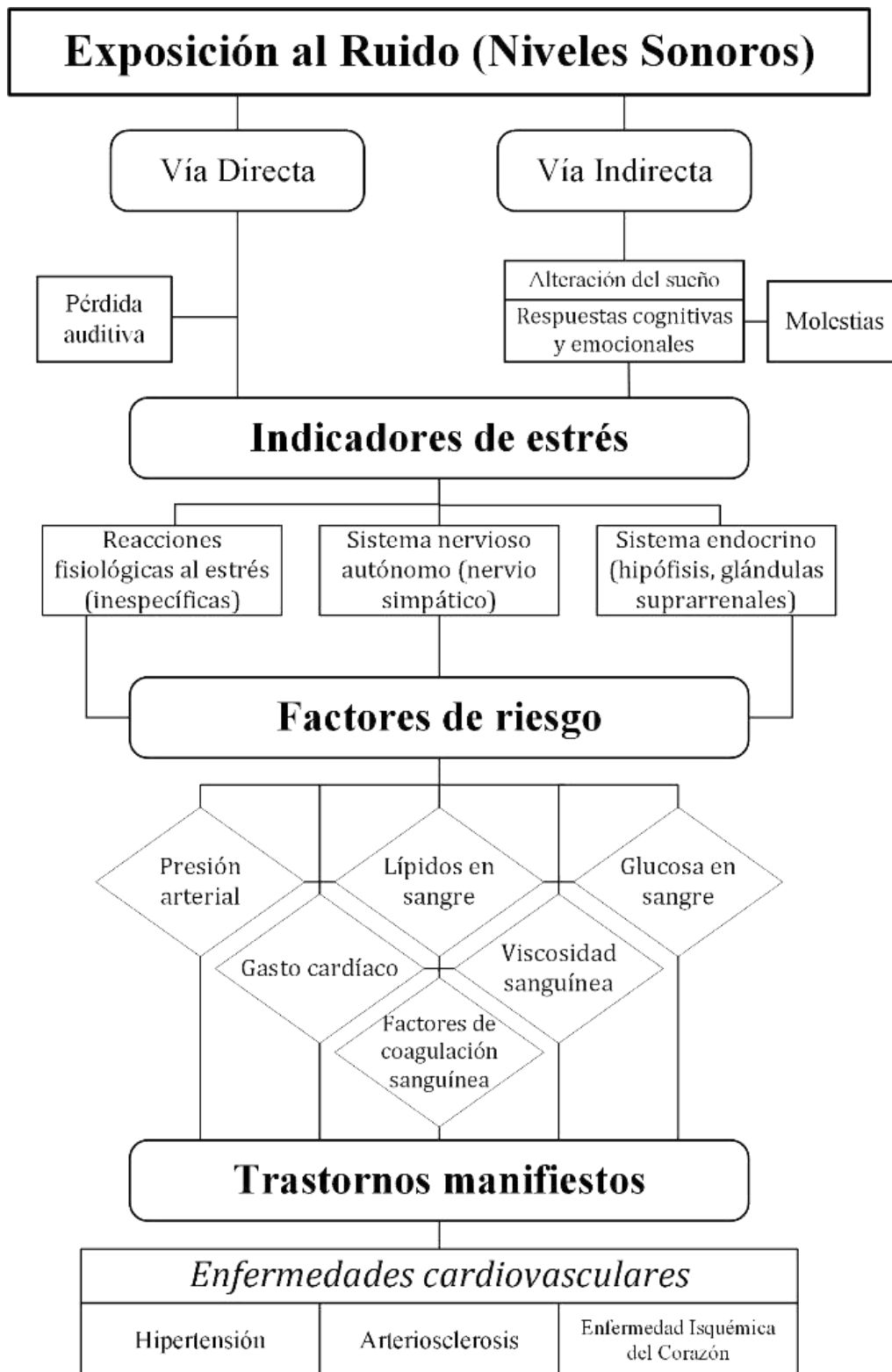
*Niveles umbral correspondientes a los efectos del ruido nocturno.*

Efectos		Indicador	Umbral (dB)
	Cambio en la actividad cardiovascular	$L_{AMax}$ , interior	35
Biológicos	Cambio en la actividad electroencefalográfica (EEG) al despertar	$L_{AMax}$ , interior	32
	Motilidad/Inicio de la motilidad	$L_{AMax}$ , interior	35
	Cambios en la duración de las fases del sueño y su fragmentación.	$L_{AMax}$ , interior	35
Calidad del sueño	Despertar durante la noche y/o muy temprano por la mañana	$L_{AMax}$ , interior	42
	Prolongación del periodo de inicio del sueño, dificultad para conciliar el sueño	–	–
	Fragmentación del sueño, reducción del tiempo de sueño	–	–
	Incremento del movimiento promedio durante el sueño	$L_{Night}$ , exterior	40
Bienestar	Alteración del sueño auto detectada	$L_{Night}$ , exterior	42
	Uso de medicamentos somníferos y sedantes	$L_{Night}$ , exterior	40
Condiciones médicas	Insomnio ambiental	$L_{Night}$ , exterior	42

*Nota.* Organización Mundial de la Salud (OMS), 2009. Directrices sobre el Ruido Nocturno para Europa. Organización Mundial de la Salud, Copenhague.

Según la OMS (2009, como se cita en Murphy y King, 2022), los experimentos fisiológicos realizados en seres humanos han demostrado que incluso una exposición moderada al ruido actúa a través de una vía indirecta y tiene consecuencias para la salud similares a las causadas por exposiciones a niveles elevados de ruido en la vía directa. Así pues, los efectos agudos del ruido se producen no sólo a niveles sonoros elevados, sino también a niveles sonoros relativamente bajos cuando, siendo un punto relevante, se estaría llevando a cabo la

recuperación física y cuando se perturban actividades como la concentración, la relajación y el sueño. En la *Figura 12* se observa la relación dispuesta por Murphy y King (2022) respecto a los efectos del ruido por vías directa e indirecta.



*Figura 12.* Esquema de impactos a la salud por exposición al ruido.

Fuente: Adaptado de Murphy & King (2022).

Por tal motivo, Tras las investigaciones realizadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y respaldados por diversos organismos científicos, se ha establecido el uso de las relaciones dosis-efecto (RDE) como metodología fundamental para estimar la cantidad de residentes potencialmente afectados por la exposición prolongada al ruido ambiental. Este enfoque se ha formalizado en la Directiva (UE) 2020/367 de la Comisión Europea (04 de Marzo de 2020), la cual define un marco metodológico estandarizado para la evaluación de los efectos nocivos del ruido en la salud pública

No obstante, en el presente estudio no se aplicará la metodología de RDE, ya que el objetivo se limita a cuantificar la población expuesta a niveles de ruido vehicular que superan los umbrales normativos establecidos por el ECA y la END (Tabla 17). Por tanto, no se evaluarán efectos en la salud como enfermedades cardíacas, molestias intensas o alteraciones del sueño, en su defecto, se abordará la RDE como base conceptual para futuras investigaciones que busquen estimar dichos impactos.

#### ***Evaluación de los Efectos Nocivos frente al Ruido Vehicular.***

La Directiva (UE) 2020/367 que modifica el anexo III de la Directiva 2002/49/CE, define los procedimientos para estimar los efectos nocivos del ruido del tráfico en la salud humana, para las enfermedades de cardiaca isquémica (ECI) inducida por el ruido, las molestias intensas (MI) y las alteraciones graves del sueño (AGS). Para el primer efecto, se calcula un riesgo relativo (RR) como cociente entre la probabilidad de aparición en una población expuesta y otra no expuesta al ruido. Estos parámetros se basan en las recomendaciones contenidas en las directrices de la OMS (2018) sobre el ruido ambiental, que recogen las pruebas científicas sobre la relación entre la exposición al ruido y los daños asociados.

Además, en el boletín oficial del estado N° 132, disposición 9234, Orden PCM/542/2021 emitida por el Gobierno Español, es donde se incorpora la Directiva antes mencionada (Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática, 2021). Dicha orden sostiene que los métodos de evaluación incluidos en su más reciente texto anexo son aquellos en los que, según los conocimientos científicos actuales, se han establecido algunas RDE que vinculan los niveles de un indicador acústico generado por una fuente específica de ruido con el efecto perjudicial asociado. Entre ellas se incluyen las ECI, las MI y los AGS provocados por el ruido de la carretera, del ferrocarril y de los aviones. Sin embargo, reconoce la existencia de otros impactos en la salud relacionados con el ruido ambiental, como

accidentes cerebrovasculares, hipertensión, diabetes, trastornos metabólicos, dificultades cognitivas en los niños, problemas de salud mental, tinnitus y complicaciones obstétricas, para los que, aunque hay indicios de una relación con el ruido, aún no existen modelos de evaluación validados.

El Reporte Eionet ETC-HE 2022/5, redactado por Blanes *et al.* (2022), afirma que la aplicación de los RDE cambia la percepción actual de lo que se entiende por «nivel de ruido seguro»; en consecuencia, basándose en las conclusiones de la OMS, se han determinado valores de referencia para el ruido del tráfico en zonas residenciales, con un umbral de 53 dB(A) para el indicador  $L_{den}$  y de 45 dB(A) para  $L_{night}$ , por encima de los cuales existe un riesgo considerable para la salud.

Si bien estos cálculos se aplican y evidencian en los Planes de Acción contra el Ruido (PAR), resulta fundamental considerar sus requisitos desde la fase de elaboración del modelamiento acústico, a fin de evitar dificultades operativas cuando los responsables de redactar el PAR no coinciden con quienes elaboran el MER (Soto & Arce, 2022).

### ***Normativa y Estándares de Ruido Vehicular.***

#### ***Normativa Nacional.***

#### **Constitución política del Perú – TÍTULO III, Capítulo II: Del Ambiente y los Recursos Naturales.**

Artículo 2.- Derechos fundamentales de la persona.

#### **Ley N°28611 – Ley General del Ambiente.**

Artículo 115.- De los ruidos y vibraciones.

#### **Ley N°27972 – Ley Orgánica de Municipalidades.**

Artículo 80.- Saneamiento, Salubridad y Salud.

#### **Decreto Supremo N°085-2003-PCM – Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido.** Artículo 1.

**Resolución Ministerial N°227-2013** – Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido Ambiental.

**NTP - ISO 1996-1:2020: Acústica** – Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte I: Índices básicos y procedimientos de evaluación.

**NTP - ISO 1996-2:2021: Acústica** – Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte II: Determinación de los niveles de presión sonora.

**Directiva N° 002-2006-MTC/15** – Clasificación vehicular y estandarización de características registrables vehiculares.

**Ordenanza Provincial N°055-2007-MPH** - Ordenanza para la supresión y limitación de los ruidos y sonidos molestos en la provincia de Huaura.

**Ordenanza Municipal N.º 032-2008-MPH** - Ordenanza que modifica la ordenanza para la supresión y limitación de los ruidos y sonidos molestos en la Provincia de Huaura, Ordenanza Municipal N° 055-2007-MPH.

**Ordenanza Municipal N.º 006-2018/MPH** - Reglamento de aplicación y sanciones administrativas (RAS) y cuadro único de infracciones y sanciones.

### 2.3 Definición de Términos Básicos

**Evaluación de ruido.** Se refiere a cualquier procedimiento metodológico que permita medir, estimar, predecir o calcular un indicador acústico o los efectos nocivos asociados (Comisión Europea, 25 de junio de 2002).

**Aglomeración.** área del territorio nacional con más de 100 000 habitantes y una alta densidad poblacional, reconocida por el Estado como urbanizada. En estas zonas se identifican tres principales fuentes de ruido: tráfico viario, ferroviario e industrial (MITECO y CEDEX, 2025).

**Zona tranquila en una aglomeración.** Se refiere a un área delimitada en el que los niveles de ruido, como  $L_{den}$ , no superan un valor umbral definido por el Estado, por ejemplo, los ECA para Ruido.

**Planes de acción contra el ruido (PAR).** Se refiere a los Instrumentos orientados a gestionar y reducir la contaminación acústica, diseñados cuando se identifican niveles de ruido que exceden los valores permitidos (MITECO y CEDEX, 2025).

**Planificación acústica.** Se refiere a la estrategia de control del ruido futuro mediante herramientas de ordenamiento territorial, gestión del tráfico, aislamiento acústico o reducción del ruido en su fuente (Comisión Europea, 25 de junio de 2002).

**Receptores puntuales.** Definidos como localizaciones específicas para el cálculo de los niveles sonoros dentro del software de simulación acústica (MITECO y CEDEX, 2025), se utilizan principalmente con dos fines interrelacionados: en primer lugar, permiten validar el modelo de cálculo comparando los niveles simulados con medidas reales obtenidas en puntos concretos, como las estaciones de monitoreo de ruido existentes en Huacho, facilitando así la verificación de la precisión del MER; y en segundo lugar, permiten calcular los niveles sonoros en localizaciones de especial interés, como las ventanas de los edificios de viviendas, permitiendo una evaluación detallada de la exposición acústica en puntos sensibles de la ciudad.

**Fuente lineal.** Definidos como aquellas fuentes conformadas por una distribución continua de diferentes fuentes puntuales. Según Kephelopoulos et al. (2012, p. 21, como se cita en Pacheco, 2017), pueden ser disgregadas a un conjunto de segmentos mediante un proceso de segmentación que consiste en dividir la fuente lineal en segmentos de línea de la siguiente manera.

**Puntos de dirección.** Definidos como un data set de tipo punto que se ubica dentro de los edificios o en el edificio residencial, el cual contiene información sobre la cantidad de personas y viviendas que se encuentran dentro del edificio (Hartog, 2021).

**Sistema GPS.** Según (Preda *et al.*, 2009), consiste en una red de satélites convenientemente situados en la ionosfera terrestre que, mediante ondas de radio de alta frecuencia, transmiten, todos simultáneamente, una señal horaria muy precisa e individualmente su posición e información de corrección (las dos partes de la señal forman el llamado Tiempo Universal Coordinado [UTC]); las estaciones terrestres, que se utilizan para controlar los satélites y actualizar la información y por último, el receptor, que basándose en las señales del UTC transmitidas por al menos cuatro satélites es capaz de calcular su longitud, latitud y altitud (del receptor) en cualquier parte del mundo y asociarlas al Tiempo Universal; las coordenadas de localización y la hora pueden ser utilizadas posteriormente por el receptor para calcular su velocidad; toda o parte de esta información primaria procesada se envía normalmente a un ordenador u otro dispositivo para su posterior procesamiento.

## **2.4 Hipótesis de Investigación**

### **2.4.1 Hipótesis General.**

Existe una relación espacial directa entre los niveles de presión sonora generados por el tráfico vehicular y la magnitud de población residencial expuesta al ruido vehicular estimada mediante el modelo CNOSSOS-EU en el distrito de Huacho, 2025.

### **2.4.2 Hipótesis Específicas.**

- Los niveles de presión sonora generados por el tráfico vehicular, tras ser modelados mediante CNOSSOS-EU, demuestran valores que superan los umbrales normativos en más del 50% del territorio evaluado en el distrito de Huacho, 2025.
- Más del 40% de la población residencial evaluada se encuentra expuesta a bandas de nivel sonoros iguales o superiores a los valores recomendados para la protección de la salud, de acuerdo con los umbrales normativos nacionales (ECA Ruido) y europeos (END), en el distrito de Huacho, 2025.
- Existe una correlación positiva y estadísticamente significativa entre los niveles de presión sonora simulados y la magnitud de la población residencial expuesta en el distrito de Huacho, 2025.
- Los escenarios de mitigación del ruido vehicular simulados con CNOSSOS-EU producen reducciones estadísticamente significativas en los niveles de presión sonora y en el número de residentes expuestos en la zona crítica seleccionada del distrito de Huacho, 2025.

## 2.5 Operacionalización de Variables

Tabla 14

### Matriz de operacionalización

Título: Evaluación de la Exposición al Ruido Vehicular y Validación de la Predicción de Niveles de Ruido mediante CNOSSOS-EU en el distrito de Huacho, 2025								
Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Técnica de recolección / procesamiento	Instrumento	Unidad	
Variable Independiente: Niveles de ruido vehicular	Magnitud de la energía sonora generada por el tránsito vehicular en la red vial urbana, expresada en niveles equivalentes de presión sonora ponderados A (dB(A)), obtenidos mediante modelización acústica con el método CNOSSOS-EU bajo condiciones atmosféricas medias.	Valores de niveles de ruido vehicular predichos en dB(A) para los indicadores Lday, Levening, Lnight y Lden, calculados mediante la aplicación del método CNOSSOS-EU con una grilla de receptores (altura 4m y 1.5m) y se representan cartográficamente como mapas de isófonas.	a) Nivel diurno - Lday (07–19 h)	- LAeq.day por punto de grilla calculado (1.5 y 4 m). - Isófonas por intervalos de 5 dB.	Modelización acústica predictiva (CNOSSOS-EU)	Software iNoise 2024.3	dB(A)	
			b) Nivel vespertino - Levening (19–23 h)	- LAeq.evening por punto de grilla calculado (1.5 y 4 m). - Isófonas por intervalos de 5 dB.				
			c) Nivel nocturno - Lnight (23–07 h)	- LAeq.night por punto de grilla calculado (1.5 y 4 m). - Isófonas por intervalos de 5 dB.				
			d) Nivel global Lden (día-tarde-noche)	- Lden por punto de grilla y receptores de fachada (1.5 y 4 m). - Mapa con áreas de contorno.				
			e) Distribución espacial del ruido	- Superficie urbana (ha) por intervalos de 5dB. - Longitud de vía incluida en bandas de isófonas. - N° de edificios residenciales interceptados por bandas de 5dB.	Análisis espacial (clasificación de isófonas)	ArcGIS Pro 3.4	Ha, %, mts, n° edificaciones residenciales	
Variable Dependiente: Población expuesta al ruido vehicular	Grado en que la población y edificaciones residenciales se encuentran sometidas a los efectos del impacto acústico urbano generado por el tránsito vehicular que exceden los límites normativos nacionales (ECA-Ruido, D.S. N.° 085-2003-PCM) y los umbrales europeos (Directiva 2002/49/CE).	Número de habitantes en edificaciones de uso residencial ubicadas en bandas con niveles de ruido superiores a los umbrales normados, obtenido mediante el cruce espacial (análisis vectorial) entre isófonas y capas de edificaciones con datos poblacionales estimados.	a) Exposición edificatoria	- Lmáx de fachada por edificio residencial (a 1.5 m y 4 m; receptores a 0.1 m fuera de fachada). - % de edificios residenciales expuestos (> umbral normativo) respecto al total.	Receivers at Facades (Caso 1) + resumen por edificio	iNoise 2024.3 + ArcGIS Pro	dB(A), % edificaciones residenciales	
			b) Exposición poblacional directa	- Población expuesta por intervalos de 5dB. - N° y % de habitantes total expuesta (> umbral normativo) respecto al total.	Unión espacial Address Points ↔ receptor más expuesto del edificio	ArcGIS Pro 3.4, Field Calculator	N° habitantes, %	
			c) Exposición territorial	- Superficie (Ha) en cada intervalo de isofona cada 5dB(A). - % del área total urbana afectada (> umbral normativo).	Cálculo de polígonos de isófonas sobre Limite del proyecto (DIV-Area)	ArcGIS Pro 3.4	Ha, % área	
			d) Comparación normativa	- Exceso sobre ECA (día 60 / noche 50) y END (Lden 55 / Lnight 50): % población, n° viviendas y área que excede.	Análisis comparativo de límites normativos	ArcGIS Pro 3.4, hoja de cálculo	% habitantes, n° viviendas, Ha	
			e) Intervención con medidas de mitigación	- Variación con E1: Pavimento de alta absorción (NL03). - Variación con E2: Pantallas acústicas (Tipologías 1, 2 y 3) - Variación con E3: Medida combinada	Simulación de escenarios de mitigación	iNoise 2024.3 + ArcGIS Pro 3.4	ΔLden prom. ΔLnight prom. Δ área ≥ 75 dB Δ población ≥ 65 dB	

Nota. Elaboración propia, 2025.

## CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

### 3.1 Diseño Metodológico

La metodología aplicada para la elaboración del MER por tráfico vehicular en Huacho que a su vez represente la exposición de la población se basa en el método de cálculo CNOSSOS-EU, tomando como referencia la reciente Guía Técnica para la aplicación del modelo europeo de ruido (MITECO y CEDEX, 2025) conforme a la Directiva 2015-996-CE, analizadas en las bases teóricas del presente estudio. Si bien la guía no impone parámetros específicos, proporciona un marco para fundamentar técnicamente las decisiones adoptadas en la aplicación del modelo al contexto particular de la realidad acústica del área de estudio en Huacho; por dicha razón, su adaptación, al igual que la interpretación de los resultados, recae bajo la responsabilidad de esta investigación.

#### 3.1.1. Ubicación.

El estudio se realizó en el área urbana del distrito de Huacho, capital y sede municipal de la provincia de Huaura, además de uno de los 12 distritos que la conforman. En la misma línea, la provincia es capital del departamento Lima, por lo tanto, sede del Gobierno Regional de Lima. Huacho fue elevada a la categoría de ciudad por Ley (Congreso de la República del Perú, 10 de Noviembre de 1874); además, es parte de la zona conocida como Norte Chico del Perú. De acuerdo con las proyecciones de población total al 2025 (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2025; Ministerio de Salud [MINSA], 2025), Huacho concentra una población de 78 208 ciudadanos, ubicándola como el distrito más poblado en toda la provincia. La ciudad se encuentra en la latitud  $11^{\circ} 06' 22''$  S y longitud  $77^{\circ} 36' 24''$  O a una altitud promedio de 30 m.s.n.m. y tiene una superficie de unos 717.38 kilómetros cuadrados (Gobierno Regional de Lima [GOREL], 2024). Su área urbanizada excede sus propios límites políticos y colinda con Santa María al este, Huaura, Hualmay y Carquín al norte (Martínez Córdor, 2007). Cabe mencionar que el clima se clasifica como BWh (desértico cálido) de acuerdo al sistema Köppen-Geiger; así también, registra una temperatura media anual de  $19.2^{\circ}\text{C}$ , siendo febrero el mes más cálido, con una temperatura máxima promedio de  $27^{\circ}\text{C}$ , mientras que en agosto, el mes más frío, es de  $18^{\circ}\text{C}$ ; además, la humedad relativa mensual alcanza, en promedio, 82% mientras que el promedio de precipitación total mensual llega a 0.7 mm; a la par de ello, la evaporación mensual promedia los 83.4 mm (Climate Data, 2021).



### *Situación Vial del Área de Estudio.*

Capuñay (2024) explicó que Huacho se integra vialmente por tres niveles, los cuales son la vía nacional, delimitada por la Panamericana Norte, cuya traza atraviesa la ciudad de forma transversal; la vía regional, que abarca la carretera Huacho-Sayán (pavimentada), que se articula con la vía Panamericana Norte; y la vía local, organizada con una trama interna de forma cuadrada, complementada por un conjunto de ejes diagonales que enlazan el centro de Huacho con los distritos de Hualmay, Caleta de Carquín, Santa María, Huaura y el cono sur.

Sin embargo, según se desprende del PDU Huachano, la red vial de la ciudad se organiza en distintos componentes: Sistema Vial Primario conformado por vías regionales-nacionales, vías principales y encuentros viales; y el Sistema Vial Secundario integrado por las vías colectoras, vías locales y vías especiales, especificado en el

(MPH, 07 de Marzo de 2014).

Siendo así que el 91% las vías principales cuentan con pavimento, mientras que el porcentaje restante se encuentra en etapa de proyección. En el caso de las vías colectoras, el 45.1 % está asfaltado, el 16.2 % permanece sin pavimentar y el 38.6 % figura aún como proyectado. A pesar de estos avances, persisten retos vinculados con alineamientos irregulares, variaciones en las secciones y discontinuidades dentro de la red de vías locales, considerando también la periferia de la ciudad, los cuales son aspectos que demandan una revisión técnica más estricta.

Por otro lado, la movilidad urbana en Huacho está marcada por una fuerte presencia de mototaxis, que representan el 54.2 % del parque automotor (3113 unidades), seguida por los taxis con un 23.5 % (1350 vehículos) y por el transporte urbano e interurbano, que alcanza el 22.27 % (1279 unidades). Conviene enfatizar lo sostenido por Capuñay (2024), la concentración del flujo vehicular en avenidas como 28 de Julio y San Martín produce episodios frecuentes de congestión, sobre todo en los tramos vinculados a actividades comerciales y de servicios. Esta situación, acentuada por la presencia de vías de sección reducida y un transporte informal ampliamente distribuido, reduce la eficiencia de la movilidad urbana y repercute directamente en el desempeño de las actividades económicas locales, además de incrementar los niveles de ruido en el entorno.

### **3.1.2. Tipo de Investigación.**

Esta investigación se clasifica como aplicada debido a que utiliza el modelo matemático CNOSSOS-EU, Sistemas de Información Geográfica (SIG) y análisis estadístico para resolver un problema concreto de la gestión territorial con carácter ambiental como es la necesidad de evaluar la afectación poblacional residencial de Huacho a la contaminación acústica del tráfico vehicular.

### **3.1.3. Nivel de Investigación.**

Asimismo, el nivel de investigación es descriptivo-correlacional. Descriptivo, debido a que el estudio describe los niveles de presión sonora generados por el tráfico vehicular y la distribución espacial de la poblacional residencial expuesta en el distrito de Huacho, mediante modelamiento acústico con CNOSSOS-EU y análisis geoespacial. Asimismo, correlacional puesto que busca asociar cuantitativamente las variables niveles de presión sonora y magnitud de la población expuesta al ruido vehicular en un solo corte temporal, sin manipularlas ni pretender explicar causalmente el fenómeno.

### **3.1.4. Enfoque de Investigación.**

La investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo que resulta adecuado para los objetivos de este estudio, ya que se utilizan valores expresados en decibelios [dB(A)] y cálculos derivados del modelo predictivo CNOSSOS-EU para representar cuantitativamente la magnitud de la contaminación acústica urbana a causa del desmesurado tránsito vehicular.

### **3.1.5. Diseño de Investigación.**

Finalmente, el estudio se enmarca en un diseño no experimental, dado que las variables no son manipuladas deliberadamente por el investigador; es decir, los fenómenos se analizan en las condiciones en que se presentan de manera espontánea en su entorno, puesto que se modelan y analizan los niveles sonoros generados por la circulación vehicular en condiciones reales, mediante simulación acústica y datos geoespaciales. Además, presenta un alcance transversal, debido a que la información se recopila y analiza en un solo corte temporal de seis meses representando las condiciones promedio anuales del año 2025.

## **3.2 Población y Muestra**

### **3.2.1 Población.**

- N1: Integrada por los segmentos viales ubicados dentro de los sectores 2, 3, 5 y 6 del distrito de Huacho que constituyen las fuentes lineales de emisión sonora en el modelo CNOSSOS-EU y a partir de los cuales se calcula la presión sonora generada por el tráfico vehicular.
- N2: Constituida por la totalidad de habitantes en edificaciones de uso residencial dentro de los sectores 2, 3, 5 y 6 que representa a la parte afectada, por ello siendo estudiada a fin de cuantificar la exposición de la población al ruido originado por el flujo vehicular.

### **3.2.2 Muestra.**

Debido a que el análisis se realizó sobre la totalidad de elementos que componen ambas poblaciones dentro del área de estudio, no se definió una muestra probabilística. El enfoque adoptado fue de población completa, tanto para la población N1: fuentes emisoras (segmentos viales), como para la población N2: receptores (habitantes en edificaciones residenciales), lo que permitió modelar la distribución espacial real del ruido vehicular y evaluar integralmente el grado de afectación que alcanza la población residente en los sectores seleccionados, sin recurrir a inferencias basadas en muestras parciales.

## **3.3 Técnicas de Recolección de Datos**

Ante lo investigado, el procedimiento de recopilación de datos es esencial en un modelo predictivo, ya que operan basándose en datos reales y estadísticos del lugar de estudio; es decir, el éxito del modelo del área de estudio con CNOSSOS-EU se basará en la calidad y lealtad de la información recopilada.

Debido a que el modelo no tiene antecedentes en el área de estudio y adicionalmente que la normativa para la gestión del ruido nacional, junto a la local, tampoco lo exige, los datos de entrada requeridos se encontraban desactualizados o en absoluto fueron generados. Por tal motivo, los *inputs* se obtuvieron principalmente del trabajo de campo realizado por los investigadores. Aun así, se recurrió a la información base brindada por los servicios web de acceso público y privado en momentos necesarios, a saber, el Instituto Geográfico Nacional (IGN), el Servicio Nacional de

Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTC), el Ministerio del Ambiente (MINAM), el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (VIVIENDA), el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN), la MPH, Google Maps, OpenStreetMap, y el Centro de Archivo Activo Distribuido (DAAC) de la Instalación Satelital de Alaska (ASF).

Por consiguiente, se describen las técnicas utilizadas en lo que respecta a la elaboración del *Base Map* compuesto por capas específicas y necesarias que conforman los atributos de tráfico vehicular y el entorno acústico.

### **3.3.1 Técnicas para Recolección de Atributos de Tráfico Vehicular.**

La composición del tráfico indica las distintas categorías de vehículos y su número por hora y por periodo de observación en los segmentos de carretera estudiados, así como la velocidad promedio del flujo vehicular para su uso en el método CNOSSOS-EU. Según Anghel, Covaciu, Florea, Timar y Vlase (2009), un segmento de calle es una fuente de ruido lineal y está representado por polilíneas abiertas.

#### ***Segmentación y Clasificación Funcional de la Red Vial.***

Como primer procedimiento, se obtuvo la capa “calle” (*shapefile*) del área de estudio con una clasificación predeterminada propio del portal de datos de OpenStreetMap, disponible bajo licencia de base de datos abierta. A su vez, y de acuerdo con la Guía de Buenas Prácticas (WG-AEN, 2006), estas se reclasificaron conforme al sistema de vías primarias y secundarias evidenciadas en el PDU del distrito (MPH, 07 de Marzo de 2014), recuperado en el

Posteriormente, cada calle reclasificada fue dividida en segmentos, generando elementos de polilíneas y considerando a las intersecciones de las vías como criterio principal para la segmentación, tal como lo realizaron Covaciu, Florea, Timar, Dima y Anghel (2015). Cabe señalar que para Anghel *et al.* (2009), la longitud de cada segmento depende de la curvatura de la carretera y de los cambios en los parámetros del tráfico; por lo sustentado, cerca de una intersección, los

segmentos de carretera se considerarán más cortos para captar los cambios rápidos de velocidad de los vehículos denominados protocolos de aceleración y deceleración por MITECO y CEDEX (2025).

### ***Aforado Manual Vehicular en Intersecciones para Determinar Flujo Vehicular.***

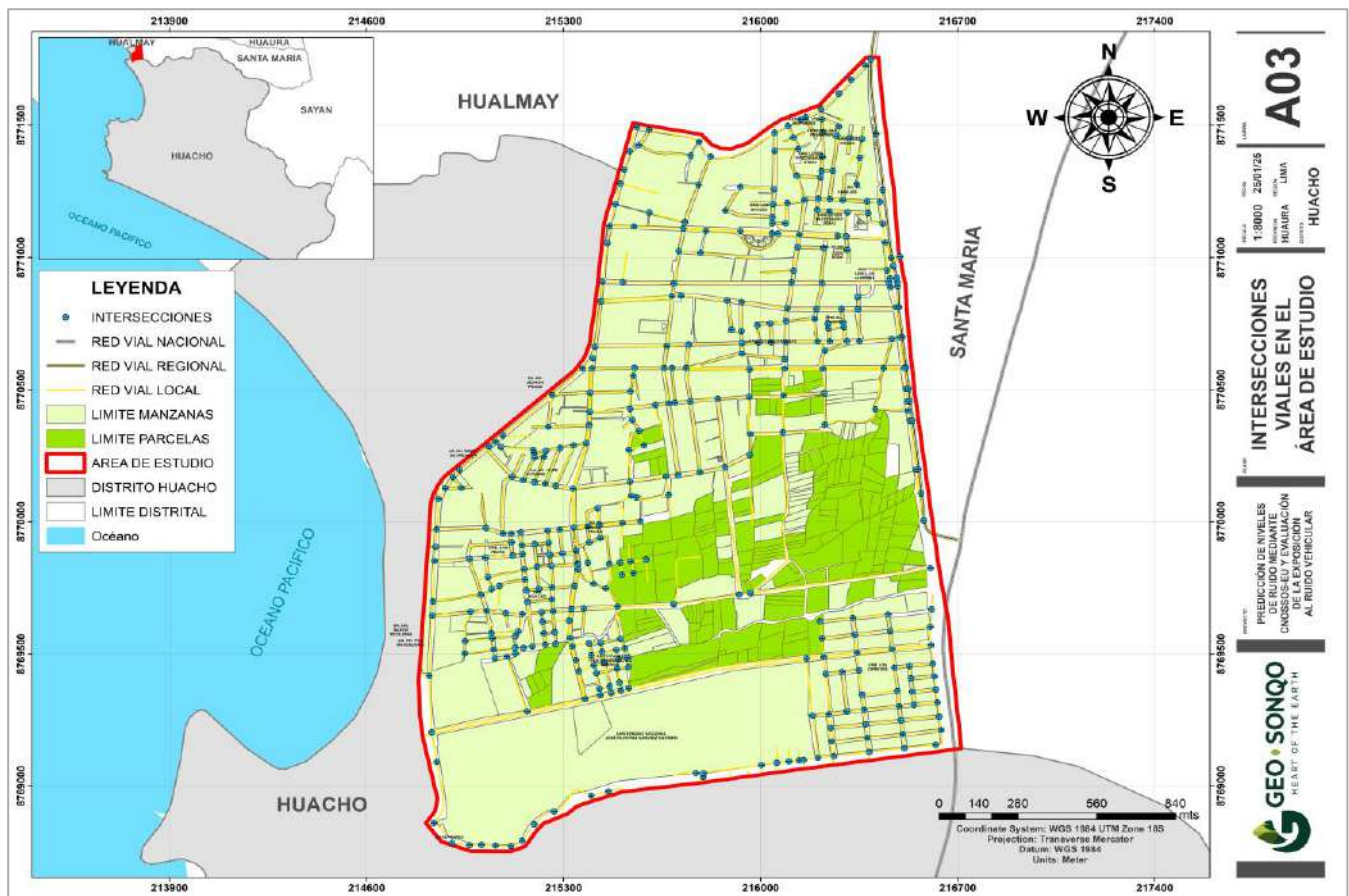
Dentro del área de estudio hay trescientos ocho intersecciones de interés que fraccionan a las vías en quinientos ochenta y cuatro segmentos (Figura 14), y determinar el flujo de los vehículos de todos estos segmentos es complejo. La manera automatizada de realizarlo es utilizar aforadores de tráfico vehicular, como radares (Preda *et al.*, 2009) o dispositivos inductivos propios de un sistema, por mencionar el Urban Statistical Pass-By (U-SPB) (Ascari *et al.*, 2024), que facilitan obtener la información del tráfico (flujo de vehículos, categorización, velocidad y dirección en vías seleccionadas) con detección en tiempo real; pero el elevado número de dispositivos necesarios hace que este método no sea asequible. En cambio, utilizar observadores humanos (aforadores) para contabilizar vehículos es una solución mucho más barata (Covaciu *et al.*, 2015), común y práctica (Cofaru y Tarulescu, 2009). Se reconoce la posibilidad de errores humanos que, por factores como obstrucciones en el campo visual o la dinámica propia del tráfico, pueden generar ligeras imprecisiones en los valores registrados; sin embargo, Bastidas y Moreno (2020) señalan que estos errores suelen ser ínfimos y pueden ser desestimado. Además, Zheng y McDonald (2012) reportan que el margen de error en los conteos manuales es inferior al 1% cuando se trata de conteos, mientras que para tareas de clasificación oscilan entre el 4% y el 5%.

Por lo sustentado, la técnica elegida para recopilar datos de flujo vehicular fue el aforado manual (AMV), que también se recomienda en la guía técnica española R-25 de MITECO y CEDEX (2025). Conviene señalar que esta propuesta se mantiene alineada con el principio fundamental de las metodologías de aforo vehicular, según el cual las técnicas aplicadas no deben interferir ni alterar el flujo habitual del tránsito como sostienen Moreno *et al.* (2020).

En principio, se estableció una serie de estaciones de aforo vehicular manual (EAM) en las intersecciones de los segmentos de carretera dentro del área de estudio (Anexo 11, Anexo 12, Anexo 13 y Anexo 14), tal como se representa en la Figura 15, que corresponde a una porción del Sector 2. La cantidad de conteos de una intersección con respecto a otra varía en proporción al número de segmentos que se repitan; es decir, a modo de ejemplo, si la intersección 1 y la intersección 2 comparten un segmento (segmento A para la intersección 1 y C para la 2), no sería

necesario realizar el AMV para dicho segmento en el segundo cruce; en cambio, se duplica la información del primer segmento medido. Sumado a esto, como criterio de priorización para el aforado, se consideraron los segmentos con densidad de tránsito representativo en cada tipo de vía. En el Plan de Evaluación y Fiscalización Ambiental - PLANEFA 2025, de la MPH, se mencionan algunas calles de mayor transitabilidad; sin embargo, son el resultado de un diagnóstico de ruido realizado en la ciudad el año 2014, considerándose el más actualizado y vigente en el mismo documento; por lo tanto, esos datos no fueron considerados en la presente investigación por su antigüedad y debido a que no existe publicada otra investigación similar y actualizada, se determinará la representatividad mediante técnica observacional.

Figura 14. Mapa de intersecciones viales en el área de interés



Nota. Elaboración propia, 2025.

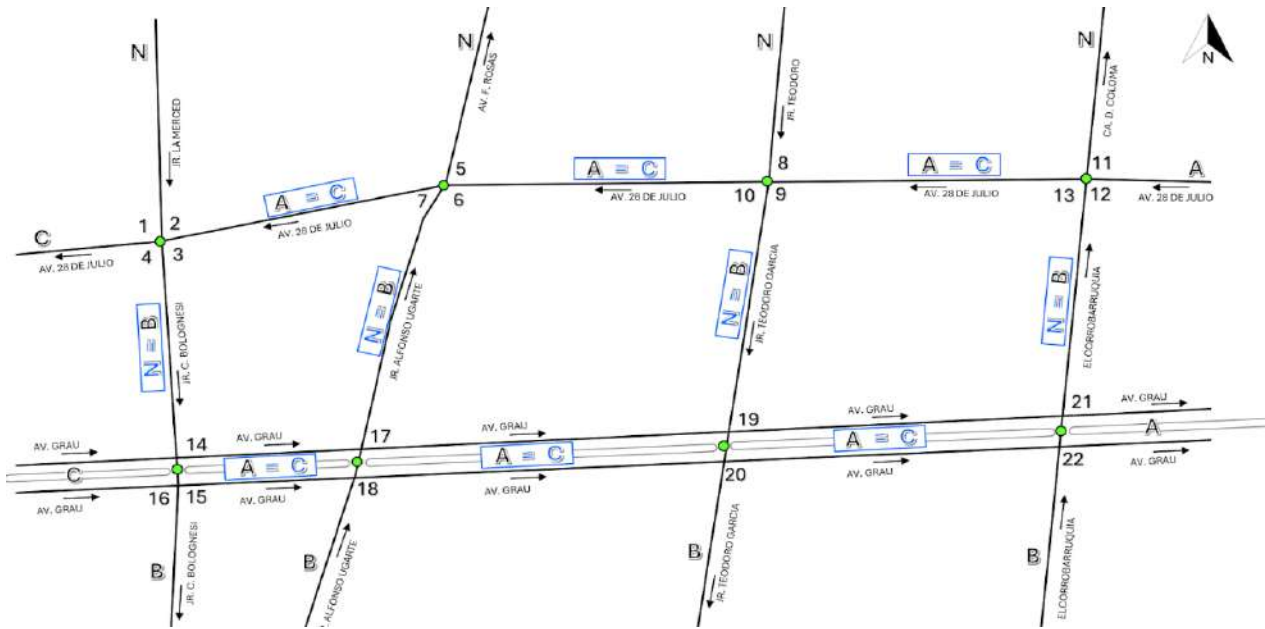


Figura 15. Conteo de flujo vehicular en intersecciones por segmentos de vías.

Nota. Elaboración propia, 2025

Para facilitar el trabajo en campo, se establecieron diferentes configuraciones para el AMV en las distintas situaciones de acuerdo con la dirección del flujo vehicular y los tipos de intersecciones viales que predominan en los sectores del área de estudio (Figura 16, Anexo 15, Anexo 16, Anexo 17, Anexo 18 y Anexo 19) por referirse a intersección en cruz, intersección en “Y”, intersección en “T”, intersección discontinua, glorieta o rotonda e intersección con rampa de incorporación; donde para cada segmento de vía que conforma una intersección se dispone de una EAM independiente. Por ello, en intersecciones en cruz se instalarán hasta cuatro estaciones, mientras que en intersecciones en “T” o “Y” se instalarán hasta tres. Además, cada EAM se identifica mediante un código estructurado según el siguiente formato:

$$EAM - [ID][Segmento] - [Sector]$$

Donde:

- *EAM* = Estación de Aforo Manual.
- *[ID]* = Número correlativo asignado a la intersección vial en la que se ubica la EAM.
- *[Segmento]* = Letra asignada al tramo de vía observado en dicha intersección (N, A, B, C, D, etc.).
- *[Sector]* = Número del sector urbano (según PDU).

La configuración se estableció para el caso de solo contar con dos aforadores; sin embargo, se recomienda disponer de cuatro a más para optimizar el tiempo de medición. Cada uno de los aforadores registró en el formato técnico de campo (Anexo 20), la cantidad de vehículos por categoría que transitan a través del panel de control (objeto imaginario) correspondiente al segmento observado. Para calcular el IMH, el AMV para cada segmento constó de 5 mediciones de 1 hora por cada uno, distribuidas en tres intervalos de hora punta y dos intervalos de hora valle con el objetivo de capturar los contrastes entre condiciones de máxima y mínima circulación, y precisando que las horas punta del periodo diurno son: 7:00–9:00 h; 12:00–14:00 h o 17:00–19:00 h, del vespertino: 19:00–21:00 h y del nocturno 23:00–01:00 h; debido a que estos horarios coinciden con la ida y vuelta a centros de labor, educación o entretenimiento nocturno (Municipalidad Metropolitana de Lima [MML], 2019).

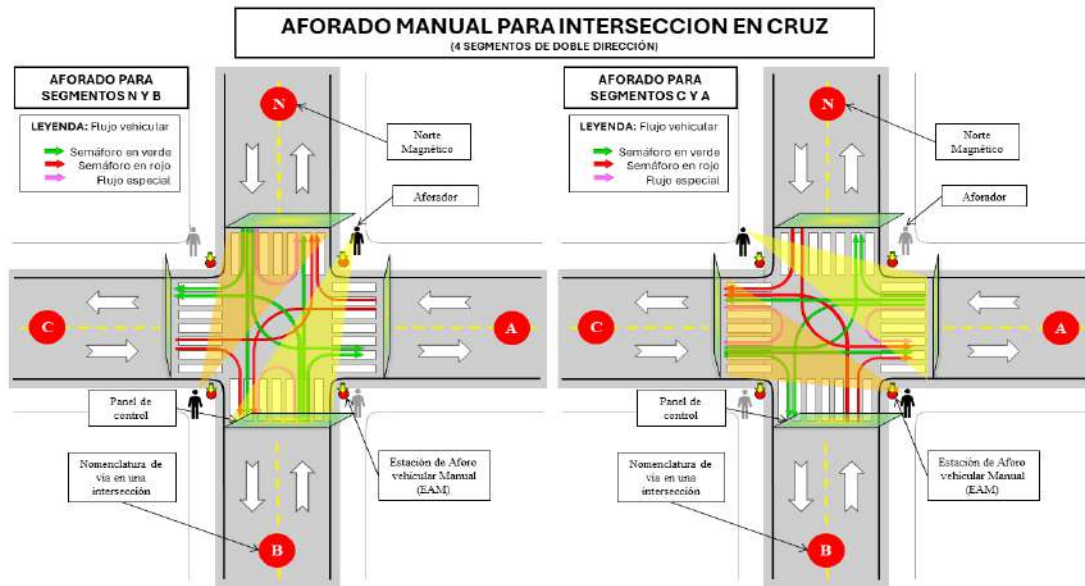


Figura 16. Configuración para aforo de una intersección regular de 4 segmentos.

Nota. Elaboración propia, 2025

La herramienta que facilitó el conteo vehicular fue el aplicativo móvil Multi Counter versión 1.8.6, desarrollado por Umit YILMAZ. En la mayoría de los segmentos de carretera, el tráfico fluye en ambas direcciones, con un solo carril para cada dirección; por lo tanto, en estos casos, los vehículos para cada categoría se contaron en cada dirección como registro de un solo segmento (la Tabla 15 ejemplifica esta situación); sin embargo, se mantuvo el sentido del flujo vehicular en su formato al etiquetarlo como *two way* cuando es bidireccional y *one way* cuando es unidireccional. Para los

tramos viales sin datos medidos, se utilizó la media de los valores de flujo de tráfico y velocidades de segmentos similares, tal como se sugiere en la Guía de Buenas Prácticas (WG-AEN, 2006).

*Tabla 15*

Datos para condiciones de tráfico de un tramo vial.

Clasificación vehicular CNOSSOS-EU	Flujo	Velocidad (km/h)	Condiciones meteorológicas
<b><i>Carril Oeste</i></b>			
Categoría 1	952	43	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura: 14.98 °C, 288.13 K</li> <li>• Presión: 101.5 kPa</li> <li>• Humedad del aire: 59.07%</li> <li>• Velocidad del viento: &lt; 2 m/s</li> <li>• Dirección del viento: Suroeste</li> <li>• Condición del suelo: Seco</li> <li>• Cobertura de nubes: Parcial</li> </ul>
Categoría 2	19	43	
Categoría 3	9	34	
Categoría 4	2	56	
<b><i>Carril Este</i></b>			
Categoría 1	808	42	
Categoría 2	55	41	
Categoría 3	7	35	
Categoría 4	2	40	

*Nota.* Adaptado de Faulkner y Murphy (2022).

### ***Observación Directa para Categorización Vehicular.***

El AMV se realizó utilizando las cuatro categorías de vehículos más habituales conforme a la Directiva 2015-996-CE, considerados también en el formato técnico de campo: 1) vehículos livianos, referidos a turismos, furgonetas de reparto < 3,5 toneladas, vehículos utilitarios deportivos, vehículos multiuso, remolques y caravanas; 2) vehículos pesados medios, referidos a furgonetas de reparto > 3,5 toneladas, autobuses, turismos, etc., vehículos con dos ejes y neumáticos gemelos montados en el eje trasero; 3) vehículos pesados, referidos a vehículos pesados, turismos, autobuses, con tres o más ejes; y 4) vehículos de dos ruedas con motor, referidos a ciclomotores, triciclos o quads < 50 cc, y motocicletas, triciclos o quads > 50 cc. Para optimizar la identificación de vehículos, se anexa la descripción gráfica por categoría en homologación a los distintos tipos descritos en el Reglamento Nacional de Vehículos (Anexo 22). A efectos de disminuir el margen de error que resulta de clasificar los vehículos manualmente, tal como sostienen Zheng y McDonald (2012), el total de los vehículos pesados se dividió en proporciones equitativas en las clasificaciones de las categorías 2 y 3, respectivamente; recomendado tanto por WG-AEN (2006) como por Murphy *et al.* (2021) quienes sostienen que esta práctica no genera variaciones relevantes en los niveles de ruido que emite el tramo evaluado.

### ***Recorrido Vehicular con Registro GPS para Estimación de Velocidad Media.***

A diferencia del AMV, la medición de la velocidad en segmentos viales específicos es más compleja, ya que la investigación se desarrolla en un contexto que actualmente no cuenta con sistemas de vigilancia de velocidad. En estos casos, MITECO y CEDEX (2025) y WG-AEN (2006), de acuerdo con la Directiva (UE) 2015/996 de la Comisión, sugieren considerar el límite de velocidad establecido en la vía como referencia para definir la velocidad media para la modelización CNOSSOS-UE; sin embargo, utilizar el límite de velocidad legal para cada segmento no es exacto. Ante ello, Ausejo, Asensio, Recuero y Pavón (2011) indican que recurrir a valores predeterminados, cuando no se dispone de datos de entrada con mejor precisión, puede derivar en resultados cuyo margen de desviación supera los 9 dB.

Por consiguiente, para evitar las desviaciones de resultados antes descritas, la determinación de la velocidad media para cada segmento de carretera se obtuvo mientras se conducía un vehículo instrumentado dentro del flujo de tráfico. El método utilizado para este caso no aparece en la bibliografía de uso general, pero se describen procedimientos similares como los de Anghel (2009), Preda (2009) y Covaciu (2015). Se basa en el uso de un dispositivo GPS para registrar información de posición y tiempo, y después se calcula la velocidad media para cada segmento de calle. Los datos se captaron conduciendo por la red vial del área de estudio con un recorrido total de 98.39 kilómetros acorde con el mapa de optimización de rutas diseñado por sector y mostrado en la Figura 17, en 5 ocasiones y durante los mismos periodos representativos considerados para el AMV.

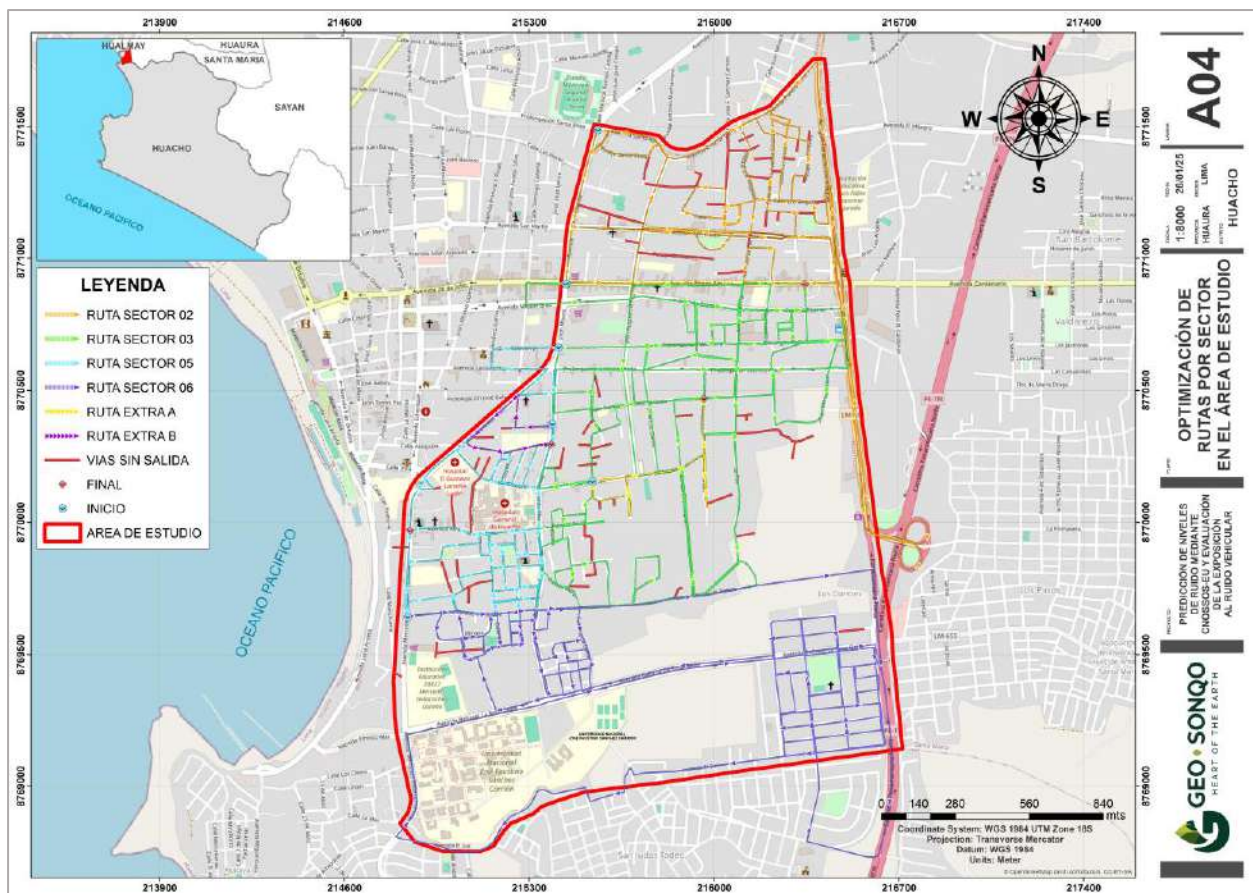


Figura 17. Mapa de rutas optimizadas para actualización de recorrido virtual.

Nota. Elaboración propia, 2025

En cuanto a la elección del receptor, Preda *et al.* (2009) comprobaron la exactitud, repetibilidad y precisión de los receptores GPS en registros de cuatro repeticiones, en días diferentes y en el mismo sector de carretera, utilizando el dispositivo de Garmin GPSmap 60CSx (un registro por segundo) con 1 Hz de velocidad de actualización, concluyendo que este tipo de dispositivos capaces de registrar datos cada segundo es adecuado para los estudios de trayectorias vehiculares con un error máximo estimado de  $\pm 2$  m. Por lo tanto, dado que se priorizan los gastos esenciales para la presente investigación, se utilizó el GPS integrado en una GoPro Max 360, también empleado para el levantamiento del modelo del entorno acústico, el cual, conforme a Turksever (2022), registra un error de 2,02 m respecto a la precisión posicional que se asemeja a la precisión de un receptor GPS de una sola frecuencia (1 Hz). No obstante, los resultados obtenidos en las pruebas efectuadas con la GoPro en el presente estudio indican una velocidad de actualización media de 10 Hz, la cual beneficia a la precisión de los datos extraídos posteriormente, y esto lo sustenta la empresa desarrolladora de varios tipos de equipos de navegación y comunicaciones

FURUNO (2014), mencionando que con esas frecuencias se obtiene capacidades de seguimiento de vehículos más detallados y de mayor resolución.

Posteriormente, los datos de posicionamiento almacenados en la memoria del receptor se extraeron mediante GoPro Telemetry Extractor en el formato *.gpx*, para seguidamente importarse a *gpx.studio*, un editor online de archivos GPX con código abierto que, además de visualizar nuestro recorrido, nos permitió extraer los segmentos de interés y con ellos los datos concernientes a la velocidad media cuando el vehículo estaba en marcha.

Para determinar la velocidad media de los flujos de tráfico en cada segmento y por periodo (diurno, vespertino y nocturno), se aplicó la fórmula utilizada por Covaciu *et al.* (2015).

$$\bar{v} = \frac{\sum_i f_i \cdot v_i}{N} \quad (14)$$

Donde  $\bar{v}$  es la velocidad media,  $f_i$  es la frecuencia de observaciones en el grupo de velocidad  $i$ ,  $v_i$  es el valor medio de velocidad en el grupo  $i$  y  $N$  es el número total de observaciones.

De esa forma, las velocidades medias obtenidas se integran como campos a las polilíneas que representan los segmentos de vía (capa de red vial) así también el IMH y cualquier otra información disponible respecto a los atributos de tráfico vehicular.

### ***Cálculo y modelamiento de las áreas de intersección.***

En el interior de las ciudades, el flujo de tráfico se considera, por lo general, pulsante continuo a causa del elevado número de intersecciones y flujo interrumpido en el caso de calles semaforizadas, en las que el perfil de velocidad varía por las maniobras frenado, parada y arranque (Miyara, 2004). En consecuencia, el ruido generado por estos tipos de tráfico tiene un nivel más alto a velocidades más bajas porque implica una mayor contribución de la cadena cinemática (Covaciu *et al.*, 2015). Para representar esto en el modelo, se debe tener en cuenta que CNOSSOS-EU supone un régimen de circulación estable en las fuentes lineales viarias, es decir vehículos en velocidad constante por cada tramo. Ante ello es que se incorporó el protocolo de aceleración/deceleración según lo dispuesto en la Directiva 2002/49/CE, modificada por la Directiva (UE) 2020/367, y adaptado en España por la Orden PCM/542/2021, que establece factores de corrección adicionales dependientes de la categoría del vehículo, el volumen del tráfico, del tipo de maniobra y de la geometría de la intersección. No obstante, iNoise ofrece una

vía metódica simplificada que requiere solo los polígonos de las *crossing areas* y el software asocia a esa zona un perfil de tráfico corregido de acuerdo a las normas citadas. En cuanto a las dimensiones, el área delimitada debe cubrir la zona de cruce entre vías y la zona de espera/parada de vehículos, el ancho debe coincidir con el de la calzada y carriles implicados y la longitud de la zona de espera/parada extremos será igual a la distancia de frenado que, según Alzallú (2016), se deriva de los factores de velocidad del vehículo, coeficiente de adherencia de los neumáticos ( $\mu_r$ ), la aceleración de la gravedad ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ) y la inclinación de la calzada ( $i$ ). Obviando el factor  $i$  y considerando una calzada plana, la fórmula es la siguiente:

$$D_f = \frac{V^2}{2 \cdot g \cdot \mu_r} \quad (15)$$

Además de ello, se tomó en cuenta que se trata de un pavimento seco y en óptimas condiciones con un coeficiente de adherencia medio de 0,65, ajustando la unidad de medida de  $g \text{ (m/s}^2\text{)}$  a  $\text{km/h}^2$  para poder operar con la velocidad promedio, lo que deriva en una constante en el denominador que equivale a 170,19072. Así, dividiendo la velocidad media en cada segmento elevada al cuadrado entre 170, obtenemos un cálculo aproximado en metros de la distancia de frenado.

Es importante señalar que ensayos experimentales han mostrado que, en algunos casos, el método con esta corrección puede sobreestimar hasta en 1,5 dB(A) respecto a mediciones reales, motivo por el cual en este estudio se documenta su aplicación explícita.

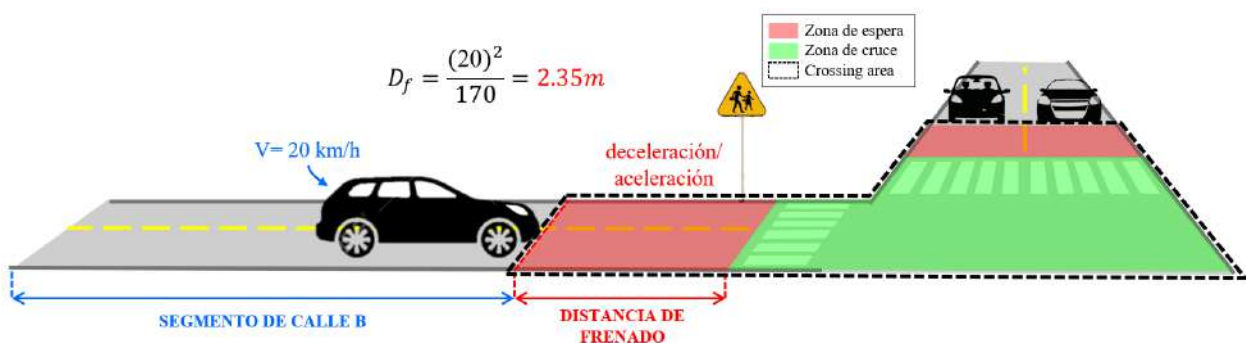


Figura 18. Cálculo de la distancia considerada para frenado y Crossing area.

Nota. Elaboración propia, 2025

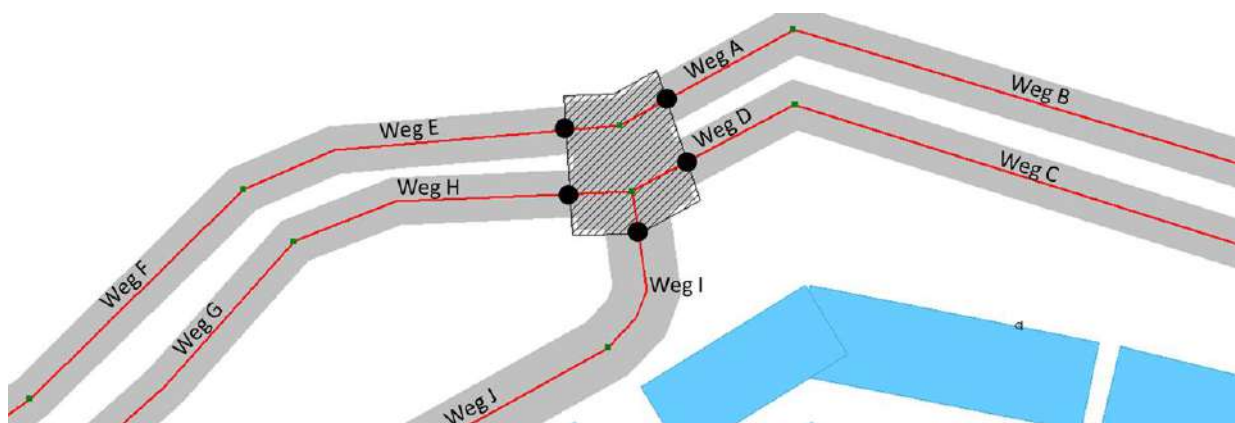


Figura 19. Inserción de área en intersecciones y usos de suelo.

Nota. Elaboración propia, 2025.

### ***Observación Directa para Identificación de Tipo de Pavimento.***

La base de datos vigente de CNOSSOS-EU contiene una tabla de 14 coeficientes de pavimento (Tabla 18) basada en el modelo de cálculo de carreteras neerlandés (véase la Directiva (UE) 2015/996-CE; L 168/125-128). Aunque no se obtuvo la información directa de la Municipalidad respecto al tipo de asfalto utilizado, en la Resolución Directoral Sectorial N° 0254-2018-GRL-GRDE-DRA aprobada por el GOREL (19 de Octubre de 2018) aprueba el expediente técnico del proyecto “Mejoramiento de pistas y veredas en el sector Amay del distrito de Huacho, Provincia de Huaura-Lima”, y especifica que la carpeta asfáltica sea de mezcla bituminosa en caliente de 1 ¼” de espesor, dato que, para la presente investigación, se tomará como referencia de material de revestimiento predominante en la ciudad de Huacho, el cual es el tipo de firme más parecido con la clasificación NL05, que en la guía de MITECO y CEDEX (2025) se describe como mezcla bituminosa en caliente con árido de máximo 8 mm. Por lo tanto, para el presente análisis, se consideró apropiado aplicar NL05 para identificar aquellos segmentos de vía que se encuentran pavimentadas al momento del AVM y NL09 (superficie estabilizada) para las calles sin asfalto.

### ***Asignación Automática de Pendientes Viales mediante MDE.***

Debido a la relevancia de la pendiente como *input* para el modelo CNOSSOS-EU, antes puntualizada en el capítulo dos, Anghel *et al.* (2009) plantean que la pendiente de cada segmento de calle puede determinarse utilizando los dispositivos GPS; empero, también es posible emplear el modelo digital de elevación (MDE), si no hay diferencias significativas entre la altitud de la superficie de la carretera y el terreno circundante. Por tanto, y dado que el software de simulación

iNoise permite el cálculo de esta de manera automática, en el presente estudio se consideró la recomendación del MITECO y CEDEX (2025) para atribuirle los datos de pendiente a los segmentos de calle mediante el MDE.

### **3.3.2 Técnicas para Recolección de Atributos del Entorno Acústico.**

#### ***Generación de curvas de nivel a partir del MDE de ALOS PALSAR.***

Como primer input del entorno acústico, se consiguió el Modelo Digital de Elevación (MDE) del Centro de Archivo Activo Distribuido (DAAC) de la Instalación Satelital de Alaska (ASF) propio de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio de Estados Unidos (NASA) a través del proyecto ALOS PALSAR (accesible desde [search.asf.alaska.edu/#/](http://search.asf.alaska.edu/#/)), el cual incorpora un sensor de microondas activo que opera en la banda L y permite obtener imágenes terrestres sin interferencia de nubosidad, tanto en horario diurno como nocturno, lo cual hizo posible un análisis geoespacial con una resolución de 12.5 metros en formato .tif (JAXA EORC, 2014), la cual es la más alta en relación con otras fuentes de acceso gratuito. Seguidamente, este se integró a Arcgis Pro para generar las curvas de nivel a una misma resolución con la herramienta “Contour” y “Smooth line” a 50 metros para suavizar los contornos.

#### ***Vectorización de Edificaciones.***

Para elaborar la capa *buildings*, se obtuvo la cartografía catastral local 2D en formato .dwg comprimida en un archivo RAR y facilitada por la oficina de catastro de la comuna municipal, quienes especificaron que su última actualización data del año 2018. De dicho archivo se extrajeron las capas de interés conformadas por las polilíneas cerradas que representan a las edificaciones, incluyendo también la capa de áreas verdes y la capa de puntos del N° de manzana por sector de interés. Seguidamente y posterior depuración de las demás capas, se exportó el proyecto en formato .DXF para su fácil lectura al importarse en Qgis versión 3.42.0 desde la herramienta “Importación DWG/DXF” que se empaquetan automáticamente en un GeoPackage haciendo más accesible la creación y exportación del proyecto en formato shapefile al software de geoprociamiento ArcGis Pro versión 3.4.0. Desafortunadamente, tras la revisión de los elementos vectoriales y metadatos, se evidencia la desactualización y desfase al contrastarse con imágenes satelitales propios del software SIG, del mismo modo, no se encuentra la información de altura de cada edificio, tampoco el uso designado de esta, es decir, si se trata de un edificio comercial,

institución médica o educativa, residencial o industrial, menos aún el número de habitantes y viviendas en el caso de los edificios residenciales. Ante esta deficiencia, se plantearon las siguientes técnicas que permitirán compensarla.

A fin de complementar las edificaciones que no se contemplaron en la última actualización del catastro urbano y corregir los polígonos desfasados, se descargaron imágenes satelitales de alta resolución con un nivel de z23 en formato *.TIFF* automáticamente proyectadas en el sistema de coordenadas WGS84/UTM zona 18S con código EPSG:32718, mediante el programa gratuito ruso SASPlanet versión 250505.10764, para enseguida importarse en ArcGIS Pro como archivo ráster. Además, se refleja la importancia de mantener una codificación para los elementos de *Buildings*, por lo tanto, se estableció en función al ID único de cada polígono, al número de manzana y al sector urbano al que pertenece.

Por otro lado, Covaciu *et al.* (2015) manifiesta que la información faltante puede compensarse obteniendo detalles superiores en los recorridos virtuales tridimensionales (3D) del servicio de Google Maps. No obstante, estas últimas fueron actualizadas hace doce años en la ciudad de Huacho, por lo que no constituyen la situación del área de estudio en el presente, con ella la cantidad de plantas en edificaciones actuales ni los establecimientos comerciales, de educación y de salud recientes.

Por tal motivo, para obtener datos de primer nivel, se actualizó el *street view* del área de investigación. El método consistió en el uso de una cámara 360 con GPS incorporado que permita grabar videos con formato audiovisual, captando imágenes con una vista panorámica completa mientras recopila información de posición y tiempo. El equipo a emplearse es una GoPro Max 360, la cual es compatible según el listado con las sugerencias brindadas por el soporte de Google Maps (disponible en [support.google.com/maps](https://support.google.com/maps)), adaptando el sistema de soporte en dos vehículos (un automóvil para recorridos largos en vías amplias y una moto *autorickshaw* para vías angostas) montados fijamente en la parte superior de cada uno, de modo que la cámara se ubique en la altura máxima posible en posición vertical para que de esa forma en la vista previa de la imagen 360° captada, se observe que el vehículo ocupa menos del 25%. Los datos se registraron conduciendo por las vías comprendidas en el área de estudio dentro del periodo horario de 08:00 am a 05:00 pm, evitando que la incandescencia afecte a las tomas audiovisuales.

Para optimizar el tiempo de conducción y consumo de combustible, se diseñó un plan de rutas mediante el aplicativo móvil Routin en su versión 4.5.4, desarrollado por Routin Inc., indexando los *layers* individuales de cada sector junto con los puntos de intersección vial en lugar de paradas. Sin embargo, las rutas entregadas por el aplicativo no cubrían la totalidad de los segmentos de calle y en algunas situaciones sugerían transitar en sentido contrario a las vías, por lo que fue necesaria su optimización en Google Earth y de esa forma se obtuvieron las rutas optimizadas por sector (Figura 17) con un recorrido total de 98.39 kilómetros.

Los videos obtenidos por la GoPro Max se almacenan en su propia memoria interna en formato .360 con una duración máxima de 08:02 minutos (configuración de fábrica) y un peso por video de dos gigabytes (GB), razón por la cual fue de necesidad contar con un computador portátil junto a un disco externo de al menos 1 terabyte (TB) de almacenamiento disponible donde transferir los archivos mediante conexión USB cada vez que la memoria de la cámara se saturaba.

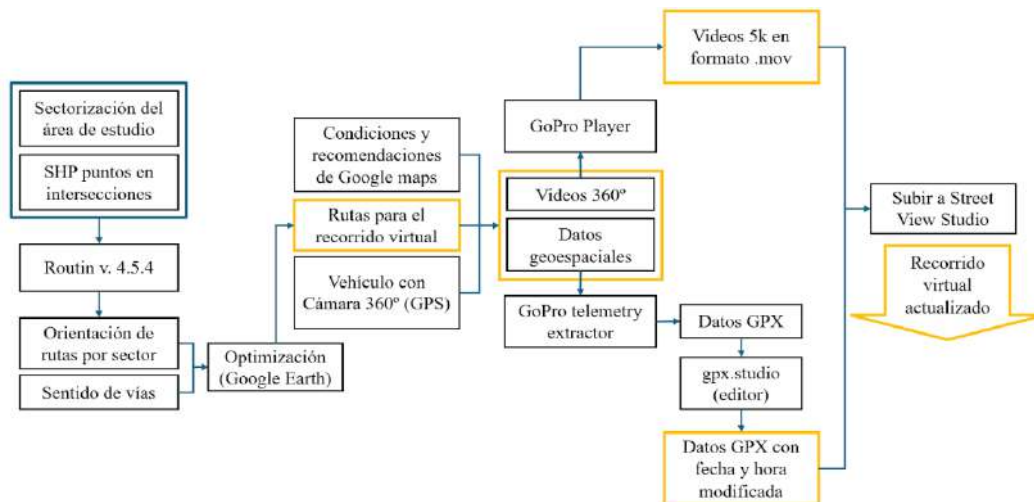


Figura 20. Flujo metodológico para actualización de Street View.

Nota. Elaboración propia, 2025

Posteriormente, la información audiovisual fue extraída en formato .mov y con una resolución de 5k por medio del software GoPro Player versión 3.0.0.0 disponible en Microsoft Store. Respecto a los datos del GPS, se obtuvieron en la extensión .gpx mediante GoPro Telemetry Extractor; no obstante, la fecha y hora de los archivos geoespaciales no coincidían con los videos antes exportados, debiendo su causa a que las grabaciones audiovisuales se codificaban con los datos temporales de exportación, más no del registro en campo, como sí ocurría con la información del GPS. En consecuencia, la línea de tiempo de estos últimos fue corregida en la plataforma de GPX.Studio (disponible en <https://gpx.studio/es>). Finalmente, la información, tanto audiovisual

como de posicionamiento geoespacial, se cargó a la nube de Google StreetView Studio para su procesamiento y publicación después de una semana aproximadamente (Figura 21).

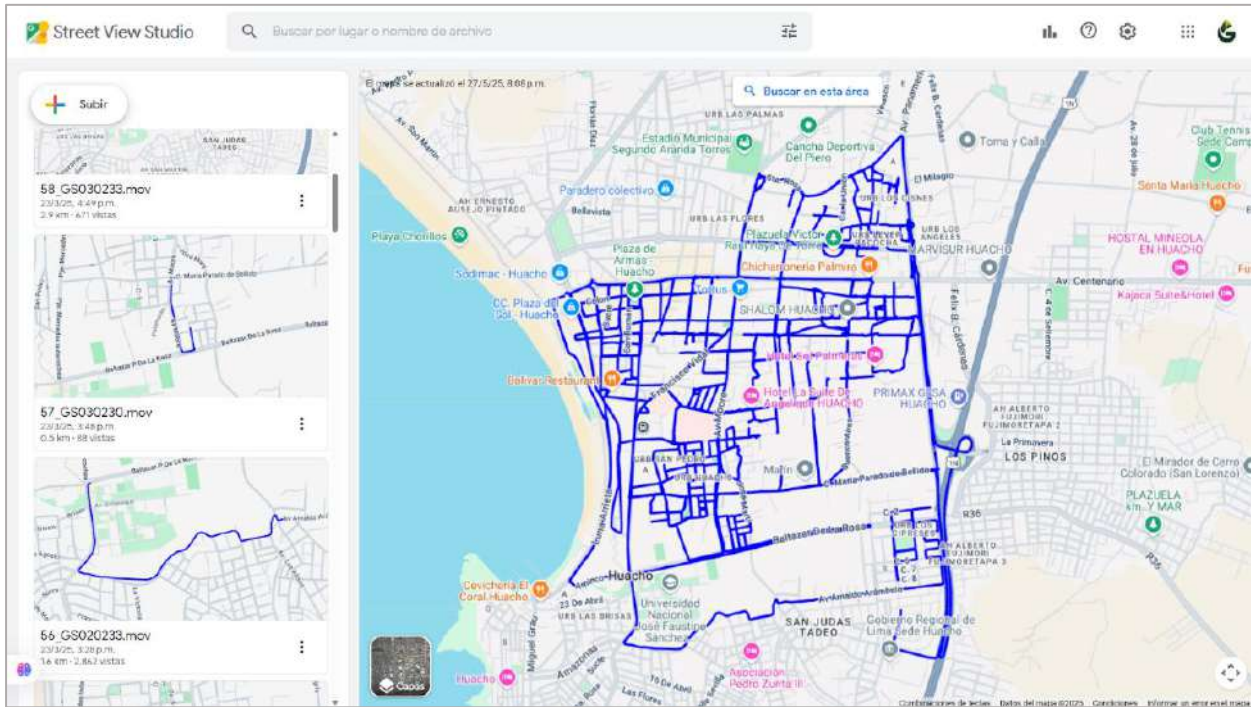


Figura 21. Importación de Recorrido virtual actualizado en el área de interés.

Nota. Elaboración propia, 2025

Las nuevas vistas actualizadas del recorrido virtual de Google Maps permitieron una vectorización más completa de aquellas edificaciones presentes en el entorno real que no estaban incorporadas en la cartografía oficial, además de obtener datos de la altura aproximada y facilitar la labor de identificar los distintos establecimientos según su función.

### ***Asignación de uso designado a edificaciones.***

Con respecto al uso de edificios, en primera instancia se atribuyó una clasificación que coincide con los usos definidos en la zonificación del PDU 2014-2022. Sin embargo, MITECO y CEDEX (2025) sostienen que esta práctica no garantiza que el uso real de las edificaciones corresponda con la zona acústica en la que se encuentran, debido a que la zonificación se establece a una escala más general que la de los usos individuales. Como ejemplo, pueden identificarse edificaciones comerciales dentro de áreas acústicamente clasificadas como residenciales, o viceversa. Por tal motivo y en segunda instancia, cada polígono se reclasificó de acuerdo a su función observable, es decir, “residencial” para viviendas, hospedajes y hoteles; “comercial” para establecimiento

netamente de actividades comerciales, edificio de oficinas, farmacias; “mixto” para aquellos que disponen de las primeras plantas como uso comercial y las restantes como viviendas; “educación” para establecimientos donde funcionen nidos, cunas, colegios, academias, institutos y universidades; “salud” para clínicas, hospitales y consultorios “industrial” para establecimientos que realicen manufacturación o usen maquinaria industrial; “religión” para congregaciones, parroquias y catedrales; “desconocido” para las edificaciones sin identificación.

Con el fin de agilizar el proceso, se identificaron las edificaciones de tipo “educación” en función a la información espacial del Ministerio de Educación (MINEDU, disponible en [sigmed.minedu.gob.pe/descargas/](http://sigmed.minedu.gob.pe/descargas/)) que contienen datos de ubicación de las instituciones educativas a nivel nacional. Del mismo modo, para ubicar e identificar edificaciones de tipo “salud”, se empearon datos de establecimientos de salud obtenidos del geoportal GeoPerú (disponible en [visor.geoperu.gob.pe/](http://visor.geoperu.gob.pe/)); y para el resto de edificaciones con uso distinto, la clasificación se asignó en función a lo observado en el *Street View*.

#### ***Asignación de tipo de vivienda a edificaciones residenciales.***

La información catastral sobre el uso de edificaciones residenciales fue solicitada formalmente a la Oficina de Catastro Urbano de la MPH en el marco de la Ley N° 27806, Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado mediante Decreto Supremo N° 021-2019-JUS siendo registrado con N° Expediente 791662. Sin embargo, dicha información no fue proporcionada debido a su carácter sensible sustentado mediante carta N°389-2025-LDT-OSG/MPH (Anexo 24) y ante esta limitación, para efectos de la estimación de la población expuesta al ruido vehicular, se clasificaron las edificaciones residenciales en dos categorías: unifamiliares y multifamiliares, en función de su número de plantas; es decir, aquellas edificaciones identificadas con una sola planta fueron consideradas como viviendas unifamiliares, mientras que las que cuentan con dos o más plantas se asignaron a la categoría multifamiliar. Asimismo, en el caso de las edificaciones con uso mixto (comercial en las plantas bajas y residencial en las superiores), se consideraron dentro de la tipología residencial, asignando el valor correspondiente según el número de plantas; y por otro lado, las edificaciones con un uso distinto al residencial o mixto fueron registradas con la categoría “ninguno”, a fin de excluirlas de los cálculos de exposición poblacional.

### ***Asignación de altura a edificaciones***

En cuanto a la altura de edificaciones, se determinó en función del número de plantas por edificación, considerando 3 metros como altura estándar por planta conforme al PDU local (MPH, 07 de Marzo de 2014) basado en el Reglamento Nacional de Edificaciones, ejecutando la siguiente línea de expresión desde el campo “Altura” en ArcGIS Pro:

$$Altura = 'Pisos' * 3 \quad (16)$$

En el caso de edificaciones de tipo mixto, se asignó un nuevo campo denominado “Piso\_C” que almacenará la información del número de plantas con clasificación “comercial” ya que para estimar el número de habitantes se requiere conocer la cantidad total de pisos con uso residencial. Cabe resaltar que esta práctica no afecta a la asignación de alturas.

### ***Estimación de Habitantes en edificios por Factor de Superficie Útil.***

Para estimar el efecto del ruido sobre la población, también es necesario conocer el número de habitantes y la cantidad de viviendas de cada edificio residencial y mixto. En relación a ello, Anghel *et al.* (2009) sostienen que usualmente la cartografía catastral elaborada por la comuna municipal dispone de un atributo con dicha información existente en cada edificación dentro del ámbito local. No obstante, en este contexto no se dispone de ellas y ante ello conviene estimar únicamente la cantidad de habitantes por edificio (MITECO y CEDEX, 2025). Por tanto, y en línea con la Guía técnica de CNOSSOS-EU, aquel dato se calculó dividiendo la superficie útil por entidad entre la superficie útil media por habitante, que según el PDU es de 550 *hab/há* (MPH, 07 de Marzo de 2014). En vista de que se desconoce la superficie útil para el área de estudio, se empleó un factor de 0,8 para su cálculo en función de la superficie total del edificio (WG-AEN, 2006). De esa forma, a modo de ejemplo, un edificio de 200 m<sup>2</sup> de superficie total tendría una superficie útil de 160 m<sup>2</sup>. Este procedimiento dará como resultado el número de habitantes de ese edificio, redondeado al valor entero más próximo. Para Aplicarlo en ArcGIS Pro, desde el campo de uso designado se seleccionará por atributos aquellos elementos iguales a residencial y mixto.

$$Designated = 'residencial' \text{ Or } Designated = 'mixto' \quad (17)$$

Con esa selección y desde un nuevo campo denominado “habitantes” de tipo numérico entero, se apertura la *Calculate Field* para ejecutar la siguiente línea con la expresión de Python activada.

$$\# \text{ Habitantes} = \text{!area!} * (\text{!Pisos!} - \text{!Pisos\_C!}) * 0.8 * 0.055 \quad (18)$$

### ***Creación de Address point para asignación de habitantes.***

Para la aplicación del método CNOSSOS-EU, es necesario vincular la exposición al ruido con la población residente y para ello se creó una capa con elemento de punto denominada “*Address\_points*” a partir de los polígonos de edificaciones de tipo residencial y mixto previamente clasificados y ubicados en el centroide geométrico de cada edificación, que representa de manera simplificada la localización de las viviendas dentro de las edificaciones y además, mantiene los mismos atributos de la capa de origen incluyendo el campo con el número de habitantes.

### ***Revisión Documentaria de Condiciones Atmosféricas.***

Teniendo en cuenta que las emisiones de ruido de rodadura dependen de la temperatura de la superficie viaria, ya que esta afecta la rigidez del pavimento y el comportamiento neumático–asfalto, se parametrizó la temperatura media anual del área de estudio con un valor de 19,2 °C, según estadísticas recopilados de la infraestructura de datos espaciales del SENAMHI (disponible en [idesepe.senamhi.gob.pe/geovisoridesepe](http://idesepe.senamhi.gob.pe/geovisoridesepe)). Por otra parte, para la propagación acústica y la atenuación en el aire, se parametrizó la absorción atmosférica siguiendo la ISO 9613-1, con T = 19,2 °C, HR = 80 % y P = 101,3 kPa, condiciones medias anuales que caracterizan el clima costero húmedo de la zona de estudio.

En cuanto a la corrección meteorológica, dicha se configuró siguiendo el esquema del método CNOSSOS-EU, ajustando los porcentajes de tiempo con condiciones favorables a la propagación según la rosa de vientos anual de Huacho elaborada con el modelo ERA5T (*Figura 22*) y recuperada del servicio de datos meteorológico y climáticos de Meteoblue AG con certificación de la ISO 9001:2015 con código CH12323283. Dada la clara dominancia de vientos del Sur y Sur-Suroeste (180°–220°), se incrementó la proporción de tiempo con condiciones favorables de propagación a 70 % en día, 90 % en tarde y 100 % en noche en dichos sectores; por otro lado, los sectores adyacentes, principalmente SW (220°–240°), recibieron valores intermedios (60/80/100 %), mientras que en el resto de direcciones, con frecuencia de ocurrencia marginal (<5 %), se mantuvieron los valores de referencia de CNOSSOS-EU (50/75/100 %, Tabla 16).

## Huacho

11.12°S, 77.61°W (75 m snm).  
Modelo: ERA5T.

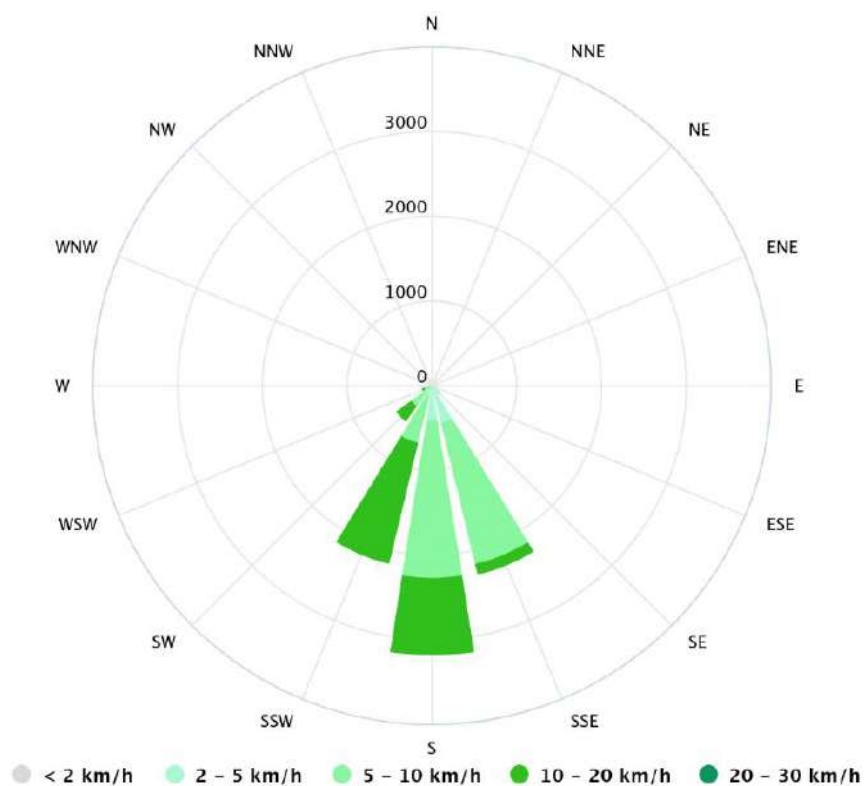


Figura 22. Rosa de viento anual de Huacho por el modelo ERA5T.

Nota. Recuperado de Meteoblue AG, 2025.

### Tabla 16

Corrección meteorológica por periodo para el área de estudio.

Sector (°)	Día (%)	Tarde (%)	Noche (%)	Justificación
180–200 (S)	65	85	100	Alta frecuencia de vientos del Sur
200–220 (SSW)	70	90	100	Máxima dominancia anual
220–240 (SW)	60	80	100	Sector secundario relevante
240–260 (WSW)	55	78	100	Apoyo secundario
260–280 (W)	50	75	100	Menor frecuencia
Otros (<5%)	50	75	100	Sectores con ocurrencia marginal

Nota. Elaboración propia, 2025.

### ***Clasificación del Suelo y Asignación de Coeficientes de Absorción Acústica.***

Por último, cabe señalar que dentro del área de estudio predominan las superficies duras como el asfalto y el concreto. De acuerdo con Ramírez y Domínguez (2011), este tipo de superficie refleja las ondas sonoras, a diferencia de las superficies blandas que lo absorben, por mencionar algunas, la hojarasca, el césped y áreas de cultivo. Por tanto a fin de representar diferenciadamente la heterogeneidad del entorno acústico y su influencia en la atenuación del sonido, la absorción sonora del suelo global se representó mediante el coeficiente adimensional  $G=0$  perteneciente al tipo de suelo G, descritas por MITECO y CEDEX (2025) en la Tabla 12 como superficies duras (hormigón y asfaltado convencional).

Sin embargo, las zonas correspondientes a parques, áreas de terreno sin superficie como en el caso del cono sur, también se integraron en el modelo, clasificándolas como tipo de suelo E, descrito como terreno compactado y grava (césped compactado y zonas de parques) asignándole un coeficiente de absorción acústica de  $G = 0,7$ . Asimismo, las superficies para producción de cultivo se catalogaron como tipo de suelo C, descrito como suelo blando no compacto (césped, hierba o suelo mullido) asignándole un coeficiente de absorción acústica de  $G = 1$ .

### ***Validación por Juicio de Expertos del Instrumento de Campo.***

Para garantizar la validez de contenido del instrumento “Formato Técnico de Recolección de Datos – EAM”, se realizó su evaluación mediante juicio de expertos (Anexo 21). Este proceso se llevó a cabo por un panel de profesionales titulados en Ingeniería Ambiental, debidamente colegiados y con experiencia en gestión ambiental, monitoreo de ruido o modelización acústica ambiental; dando prioridad a los evaluadores vinculados a la línea de investigación del control del impacto ambiental, la contaminación acústica o la calidad ambiental urbana y que hayan participado en proyectos o estudios relacionados. La validación tuvo como objetivo determinar en base a criterios, la claridad, pertinencia y coherencia técnica del instrumento, que garanticen su adecuada aplicabilidad en campo para la recopilación de los datos necesarios para la modelización acústica utilizando CNOSSOS-EU.

### **3.4 Técnicas para el Procesamiento de la Información**

#### **3.4.1 Elección del Software de Modelamiento.**

Existen varios paquetes de software comerciales para la predicción del ruido del tráfico con el modelo CNOSSOS-EU, entre ellos CadnaA (Datakustik, Alemania), Sound Plan (Reino Unido), IMMI (Wölfel), Mithra-SIG (CSTB), NovaPoint (Vianova Systems), Predictor-LIMA (ByK, Dinamarca) e iNoise (DGMR, Países Bajos).

El criterio de elección consideró los requisitos previos para un modelo eficiente, tal como señalan con Kephelopuolos *et al.* (2014) refiriéndose a la exactitud, la precisión, la alta velocidad de cálculo y la flexibilidad del programa y la capacidad para generar mapas de ruido con la metodología CNOSSOS-UE; asimismo, se evaluó la disponibilidad de acceso a las licencias de software. Bajo estas consideraciones, se eligió a iNoise, desarrollado por DGMR Software B.V., en su versión 2024.3 dado que la empresa facilitó una licencia corporativa gratuita (company license) más el complemento CNOSSOS-EU (disponible en [shop.dgmr.nl/862/purl-inoise](http://shop.dgmr.nl/862/purl-inoise)) lo que permitió implementar y configurar el modelo sin limitaciones de acceso. Esta condición favorable junto a la robustez técnica del software resulta adecuada para estimar los niveles sonoros de tráfico desde las carreteras hasta los puntos receptores en fachadas de edificios y posterior cálculo de la exposición poblacional. Es así que los siguientes títulos describen el funcionamiento y configuración del programa de acuerdo con los objetivos de la presente investigación.

#### **3.4.2 Predicción de los Niveles de Ruido del Tráfico Vehicular.**

##### ***Preparación e Importación del Mapa Base.***

Para empezar, las capas de los dos bloques que conforman el *Base Map* fueron importadas en iNoise como archivos de formato shapefile manteniendo activada las opciones “importar todos los registros del archivo al modelo” y “alturas relativas para los elementos”; a su vez, a cada *layer* se le asignó una clase de objeto acústico en el software en función al contenido (*Figura 23*) y seguidamente se asociaron los campos del archivo importado a un campo del tipo de elemento seleccionado.

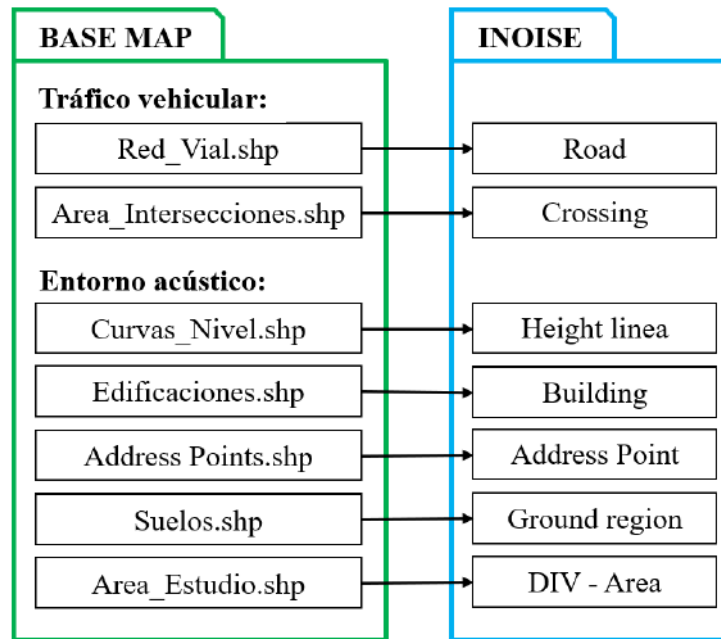


Figura 23. Asignación de tipo de elemento en iNoise en función al contenido.

Nota. Elaboración propia, 2025.

Posteriormente y de acuerdo con Anghel *et al.* (2009), se realizaron algunas comprobaciones para garantizar la consistencia geométrica y la eficiencia del modelo, como el cierre correcto de polígonos (especialmente en el caso de los edificios), detección y eliminación de duplicados o superposiciones, enlace entre geometrías para evitar huecos que interrumpan la propagación y suavizado de polígonos complejos para reducir el número de vértices y acelerar los cálculos.

### ***Generación de grillas de cálculo para contorno de niveles de ruido.***

Debido a que asignar el tamaño de la cuadrícula de cálculo (mallado) por encima de los 10 metros de separación entre los puntos de contorno puede generar márgenes de error considerablemente altos en zonas cercanas a las fuentes de ruido de hasta 10 dB(A) de diferencia en las isófonas más altas (MITECO y CEDEX, 2025), se empleó una resolución de 5 metros entre puntos de cálculo (*contour points*). Así mismo, los receptores de la grilla fueron ubicados a dos alturas, el primero a 4 m sobre el nivel del suelo, conforme a la metodología CNOSSOS-EU para la elaboración de MER, y el segundo a 1.5 m, representativa de la altura del oído humano en entornos residenciales de una planta y coherente con los criterios de evaluación del ECA para Ruido, lo que permite contrastar los resultados obtenidos con los estándares europeos y la

normativa peruana (Figura 24). En ambos casos, el área de cálculo coincidirá con el polígono que delimita el DIV-Área de la aglomeración o área de estudio.

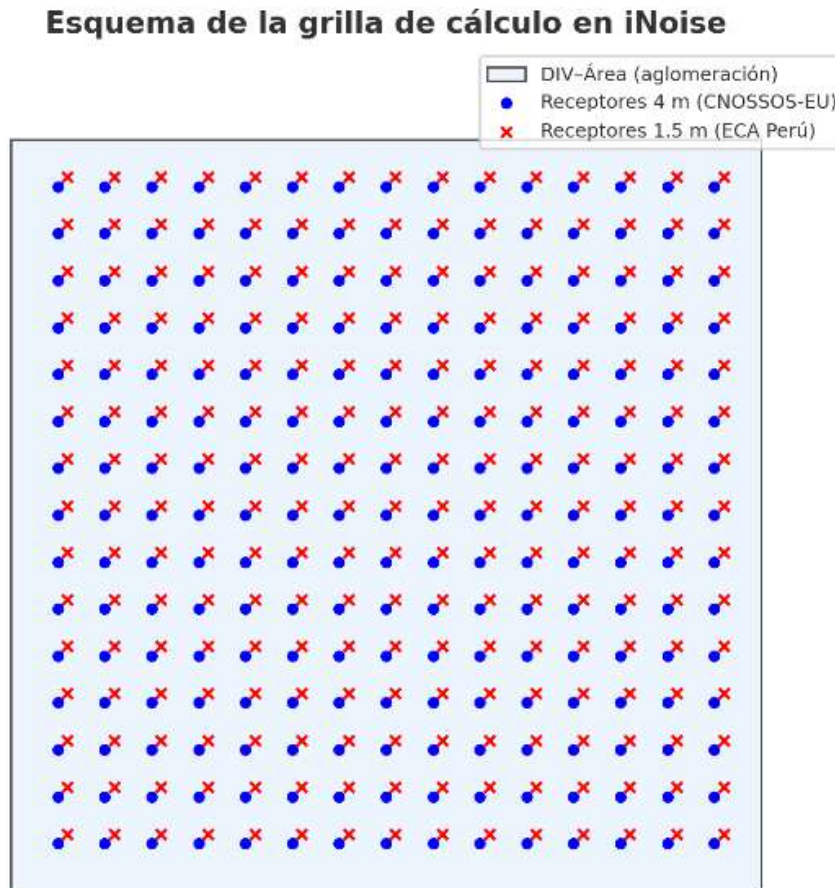


Figura 24. Esquema de la grilla de cálculo en iNoise a dos alturas (4 m y 1.5 m).

Nota. Elaboración propia, 2025.

### ***Generación de Receptores en Fachadas de Edificaciones Residenciales.***

Para estimar el número de habitantes expuestos al ruido vehicular, se generaron receptores en las fachadas de edificaciones con uso residencial y mixto, por lo que inicialmente fue necesario diferenciarlos de otros usos clasificados en el campo “*designated use*” de la capa Building empleando simbología temática para facilitar su verificación. Luego, se seleccionó únicamente aquellos edificios residenciales dentro del polígono *DIV - Área* para posteriormente aplicar la herramienta *Edit » Batch Create Items » Receivers at Facades* de iNoise.

Siguiendo lo descrito por Hartog (2021), para el cálculo de receptores en fachada, se considera únicamente el sonido incidente, sin incluir el reflejado en la propia fachada, debido a

que en los mapas de ruido estratégico se representan los niveles de inmisión o incidente. Por este motivo, se mantuvo la opción seleccionada “*Link to facade*”; además de los puntos receptores, ubicados a 0,1 metros delante de cada fachada residencial y a una altura de 4 metros, en conformidad con la metodología CNOSSOS-EU y la Directiva (UE) 2015/996, y el segundo a 1,5 metros de altura, representativo de la exposición real en viviendas unifamiliares de una planta y coherente con los criterios del ECA para Ruido que establecen la altura estándar para realizar las mediciones con sonómetro (Figura 26). Asimismo, en cuanto a la metodología de discretización de las fachadas, se adoptó del caso 1 que, según la Directiva (UE) 2015/996, divide las fachadas en intervalos regulares lo que garantiza una representación homogénea de la exposición sonora (Figura 25).

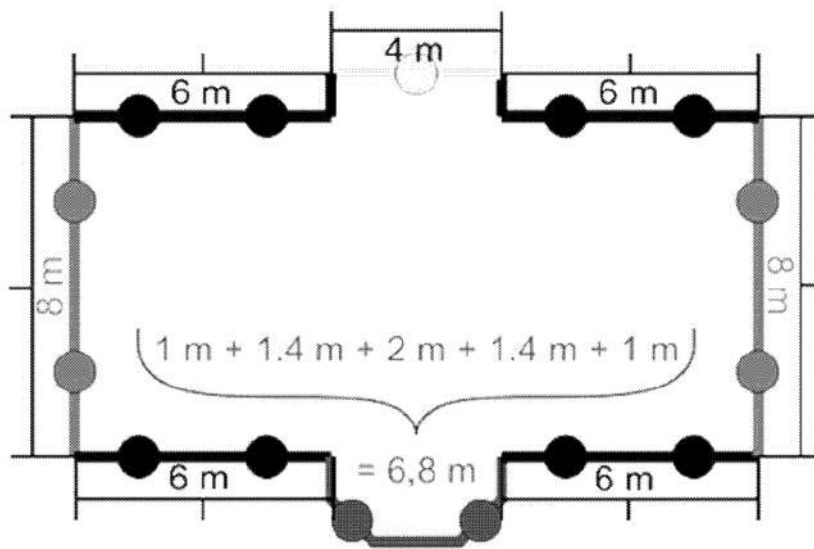


Figura 25. Ejemplo de ubicación de receivers alrededor de un edificio - CASO 1.

Nota. Obtenido de Directiva (UE) 2015/ 996 de la Comisión, 2015.

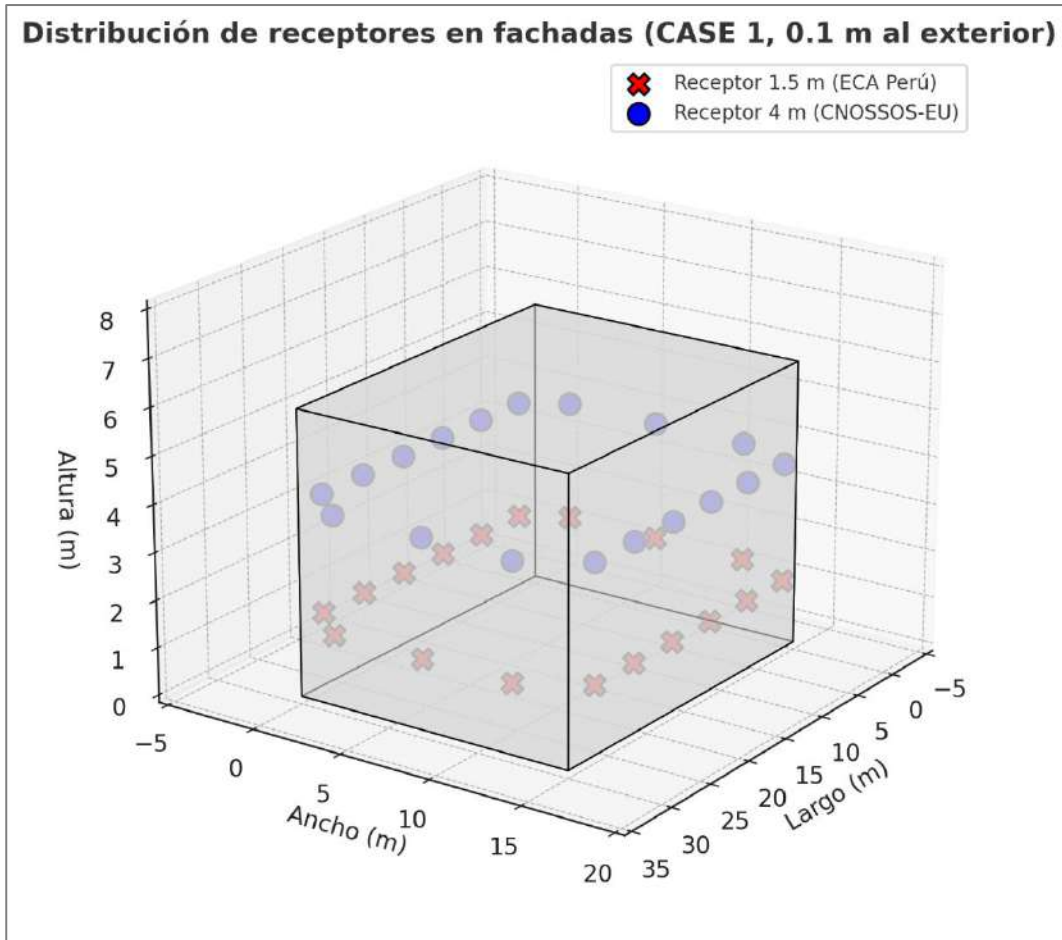


Figura 26. Distribución de receptores en fachadas a 2 alturas (4 y 1.5 m).

Nota. Elaboración propia, 2025.

Para posterior análisis, Covaciu *et al.* (2015), señala que la fachada de un edificio se considera expuesta si se trata del lado que da directamente a una carretera y, de mismo modo, se considera tranquila si su nivel de ruido es 20 dB inferior al de la fachada expuesta del mismo edificio.

**Configuración de Parámetros de Cálculo.**

A fin de asegurar que la configuración de cálculo del modelo sea la correcta, Hartog (2021) señala que una configuración importante es el radio de alcance (*fetching radius*), que es la distancia en metros alrededor de un *receiver point* o un *contour point* que precisa hasta dónde se calcularán las fuentes y se incluirán los objetos dentro del radio. Además, Manvell D., sostiene una idea similar mencionando que “Conviene considerar ajustes de optimización, como la reducción del radio de alcance, la distancia máxima al reflector y la segmentación de la fuente, aunque es difícil ofrecer una guía sobre estos ajustes, ya que se basan en muchos factores” (comunicación personal,

2025). Por lo tanto, para la configuración, suele ser recomendable realizar primero los cálculos con varios ajustes en unos pocos puntos del receptor y, a continuación, comprobar el impacto de los ajustes en los resultados. Es así que, se consideró un radio de alcance de 500 m, una distancia máxima al reflector de 30 m, una segmentación de la fuente con una longitud máxima de segmento de 10 m, un factor de distancia a la longitud de 2 y una profundidad máxima del obstáculo de 3 m.

Adicionalmente, se establecieron los parámetros meteorológicos necesarios para la corrección de la absorción atmosférica en cada banda de octava (temperatura [19.2 °C], humedad relativa [80 %] y presión atmosférica [101.3 kPa]) antes señalado en el título 0. Si bien la ISO 9613-2 establece que las condiciones atmosféricas no necesariamente deben ser las mismas para el emisor y receptor, Gonzáles *et al.* (2011) señalan que esta diferencia solo adquiere relevancia a grandes distancias de propagación, motivo por el cual se aplicó una parametrización para los cálculos de carretera idéntico al entorno acústico ya que se trata de una fuente presente en toda el área a calcular.

#### ***Creación de Mosaicos de Cálculo.***

En modelos de aglomeración, el área de cálculo suele ser extenso, lo que explica el largo tiempo de cálculo; por ello, a fin de reducir la carga computacional y optimizar este proceso, se empleó una segmentación espacial basada en mosaicos (Tiles) de 1000 metros de lado, la cual divide el modelo en submodelos de menor extensión, y se añadió un buffer de 500 metros asegurando que las fuentes de ruido externas al tile principal también se incluyan en el cálculo. En iNoise este proceso se realiza desde la herramienta *Model » Tile Model*, guardando los teselados creados como nuevos modelos que se calcularán por separado manteniendo la misma configuración de cálculo del modelo principal, para posteriormente importar los resultados al modelo.

#### ***Asignación de escala de color.***

El resultado final del cálculo es el mapa de ruido contorneado, que representa la compleja información espacial de las isófonas de forma clara y sencilla, con intervalos normalizados de 5 dB(A) según la escala estándar CNOSSOS-EU, lo que garantiza la comparabilidad internacional de los resultados con los ECA para Ruido (Figura 27). Además, los niveles equivalentes de ruido diurno (L<sub>day</sub>), vespertino (L<sub>evening</sub>) y nocturno (L<sub>night</sub>) junto con el indicador compuesto L<sub>den</sub>

se calcularon tanto para los puntos de la cuadrícula de cálculo como para los receptores en fachada de las edificaciones residenciales, cuyos valores quedarán disponibles en la tabla de resultados para su posterior análisis de exposición poblacional.

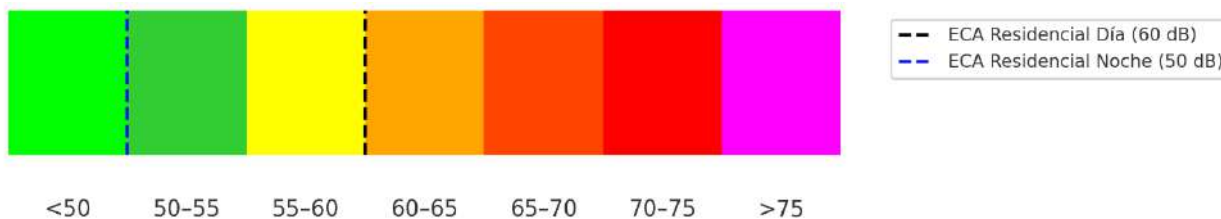


Figura 27. Escala estándar CNOSSOS-EU con referencia al ECA Ruido (Perú).

Nota. Elaboración propia, 2025.

### 3.4.3 Técnicas para Contrastación del Modelo con Mediciones Directas.

Antes de generar las estadísticas de exposición de la población residente y con el fin de comprobar la precisión y consistencia del modelo CNOSSOS-EU aplicado en contexto urbano de Huacho, se desarrolló una etapa de contrastación comparativa entre los niveles de ruido simulados y los NPS Continuo Equivalente Ponderado en A ( $L_{AeqT}$ ) medidos en el periodo diurno provenientes de dos fuentes secundarias, por un lado la campaña de monitoreo realizada por Pantoja (2024), efectuada con un sonómetro de Clase 2 en la Urb. Los Cipreses (5 puntos), y la campaña realizada por la Gerencia de Gestión Ambiental de la MPH para el primer reporte trimestral del PLANEFA (2025), ejecutada con un sonómetro de Clase 1 en 27 puntos de monitoreo distribuidos dentro del casco urbano, dado que en esta investigación no se contó con un sonómetro para realizar mediciones directas in situ. Para posibilitar esta comparación, se ejecutó un cálculo adicional a una altura de 1,5 m sobre el nivel del suelo, correspondiente a la altura estándar de medición utilizada en el PLANEFA, manteniendo la coherencia metodológica con el escenario de cálculo normativo a 4,0 m, establecido por la Directiva 2002/49/CE, la UE 2015/996, y la NTP ISO 1996-2:2021.

#### *Conversión Logarítmica Lineal de NPS.*

Dado que la escala de decibelios es sólo una relación logarítmica de la presión sonora, la agregación directa de dos valores cualesquiera sería errónea. Por ello, todos los valores en dB se convirtieron primero a sus valores de intensidad originales mediante la expresión siguiente.

$$\text{Intensidad Sonora} = 10^{(dB/10)} \quad (19)$$

A continuación, se calculó la intensidad sonora media de cada punto y se convirtió a decibelios mediante la expresión siguiente:

$$dB = 10 \cdot \log(\text{Intensidad Sonora}) \quad (20)$$

A continuación, se compararon los valores medidos con los niveles de ruido previstos para hallar la diferencia entre puntos de medición individuales, así como la diferencia media global entre ambos utilizando los métodos descritos en esta sección.

### ***Evaluación Estadística Multicriterio del Desempeño Predictivo.***

Para seguir evaluando el rendimiento del método CNOSSOS-EU, se empleó el software estadístico RStudio (disponible en [cran.rstudio.com/](http://cran.rstudio.com/)), gracias a su flexibilidad y su capacidad para integrar diferentes métodos de análisis cuantitativo y gráfico. Se optó por una combinación de pruebas estadísticas complementarias, con el objetivo de evaluar el comportamiento del modelo desde diferentes puntos de vista, refiriéndonos a la precisión, distorsión, concordancia y visualización del error.

En primer lugar, se calcularon los indicadores de error medio, como el error medio absoluto (MAE) y el error cuadrático medio (RMSE), que nos permiten evaluar la magnitud media del error entre los valores previstos y los medidos. De acuerdo con Covaciu *et al.* (2015) y MITECO y CEDEX (2025), se consideran aceptables cuando los errores se mantienen dentro de un intervalo de  $\pm 3$  dB. En segundo lugar, se aplicó la prueba *t de Student* para muestras emparejadas, buscando verificar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos conjuntos de datos e identificar cualquier distorsión sistemática que pueda afectar al uso del modelo para aplicaciones locales. En tercer lugar, se estimó el coeficiente de concordancia de Lin (CCC), que combina medidas de precisión y exactitud para evaluar la concordancia global entre los valores previstos y los medidos. Para la presente investigación, un valor CCC superior a 0,9 se considerará un criterio adecuado de ajuste, lo que indica un excelente nivel de concordancia. Finalmente, se desarrolló un gráfico de Bland-Altman para representar visualmente las diferencias entre los valores previstos y los medidos con respecto a su media, lo que permite detectar tendencias sistemáticas de subestimación o sobreestimación, así como valores atípicos que podrían influir en la interpretación del modelo.

### **3.4.4 Técnicas para la Evaluación de la Exposición de la Población.**

#### ***Asignación de las Viviendas y sus Habitantes al Punto Receptor.***

Dado que no se cuenta con información precisa sobre la distribución de las viviendas dentro de los edificios, se aplicó el segundo método (caso 2b) para esta situación, incorporado a CNOSSOS-EU y establecido por la Directiva Delegada (UE) 2021/1226. Con este criterio, la cantidad total de viviendas y habitantes se asigna de manera equitativa a la mitad superior de la mediana del conjunto total de puntos receptores correspondientes a un edificio. En caso de que los puntos receptores resultan impares, se descarta aquel que presente el nivel de ruido más bajo. Sin embargo, de conformidad con Hartog (2021), cuando se trate de una edificación con una sola vivienda, se sigue el mismo criterio utilizado cuando existe información sobre la ubicación de las viviendas dentro de los edificios (caso 1), asignando cada vivienda y sus ocupantes al receptor ubicado en la fachada con mayor nivel de exposición sonora.

#### ***Cálculo de la Exposición Poblacional al Ruido Vehicular Modelado.***

Seguidamente, se determinó el número de personas expuestas por cada edificación residencial o mixta según el método CNOSSOS con la opción “*EU population exposure*”. El número se determinó para  $L_{den}$  y  $L_{night}$  y para las clases de ruido definidas en el método CNOSSOS, utilizando los resultados calculados para los receptores alrededor de los edificios y los datos de población proporcionados con los puntos de dirección, cuyo recuento de resultados es visible en la ventana “*Address result countings*” para su contrastación con umbrales normativos y generación de gráficos.

#### ***Criterios normativos y metodología de comparación.***

Para evaluar la magnitud de la afectación acústica en Huacho, se compararon los niveles de ruido simulados mediante el modelo CNOSSOS-EU con los límites establecidos en el ECA-ruido para zonas residenciales del Perú y en la Environmental Noise Directive (END) de la Unión Europea cuyos valores de referencia utilizados para esta comparación se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17

*Umbrales normativos (ECA/END) aplicados.*

Normativa	Indicador	Umbral [dB(A)]	Periodo considerado
ECA-Perú	Lday	60	07:00 – 19:00
	Levening	60	19:00 – 23:00
	Lnight	50	23:00 – 07:00
END-UE	Lden	55	Día-tarde-noche (ponderado)
	Lnight	50	Nocturno

*Nota.* Obtenido de Decreto Supremo N° 085-2003-PCM (2003) y Directiva 2002/49/CE (END-UE).

### **3.4.5 Simulación de Escenarios de Mitigación frente al Ruido.**

Con el propósito de fortalecer la base analítica del estudio y mostrar, a la vez, la aplicabilidad del modelo CNOSSOS-EU en procesos reales de planificación, se incorporó un análisis complementario centrado en la simulación de medidas de mitigación acústica dentro de una zona crítica del distrito de Huacho.

#### ***Selección del Área Piloto.***

La Urbanización Los Cipreses, atravesada por la avenida Baltazar La Rosa, fue seleccionada como subzona piloto para la evaluación de medidas de mitigación debido a tres factores principales: su cercanía a corredores viales de alta intensidad de tráfico, la proximidad directa de las edificaciones residenciales a la calzada y la presencia de niveles de Lden y Lnight superiores a 65 dB(A) en el mapa estratégico; además, trabajar con un área de cálculo más acortada facilita la realización de simulaciones detalladas sin incrementar de manera excesiva los tiempos de procesamiento del modelo CNOSSOS-EU, por lo que el análisis de escenarios en Los Cipreses se plantea como un caso representativo de las zonas críticas del distrito y permite ilustrar el potencial de las herramientas predictivas para comparar el desempeño de distintas medidas de mitigación frente al ruido vehicular.

### ***Construcción de Escenarios de Simulación.***

Se desarrollaron cuatro escenarios comparables entre sí, manteniendo constante la geometría urbana, la distribución del tráfico y los parámetros de cálculo; de este modo, las únicas variaciones introducidas corresponden a las características acústicas propias de cada medida de intervención.

- El Escenario 0, que representa la situación actual sin ningún tipo de intervención, reproduce las condiciones reales del área de estudio mediante la asignación del pavimento NL05 en las vías asfaltadas y NL09 en las no asfaltadas, junto con los flujos vehiculares y las velocidades obtenidas en campo, sin incorporar barreras acústicas.
- En el Escenario 1, se evaluó el efecto de sustituir la capa asfáltica convencional por un pavimento de mayor absorción sonora, empleando un material equivalente al tipo NL03 descrito por MITECO Y CEDEX (2025) como “Asfalto poroso de doble capa con capa superior fina” en la Tabla 9, cuyos coeficientes de absorción superan en 4.5 dB (A) a los de NL05 (*Tabla 18*); la geometría vial se mantuvo sin cambios, no se instalaron pantallas acústicas y los flujos vehiculares conservaron los valores observados en campo, por lo que este escenario permite aislar el efecto atribuible exclusivamente al cambio de pavimento.
- El Escenario 2 introdujo la instalación de 3 tipos de pantallas acústicas en puntos estratégicos, definidos a partir de la proximidad de las fachadas residenciales a la Panamericana Norte, el alineamiento vial, la topografía local, la altura promedio de las edificaciones y los tramos donde el escenario base mostró niveles superiores a 65 dB(A). La configuración de las pantallas se muestran en la *Tabla 19*; en este caso, el pavimento se mantuvo en su condición original (NL05/NL09), de modo que el efecto analizado corresponde únicamente a la presencia de las barreras.
- Finalmente, el Escenario 3 combinó ambas medidas, es decir, el pavimento de alta absorción evaluado en el Escenario 1 y las pantallas acústicas del Escenario 2, configurándose como la alternativa de mayor intervención y permitiendo estimar el potencial máximo de reducción del ruido vehicular dentro de la Urbanización Los Cipreses.

Tabla 18

*Comparación de absorción acústica por tipo de pavimento.*

Código	Tipo de pavimento	30 km/h	50 km/h	90 km/h	120 km/h
0	Superficie de referencia	0,0 dB(A)	0,0 dB(A)	0,0 dB(A)	0,0 dB(A)
NL01	1-capa ZOAB	-1,1 dB(A)	-1,2 dB(A)	-2,0 dB(A)	-2,1 dB(A)
NL02	2-capas ZOAB	-3,8 dB(A)	-3,9 dB(A)	-3,9 dB(A)	-3,2 dB(A)
NL03	2-capas ZOAB (fine)	-4,7 dB(A)	-5,0 dB(A)	-4,8 dB(A)	-3,8 dB(A)
NL04	SMA-0/5	-0,5 dB(A)	-0,8 dB(A)	-1,2 dB(A)	-1,2 dB(A)
NL05	SMA-0/8	-0,2 dB(A)	-0,3 dB(A)	-0,6 dB(A)	-0,6 dB(A)
NL06	Cemento cepillado	+0,2 dB(A)	+0,7 dB(A)	+1,3 dB(A)	+1,3 dB(A)
NL07	Cemento cepillado optimizado	-0,7 dB(A)	-0,4 dB(A)	-0,2 dB(A)	-0,2 dB(A)
NL08	Cemento pulido	-0,1 dB(A)	+0,6 dB(A)	+1,2 dB(A)	+1,2 dB(A)
NL09	Superficie estabilizada	+0,6 dB(A)	+1,4 dB(A)	+1,7 dB(A)	+1,5 dB(A)
NL10	Bloques en espiga	+0,5 dB(A)	+1,3 dB(A)	+1,9 dB(A)	+1,9 dB(A)
NL11	Adoquines no colocados en espiga	+2,2 dB(A)	+4 dB(A)	+5,2 dB(A)	+5,1 dB(A)
NL12	Adoquines silenciosos	-0,5 dB(A)	-0,7 dB(A)	-1,3 dB(A)	-1,3 dB(A)
NL13	Capa delgada A	-1,6 dB(A)	-2 dB(A)	-2,5 dB(A)	-2,2 dB(A)
NL14	Capa delgada B	-2 dB(A)	-2,6 dB(A)	-3,1 dB(A)	-2,7 dB(A)

*Nota.* Obtenido de MITECO Y CEDEX (2025). Para este análisis se consideró una vía sin pendiente, con un IMH de 600 vehículos/hora y distintas velocidades; la composición del flujo incluyó un 10 % de vehículos pesados (50% categoría 2 y 50% categoría 3) y un 10 % de vehículos de dos ruedas (50% categoría 4a y 50% categoría 4b).

Tabla 19

*Factores de reflexión por banda de octava para barreras acústicas.*

Tipo de barrera acústica	Lado considerado en el modelo	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
TIPO 1. Pantalla transparente de metacrilato (15 mm) con base absorbente de acero galvanizado (altura total 4,5 m; base absorbente 1,2–1,5 m)	Hacia la vía (cara absorbente)	0.78	0.70	0.60	0.45	0.35	0.35	0.40	0.45
	Hacia la residencia (cara reflectante)	0.82	0.78	0.72	0.60	0.55	0.55	0.60	0.65
TIPO 2. Cercos arbustivos en doble hilera escalonada (altura 1,5 m; seto denso)	Ambos lados	0.70	0.60	0.50	0.40	0.35	0.35	0.40	0.50
TIPO 3. Pantallas acústicas vegetalizables (estructura galvanizada + núcleo granular 0,35–0,40 m con vegetación; altura 3 m)	Ambos lados	0.40	0.30	0.20	0.15	0.10	0.10	0.15	0.20

*Nota.* Adaptado de Vanhooreweder, B. et al. (2016). Los factores de reflexión describen la proporción de energía sonora que una superficie devuelve hacia el medio en cada banda de octava (63–8000 Hz), y en iNoise se incorporan siguiendo la formulación de propagación establecida en ISO 9613-2 y en el marco CNOSSOS-EU para pantallas y obstáculos. En términos prácticos, valores cercanos a 0,8 corresponden a superficies rígidas o netamente reflectantes (como fachadas o pantallas no absorbentes), mientras que coeficientes situados aproximadamente entre 0,2 y 0,4 son característicos de pantallas absorbentes.

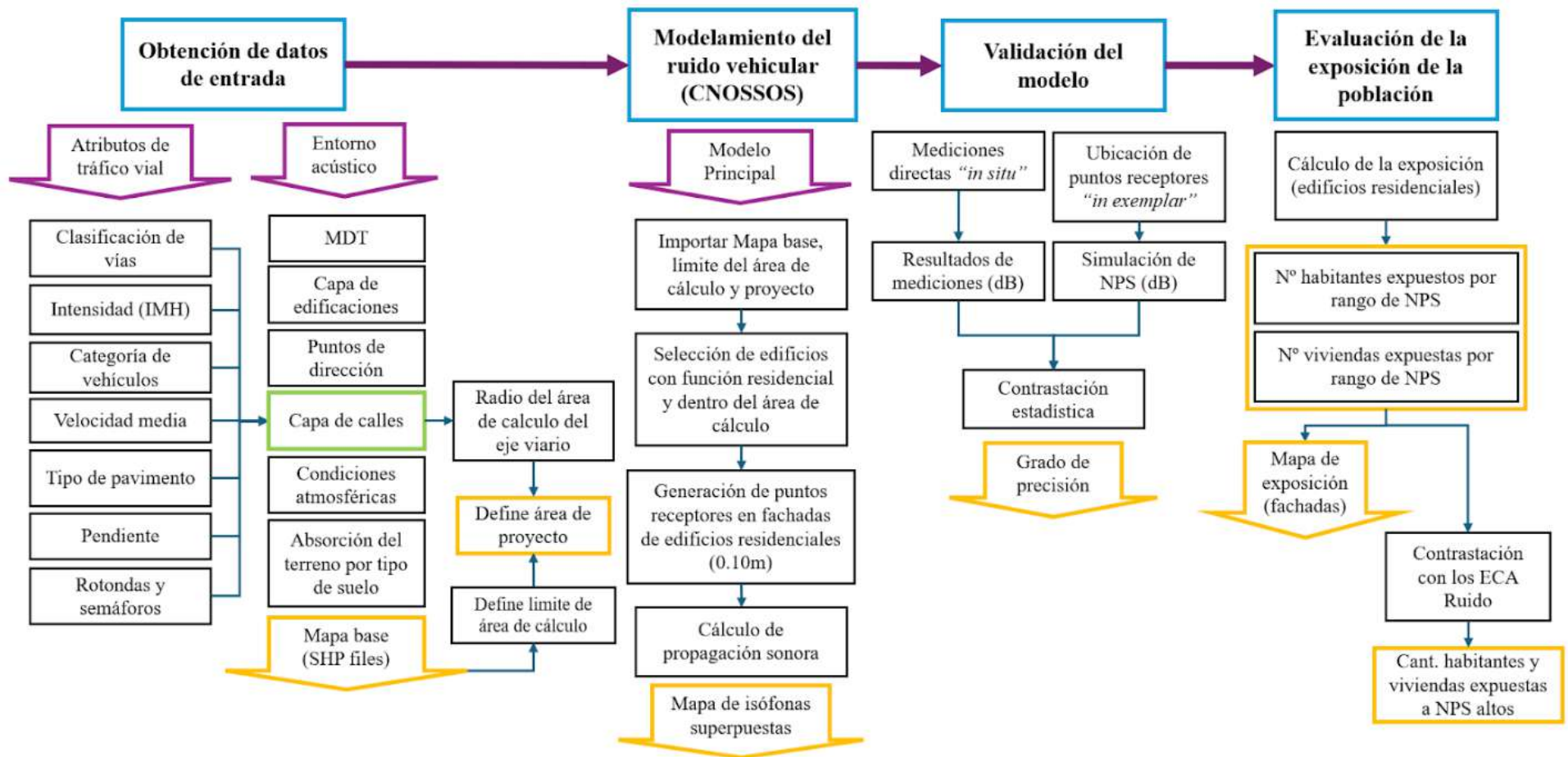


Figura 28. Resumen del flujo metódico.

Nota. Elaboración propia, 2025

### 3.5 Limitaciones del Estudio

Esta investigación presenta limitaciones inherentes al enfoque metodológico y al contexto de aplicación que deben considerarse al interpretar los resultados

- **Limitaciones de datos de entrada:** Los datos de flujo vehicular se recopilaron durante cuatro meses de 2025, lo que representa una ventana temporal específica. Las variaciones estacionales, la ocurrencia de eventos especiales o cambios en patrones de movilidad no capturados en este período pueden afectar la representatividad de los resultados a nivel anual.
- **Limitaciones de estimación poblacional:** La estimación de población residente se basó en superficie útil por edificio y no en datos de ocupación real, por lo que, las suposiciones sobre la distribución espacial intrapredial de habitantes pueden conducir a sobre o subestimaciones de la exposición, particularmente en edificios multifamiliares con geometrías complejas.
- **Limitaciones del modelo CNOSSOS-EU en contexto peruano:** Aunque el modelo ha sido validado en contextos europeos, su aplicación en Huacho opera bajo supuestos que pueden no capturar completamente la realidad acústica local, incluyendo comportamientos de conductores específicos, características de vías informales y configuraciones urbanas atípicas.
- **Limitaciones espaciales y temporales:** El análisis se concentra en cuatro sectores urbanos (2, 3, 5, 6) del distrito, excluyendo áreas periféricas, por lo que, Los resultados no son necesariamente extrapolables al área completa de Huacho ni a otras ciudades con características urbanas diferentes.
- **Limitaciones de datos de pavimento y absorción acústica:** La caracterización del pavimento se realizó mediante observación directa y fuentes secundarias, sin validación mediante mediciones acústicas específicas de laboratorio para los tipos de pavimento locales.

A pesar de estas limitaciones, los hallazgos proporcionan una primera caracterización robusta del problema acústico en Huacho y demuestran la viabilidad técnica de aplicar CNOSSOS-EU en contextos latinoamericanos."

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

### 4.1 Análisis de Resultados

#### 4.1.1. Niveles de presión sonora simulados mediante CNOSSOS-EU.

Conforme al primer objetivo específico: Describir y modelar los niveles de presión sonora producidos por el tráfico vehicular mediante la aplicación del método CNOSSOS-EU en el distrito de Huacho, 2025.

#### *Emisión acústica del tráfico vehicular por tipo de vía.*

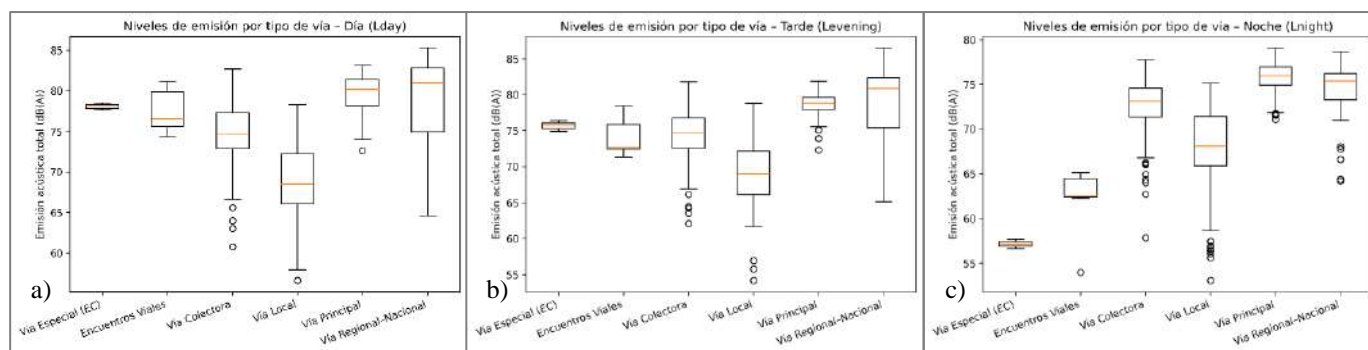
Tabla 20

*Media de emisión sonora vehicular y desviación estándar por tipo de vía.*

Tipo de vía (PDU)	Nº Segmentos	Emisión Día (Prom. energético) dB(A)	Emisión Día (Desv.)	Emisión Tarde (Prom. energético) dB(A)	Emisión Tarde (Desv.)	Emisión Noche (Prom. energético) dB(A)	Emisión Noche (Desv.)
EC	2	78.07	0.57	75.71	1.07	57.16	0.71
EV	7	78.27	2.71	75.07	2.94	63.09	3.80
VC	259	75.92	3.59	75.54	3.42	73.18	2.76
VL	241	71.32	4.16	71.29	4.27	69.83	4.65
VP	45	80.13	2.39	78.79	2.04	76.02	1.92
VRN	29	81.21	6.21	81.21	6.08	75.27	4.08

*Nota:* Elaboración Propia. Análisis estadístico en Python 3.13.6.

En la Tabla 20 se observa el comportamiento promedio de los niveles de emisión acústica por tipo de vía, calculados mediante promedios energéticos del total de 584 segmentos de vía, lo que permite una representación más precisa del comportamiento físico del ruido. Se aprecia que las vías de jerarquía superior, particularmente las Vías Regional-Nacional (VRN) y las Vías Principales (VP), presentan los niveles medios más elevados en los tres periodos superando los 80 dB(A) durante el día. En contraste, las Vías Locales (VL) registran niveles inferiores, especialmente en horario nocturno, mientras que las Vías Especiales (EC) y Encuentros Viales (EV) muestran valores intermedios.



**Figura 29.** Distribución de niveles de emisión acústica vehicular por tipo de vía.  
*Nota.* Elaboración propia, 2025. Periodo de evaluación: (a) Día, (b) Tarde y (c) Noche.

La Figura 29 representa de manera visual la distribución de los niveles de emisión acústica total por tipo de vía. Se aprecia que la dispersión de los datos es mayor en las vías de mayor jerarquía (VRN y VP), mientras que las vías locales presentan valores más concentrados y de menor magnitud, especialmente en horario nocturno.

### ***Distribución espacial del ruido vehicular por periodos.***

La Tabla 21 presenta la extensión espacial del área urbana de Huacho expuesta a los NPS de ruido vehicular clasificados en intervalos de 5 dB(A) por indicador (información que es visible en los mapas generados en los Anexo 1, Anexo 2, Anexo 3 y Anexo 4; donde el indicador global  $L_{den}$  registra una concentración principal en la clase 50–55 dB(A) con 78.99 ha (20.80 %), seguida de la clase 55–60 dB(A) con 72.71 ha (19.14 %), mientras que las zonas con niveles inferiores a 50 dB(A) abarcan 69.99 ha (18.43 %) y las áreas con niveles superiores a 70 dB(A) suman 57.16 ha (15.05 %).

En cuanto al indicador  $L_d$  alcanza su mayor extensión en la clase < 50 dB(A) con 148.17 ha (39.01 %), lo que indica el predominio de condiciones sonoras aceptables durante el día. Sin embargo, la exposición media sigue siendo relevante, ya que las clases 50–55 dB(A) y 55–60 dB(A) suman 127.43 ha (33.55 %), mientras que el conjunto de clases  $\geq 60$  dB(A) representa 103.78 ha (27.32 %), reflejando una afectación diurna significativa asociada principalmente al flujo vehicular intenso.

Tabla 21

*Distribución superficial de los NPS vehicular por clase sonora y periodo.*

Área por clase	Lden (Ha)	Lday (Ha)	Levening (Ha)	Lnight (Ha)
< 50 dB(A)	69.99	148.17	150.47	183.69
50 - 55 dB(A)	78.99	70.24	70.68	61.51
55 - 60 dB(A)	72.71	57.19	56.24	49.31
60 - 65 dB(A)	53.96	43.10	44.59	51.73
65 - 70 dB(A)	46.57	39.32	41.42	32.44
70 - 75 dB(A)	46.45	19.38	14.36	0.71
> 75 dB(A)	10.71	1.98	1.63	0.00

Nota: Elaboración propia a partir de los resultados del modelo CNOSSOS-EU (Huacho, 2025).

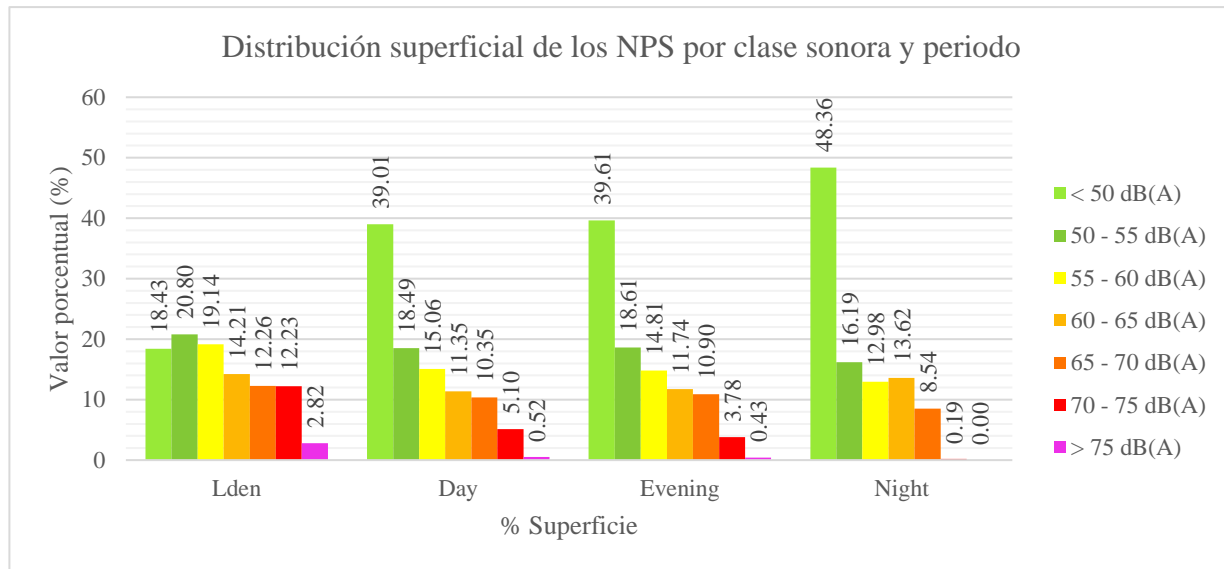


Figura 30. Distribución superficial de los NPS por rango sonoro y periodo.

Durante el periodo vespertino, el indicador  $L_e$  mantiene un patrón similar al diurno, con 150.47 ha (39.61 %) en niveles < 50 dB(A) y 126.92 ha (33.42 %) entre 50 y 60 dB(A); asimismo, las superficies con niveles  $\geq 60$  dB(A) alcanzan 102.00 ha (26.84 %), lo que evidencia la persistencia del ruido elevado en las horas de transición entre la actividad laboral y el descanso, aunque con una ligera reducción respecto al periodo diurno. Por su parte, el indicador  $L_n$  muestra una disminución marcada de las áreas con ruido alto, ya que las superficies < 50 dB(A) representan 183.69 ha (48.36 %), mientras que las comprendidas entre 50–55 dB(A) y 55–60 dB(A) abarcan 61.51 ha (16.19 %) y 49.31 ha (12.98 %), respectivamente; aun así, 195.70 ha (51.52 %) de la ciudad mantienen niveles iguales o superiores a 50 dB(A). Los valores > 70 dB(A) son mínimos (0.71 ha; 0.19 %) y no se registran áreas que superen los 75 dB(A), lo que confirma una reducción

efectiva de la presión acústica nocturna en la mayor parte del área urbana que coincide con el ciclo de sueño.

- ***Contraste de la distribución espacial del ruido con umbrales normativos.***

Los resultados del análisis territorial (Tabla 22) según los criterios de la END, indican que el 60.73 % del territorio urbano excede el umbral de 55 dB(A) para Lden, es decir, 3 de cada 5 hectáreas se encuentran expuestas a NPS clasificados como molestos o potencialmente perjudiciales; y el 51.58 % sobrepasa los 50 dB(A) durante el periodo nocturno (Lnight), lo que implica que 1 de cada 2 m<sup>2</sup> de la superficie experimenta niveles nocturnos superiores a los valores recomendados para mantener condiciones saludables de descanso.

En cambio, al considerar los valores más permisivos del ECA peruano (60 dB(A) para el periodo diurno), la superficie afectada disminuye al 27.36 %, lo que pone en evidencia la diferencia entre ambos marcos normativos y su impacto sobre la estimación del área expuesta.

Tabla 22

*Afectación territorial por superación de límites normativos (END/ECA).*

Indicador	Norma	Umbral (dB)	Ha ≥ umbral	% área urbana	Externo* (%)	S2 (%)	S3 (%)	S5 (%)	S6 (%)
Lday	ECA	60	103.78	27.36	88.23	30.36	22.4	31.94	18.9
Levening	ECA	60	102	26.88	88.53	29.58	20.93	32.31	19.26
Lnight	ECA	50	195.7	51.58	100	52.64	45.74	61.02	45.88
Lden	END	55	230.41	60.73	100	64.03	56.54	66.89	54.85
Lnight	END	50	195.7	51.58	100	52.64	45.74	61.02	45.88

*Nota:* Elaboración propia a partir de cálculos derivados de los valores simulados en iNoise 2024.3. El % área urbana se calcula sobre el área de cálculo equivalente a 379.85 Hectáreas y el % por sector, sobre su propia área. \*La categoría “Externo” corresponde a la superficie fuera de los límites sectoriales incluidas dentro del área de cálculo que coinciden con vías de tipo VRN y VP de alto flujo vehicular, motivo por el cual registran valores más altos; su presencia en la tabla es únicamente referencial y no integra el análisis sectorial urbano.

Los sectores más comprometidos según los valores del ECA diurno son S5, con superaciones de hasta 32 %, y S2, con valores cercanos al 30 % intensificándose durante el periodo nocturno, S5 alcanza un 61.02 % de edificaciones afectadas y S2 un 52.64 %, debido a que ambos concentran tramos viales de alto flujo y conectividad interurbana, lo que explica su mayor vulnerabilidad.

### *Niveles máximos en edificaciones residenciales.*

En este análisis se consideró el valor máximo del NPS registrado en los receptores de fachada de cada edificación, con el fin de representar la condición más desfavorable de exposición acústica y evitar la subestimación que se produciría al utilizar promedios o valores mínimos entre fachadas. En ese sentido, la Figura 31 y la Tabla 23 presentan la distribución de edificaciones expuestas según clases de NPS; en el caso del  $L_{den}$ , la distribución muestra un incremento progresivo del número de edificaciones conforme aumenta el nivel sonoro, alcanzando su punto máximo en la clase 65–70 dB(A) con un 26.65 % del total, sin registrarse edificaciones por encima de 75 dB(A). Este comportamiento sugiere que la mayor concentración edificatoria se localiza en áreas de actividad urbana consolidada y alto tránsito, donde las edificaciones se sitúan próximas a las vías principales.

Tabla 23

*Distribución de edificaciones expuestas según clase de NPS (dB(A)).*

Clase de nivel (dB(A))	# Edificaciones Lden	# Edificaciones Lday	# Edificaciones Levening	# Edificaciones Lnight
1. < 50 dB(A)	358	968	1032	1354
2. 50-55 dB(A)	644	1005	999	1118
3. 55-60 dB(A)	961	1426	1452	1532
4. 60-65 dB(A)	1424	1437	1520	1911
5. 65-70 dB(A)	1638	1231	1121	231
6. 70-75 dB(A)	1121	79	22	0
7. > 75 dB(A)	0	0	0	0

*Nota:* Elaboración propia a partir del modelo CNOSSOS-EU (Huacho, 2025) de un total de 6144.

En el caso del  $L_{day}$ , los resultados presentan una distribución más equilibrada entre las clases medias, con predominio en el intervalo 55–65 dB(A) y ausencia de edificaciones por encima de 75 dB(A). La estructura de esta distribución revela una tendencia central marcada entre 55 y 65 dB(A) agrupando más del 46 % del total de edificaciones e indicando que durante el periodo diurno los niveles sonoros mantienen un comportamiento estable sin concentraciones extremas, aunque con una densidad mayor en niveles medios característicos de zonas urbanas con flujo vehicular constante.

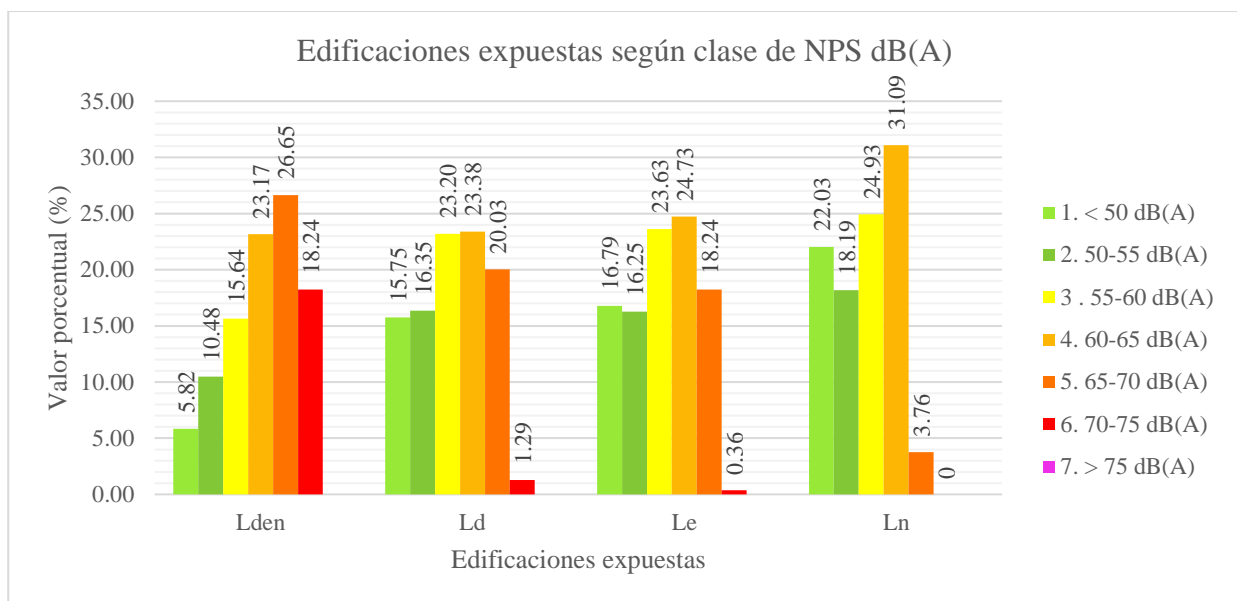


Figura 31. Distribución porcentual de edificaciones expuestas por clase de NPS

En el caso del  $L_e$ , los valores permanecen próximos a los de  $L_d$ , aunque con una ligera traslación hacia niveles superiores; la clase modal 60–65 dB(A) concentra cerca de una cuarta parte de las edificaciones, seguida de la 55–60 dB(A) con proporciones similares, lo que evidencia que durante el periodo vespertino el ruido vehicular mantiene niveles comparables al diurno, aunque con una leve acumulación hacia el rango de 60 dB(A) atribuible a la persistencia del tráfico urbano en las horas previas al descenso nocturno.

Por último, el comportamiento del  $L_n$  difiere de los anteriores, ya que presenta una mayor concentración en las clases medias-altas del rango analizado, con predominio en la clase 60–65 dB(A) (31.09 %); este resultado demuestra que el ruido vehicular persiste incluso durante las horas de menor tráfico, especialmente en edificaciones ubicadas próximas a vías principales y en zonas de densidad media.

- **Distribución de exposición edificatoria por sector.**

En total, se evaluaron 6 144 edificaciones residenciales distribuidas en los 4 sectores urbanos delimitados por el PDU de Huacho, y su representación cartográfica se visualiza en los Anexo 5, Anexo 6, Anexo 7 y Anexo 8. Los resultados evidencian una marcada heterogeneidad tanto en la densidad edificatoria como en la intensidad de exposición acústica entre sectores (Tabla 24); en este sentido, la densidad relativa de exposición edificatoria (REE, número de edificaciones por hectárea respecto al promedio urbano) muestra que el sector S5 alcanza una REE de 1.86, lo que

equivale a un 86 % más edificaciones expuestas que el promedio urbano, mientras que el S2 presenta una REE de 1.76, también con alta concentración edificatoria; el S3 se ubica en un rango intermedio (1.20), y el S6 registra 0.47, lo que representa menos de la mitad de la densidad urbana promedio.

Tabla 24

*Densidad relativa de exposición edificatoria (REE).*

Sector	Área (ha)	Nº edificaciones residen/mixto	Densidad (edif/ha)	% edificaciones residen/mixto	% área urbana
S2	55.52	1,580	28.46	25.73	14.62
S3	133.25	2,594	19.47	42.23	35.07
S5	33.88	1,019	30.08	16.59	8.92
S6	125.00	951	7.61	15.47	32.90
Total	379.85	6,144	16.17 (prom. urbano)	100	100

*Nota:* Elaboración propia a partir del modelo CNOSSOS-EU, Huacho, 2025.

En relación con los niveles de exposición (Figura 32 a-d), los resultados confirman que los sectores S5 y S2 concentran las medianas más altas y las mayores dispersiones en todos los indicadores, evidenciando la influencia directa de la red vial principal y la proximidad de edificaciones residenciales a la fuente móvil; por su parte, el S3 mantiene valores intermedios con un patrón más homogéneo y menor amplitud intercuartílica, mientras que el S6 presenta los niveles más bajos y menos dispersos, en concordancia con su baja densidad urbana e infraestructura vial interna, representando el entorno más favorable en términos de exposición al ruido vehicular.

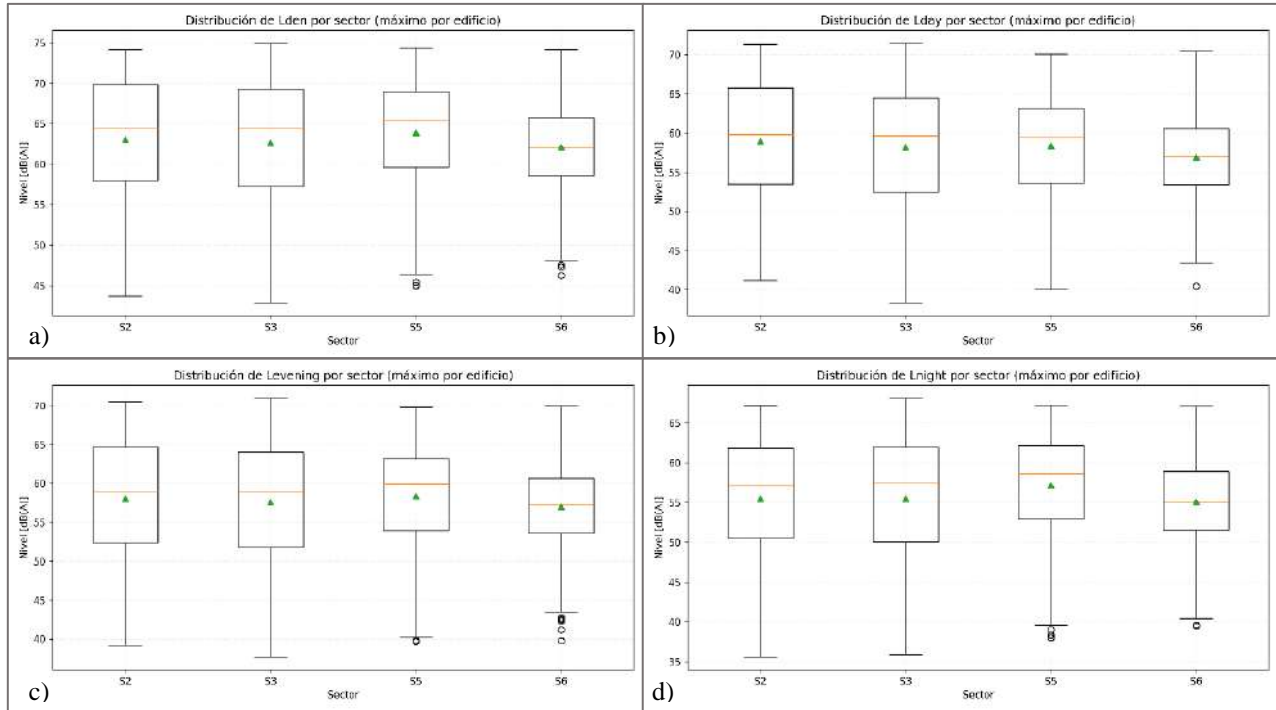


Figura 32. Distribución de exposición edificatoria por periodo y sector urbano.

Nota. Elaboración propia, 2025. (a) Lden, (b) Lday, (c) Levening, (d) Lnight.

Durante el periodo diurno (Lday), las medianas son similares entre S2, S3 y S5 (59.71 dB(A), 59.61 dB(A) y 59.38 dB(A) respectivamente) aunque el rango de variación del S3 es más amplio (33.16 dB(A)), lo que indica que existen fachadas altamente expuestas con zonas parcialmente protegidas; en el periodo vespertino (Levening) se observa una ligera elevación de niveles en S5 con respecto a los demás sectores registrando una mediana de 59.91 dB(A), mientras que en el periodo nocturno (Lnight) los sectores S5 y S2 mantienen las medianas más elevadas (57.39 dB(A) y 58.65 dB(A) respectivamente), sugiriendo una persistencia del ruido vehicular durante las horas de descanso en las fachadas cerca de las principales vías.

- **Contraste de la distribución edificatoria con umbrales normativos.**

En el dominio edificatorio, los resultados muestran que el 83.71 % de las edificaciones de uso residencial o mixto registran niveles de Lden superiores a 55 dB(A), mientras que el 77.98 % supera el límite de 50 dB(A) durante el periodo nocturno (Lnight). Por otro lado, si se consideran los valores permitidos por el ECA para el periodo diurno (60 dB(A)), la proporción de edificaciones en condición de superación disminuye al 44.81 %, según lo presentado en la Tabla 25. Estos valores evidencian una relación directa entre las áreas con mayor exposición territorial

y la afectación en edificaciones, especialmente en los sectores urbanos consolidados donde existe alta densidad de viviendas próximas a las vías principales.

Tabla 25

*Edificios expuestos por superación de límites normativos (END/ECA).*

Indicador	Norma	Umbral (dB)	Edif evaluadas	Edif $\geq$ umbral	% edificaciones	S2 (%)	S3 (%)	S5 (%)	S6 (%)
Lday	ECA	60	6144	2753	44.81	48.8	48.57	44.55	28.18
Levening	ECA	60	6144	2662	43.33	43.8	45.61	49.36	29.86
Lnight	ECA	50	6144	4791	77.98	76.9	75.02	84.99	80.34
Lden	END	55	6144	5143	83.71	82.59	80.34	89.5	88.54
Lnight	END	50	6144	4791	77.98	76.9	75.02	84.99	80.34

*Nota:* Elaboración propia a partir de cálculos derivados de los valores simulados en iNoise 2024.3. Se emplea el nivel máximo en fachada obtenido mediante receptores CNOSSOS-EU ubicados a 4 m de altura.

***Distribución estadística de los niveles simulados.***

El análisis estadístico descriptivo de los puntos de cálculo se presenta en la Tabla 26, donde se resumen los principales parámetros de variabilidad de los niveles sonoros modelados. El periodo diurno presenta una media energética de 63.68 dB(A) y una mediana de 54.71 dB(A), lo que indica una distribución asimétrica positiva en la que los valores altos tienden a elevar el promedio; además, el tercer cuartil (Q3 = 62.66 dB(A)) muestra que el 75 % de los puntos calculados no supera dicho nivel, mientras que el rango total oscila entre 31.67 dB(A) (mínimo) y 79.05 dB(A) (máximo), de modo que, aunque gran parte del territorio presenta niveles medios, se identifican sectores con emisiones elevadas asociadas a vías de alta densidad vehicular y tramos urbanos con tránsito pesado.

Tabla 26

*Estadística descriptiva por indicador de niveles de ruido simulados.*

	N puntos	Min	Q1	Mediana	Media	Q3	Max
Lday	31344	31.67	48.34	54.71	63.68	62.66	79.05
Levening	31344	31.72	48.31	54.44	63.21	62.39	78.67
Lnight	31344	30.27	46.59	52.32	59.91	60.51	74.3
Lden	31344	37.08	53.58	59.44	67.43	67.6	82.06

*Nota:* Elaboración propia a partir de cálculos derivados de los valores simulados en iNoise 2024.3.

Durante el periodo vespertino se mantiene un comportamiento similar, con una media de 63.21 dB(A), mediana de 54.44 dB(A) y Q3 = 62.39 dB(A); asimismo, el rango dinámico comprendido entre 31.72 y 78.67 dB(A) y la leve reducción de los valores extremos respecto al periodo diurno sugieren una disminución progresiva del tráfico durante las horas de la tarde, aunque aún persisten sectores que superan los 70 dB(A) en las avenidas principales.

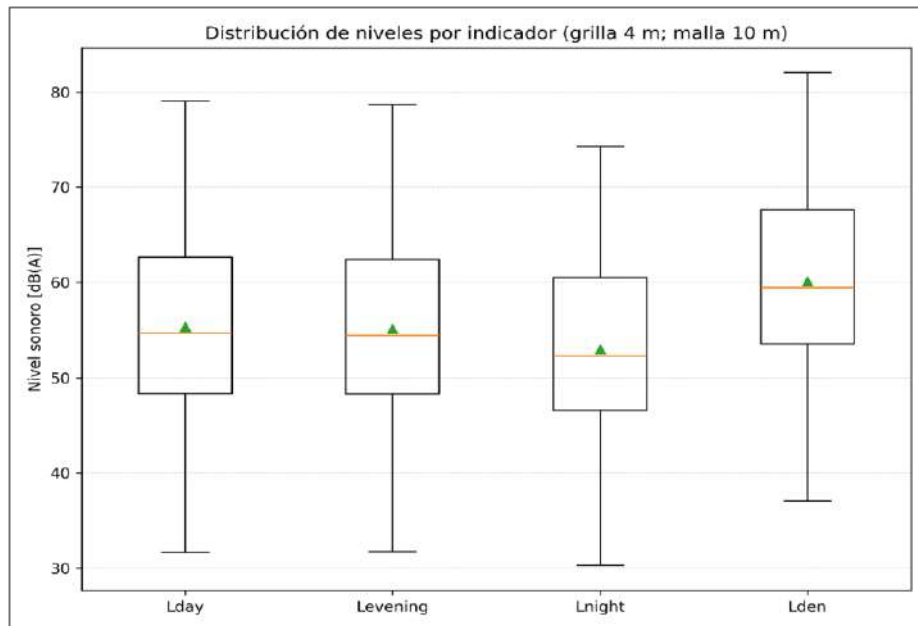


Figura 33. Distribución global de NPS vehicular (dB(A)) por indicador.

En el periodo nocturno se observa una disminución general de los niveles sonoros, con una media de 59.91 dB(A) y una mediana de 52.32 dB(A); de igual manera, el rango total, comprendido entre 30.27 y 74.30 dB(A), representa la menor amplitud entre los indicadores, en concordancia con la reducción del flujo vehicular durante la noche y finalmente, el indicador global  $L_{den}$  (ponderado a partir de los tres periodos horarios) presenta un tercer cuartil de 67.60 dB(A), lo que indica que al menos una cuarta parte de la superficie urbana experimenta niveles superiores a dicho valor, evidenciando la persistencia de zonas críticas con alta exposición sonora dentro del entorno urbano modelado.

### ***Identificación de zonas críticas.***

La Tabla 27 presenta los resultados globales del análisis. Los umbrales P95 se ubicaron en 70.78 dB(A) para Lday, 70.01 dB(A) para Levening, 66.75 dB(A) para Lnight y 74.28 dB(A) para Lden, valores que marcan el inicio de las zonas de exposición acústica más elevada. El área que

supera dichos límites oscila entre 15.68 y 15.75 ha, equivalentes aproximadamente al 4.14 % del área urbana total simulada (379.85 ha).

Tabla 27

*Áreas críticas (hotspots) según percentiles de ruido.*

Indicador	Umbral P95 (dB)	Área ≥P95 (Ha)	% área urbana (P95)	Umbral P99 (dB)	Área ≥P99 (Ha)	% área urbana (P99)
L <sub>day</sub>	70.78	15.69	4.13	74.08	3.16	0.83
L <sub>evening</sub>	70.01	15.68	4.13	73.67	3.15	0.83
L <sub>night</sub>	66.75	15.75	4.15	69.01	3.17	0.83
L <sub>den</sub>	74.28	15.73	4.14	76.88	3.17	0.83

*Nota:* Elaboración propia con base en el análisis espacial de percentiles (ArcGIS Pro 3.4).

Al aumentar el umbral al percentil P99, los valores críticos se elevan hasta 74.08 dB(A) (L<sub>d</sub>), 73.67 dB(A) (L<sub>e</sub>), 69.01 dB(A) (L<sub>n</sub>) y 76.88 dB(A) (L<sub>den</sub>); sin embargo, el área afectada disminuye de forma considerable, situándose entre 3.15 y 3.17 ha, lo que representa solo el 0.83 % del área urbana. Esta comparación evidencia una distribución altamente concentrada de los valores extremos, donde un número reducido de celdas de la grilla concentra las mayores intensidades de ruido. Dicho comportamiento resulta coherente con la asimetría positiva observada en los diagramas de caja de la Figura 33 donde las medias superan sistemáticamente a las medianas, confirmando que el ruido vehicular en Huacho no se distribuye de manera uniforme, sino que presenta núcleos de alta exposición acústica (hotspots) directamente asociados con la ubicación de las principales vías asfaltadas y corredores de tránsito más denso.

El indicador L<sub>den</sub> presenta los umbrales más elevados en ambos percentiles (74.28 dB(A) en P95 y 76.88 dB(A) en P99), lo que refleja el efecto ponderado de este índice al incorporar penalizaciones para los periodos vespertino y nocturno; en consecuencia, las áreas con exposición prolongada y continua a lo largo del día resultan las más afectadas, confirmando la capacidad del L<sub>den</sub> para representar integralmente la molestia acústica diaria.

- **Identificación de Zonas Críticas por Sector.**

Dentro de los sectores urbanos definidos por el PDU, la distribución de los *hotspots* presenta diferencias notables (Figura 34 y Anexo 30), donde el sector S2 muestra los niveles críticos más altos dentro del área consolidada, con valores ≥ P95 de 2.45 ha (6.02 %) para L<sub>d</sub>, 2.61 ha (6.42 %) para L<sub>e</sub>, 1.74 ha (4.28 %) para L<sub>n</sub> y 1.88 ha (4.62 %) para L<sub>den</sub>, lo que revela una presencia continua

de ruido intenso asociado al tránsito en avenidas estructurantes y zonas de uso mixto; en el sector S5, los valores también son elevados, con 0.33 ha (1.35 %) para  $L_d$ , 0.29 ha (1.19 %) para  $L_e$ , 1.30 ha (5.34 %) para  $L_n$  y 0.70 ha (2.87 %) para  $L_{den}$ , correspondiendo principalmente a vías colectoras y áreas con actividad vehicular nocturna, aunque de menor intensidad que en S2.

Por su parte, el sector S3 presenta *hotspots* menos extensos, con 1.07 ha (1.02 %) en  $L_d$ , 1.27 ha (1.21 %) en  $L_e$ , 1.96 ha (1.86 %) en  $L_n$  t y 1.48 ha (1.41 %) en  $L_{den}$ , lo que sugiere una presión acústica menor, coherente con la morfología urbana más compacta y la baja densidad de vías principales; finalmente, el sector S6 registra las áreas críticas más reducidas del conjunto, con 0.65 ha (0.58 %) en  $L_d$ , 0.70 ha (0.63 %) en  $L_e$ , 2.25 ha (2.01 %) en  $L_n$  y 1.60 ha (1.43 %) en  $L_{den}$ , lo que indica condiciones acústicas relativamente favorables, con escasa dispersión de valores extremos.

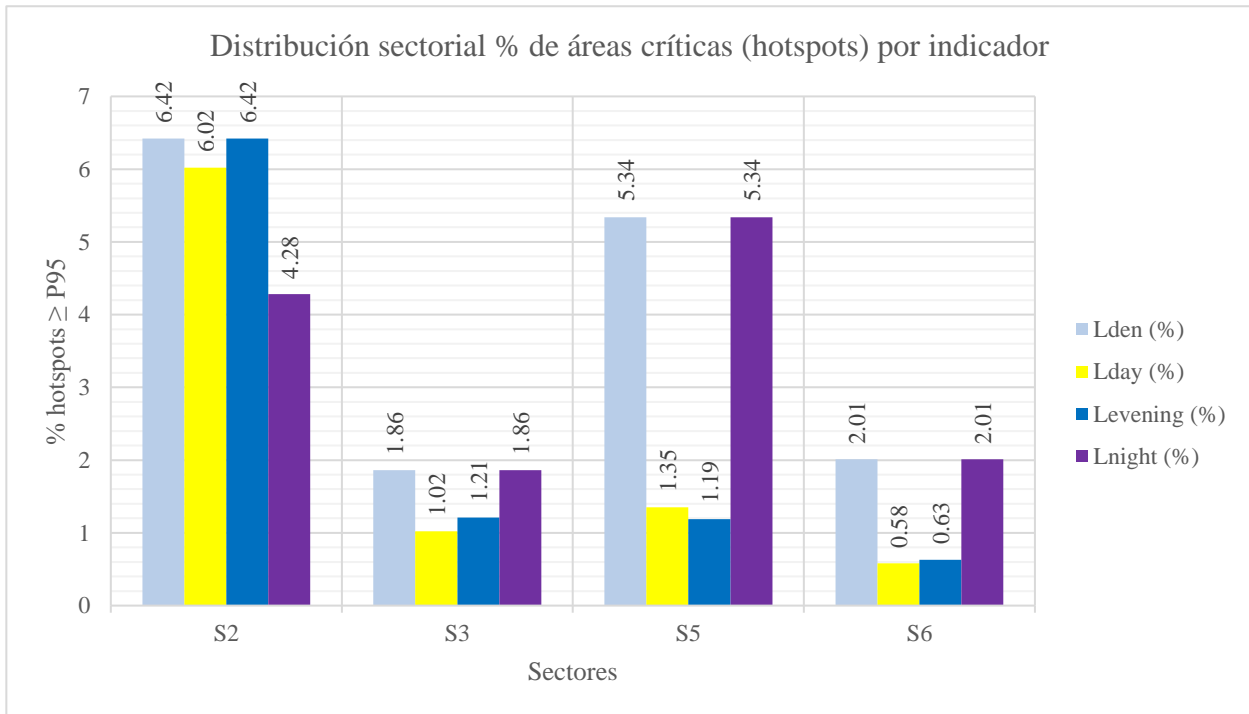


Figura 34. Distribución sectorial % de áreas críticas (hotspots) por indicador.

En el percentil P99, las superficies críticas dentro de los sectores urbanos son considerablemente menores, reduciéndose a unas pocas centésimas de hectárea; por ejemplo, en S2 y S3, el  $L_{den}$  apenas alcanza entre 0.02 y 0.09 ha, lo que refleja la concentración puntual de los niveles más severos de exposición acústica en la ciudad.

#### 4.1.2. Exposición de la población al ruido vehicular.

OE2: Caracterizar la distribución espacial de la población residencial expuesta al ruido vehicular según bandas de nivel sonoro en el distrito de Huacho, 2025.

##### *Distribución de población residentes según Lden y Lnight.*

Tabla 28

*Distribución población residencial expuesta según clase de NPS (dBA).*

Clase de nivel (dB(A))	# Residentes Lden	# Residentes Ln
1. < 50 dB(A)	13868	25961
2. 50-55 dB(A)	7591	12755
3. 55-60 dB(A)	11656	16839
4. 60-65 dB(A)	15350	18544
5. 65-70 dB(A)	17421	1941
6. 70-75 dB(A)	10154	0
7. > 75 dB(A)	0	0

*Nota:* Elaboración propia a partir del modelo CNOSSOS-EU (Huacho, 2025) de un total de 76316 residentes.

En el caso del Lden, la población se concentra principalmente entre las clases 60–70 dB(A), que en conjunto agrupan el 42.9 % de los residentes; a este bloque se suma un 15.3 % en la clase 55–60 dB(A), conformando un nivel de exposición media-alta que abarca a más de la mitad de la población total. Las clases inferiores reúnen el 18.2 % de los habitantes por debajo de 50 dB(A) y sin registrarse exposición por encima de 75 dB(A), lo que indica que la mayoría de la población reside en zonas donde los niveles de ruido diario se mantienen elevados, especialmente a lo largo de los principales ejes viales urbanos.

En cuanto al Lnight, se observa una mayor proporción de población en niveles bajos, con un 34.0 % de los residentes expuestos a valores inferiores a 50 dB(A); no obstante, persiste un volumen de 46.4% dentro del rango 55–65 dB(A), lo que evidencia la continuidad de una actividad vehicular significativa que resulta en la exposición acústica durante las horas de descanso; mientras que las clases 50–55 dB(A) concentran el 16.7 % de los habitantes, sin registrarse valores superiores a 70 dB(A). Este patrón confirma que, aunque los NPS disminuyen durante la noche, la población en edificaciones de uso residencial continúa expuesta a intensidades sonoras medias, sobre todo en viviendas cercanas a vías principales.

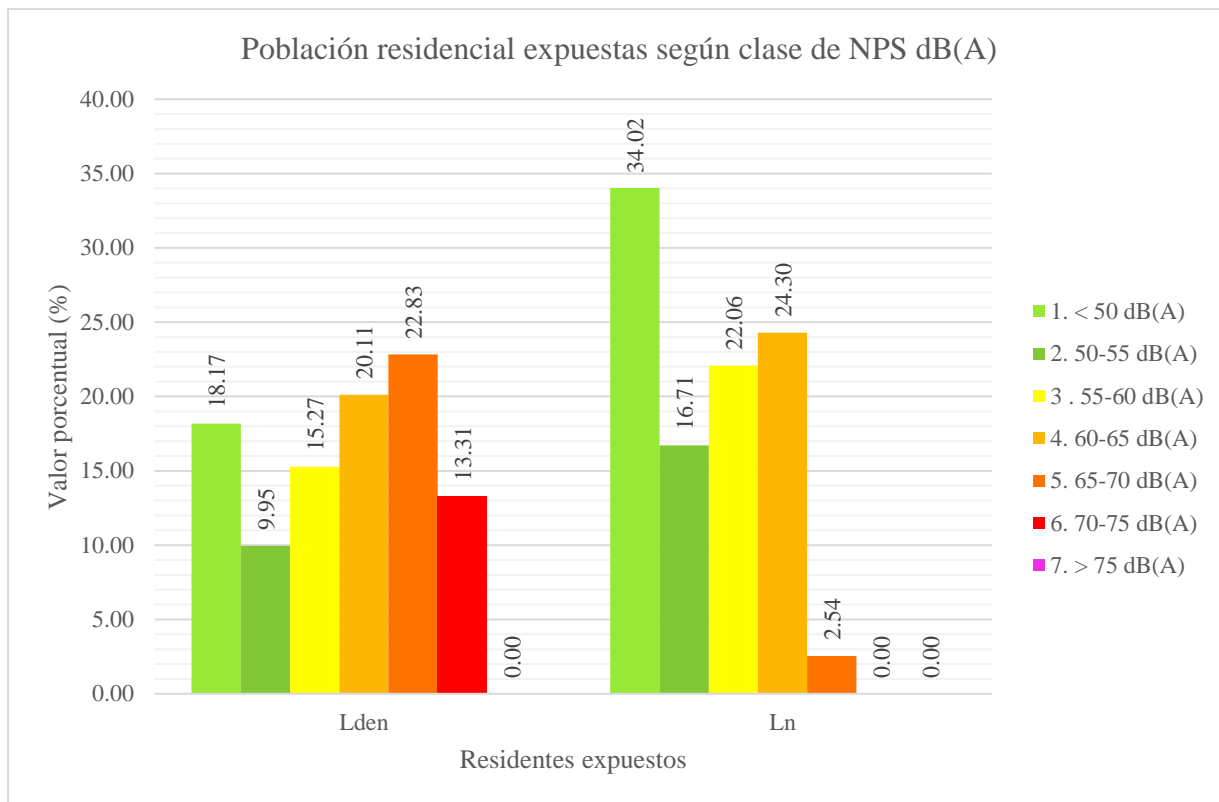


Figura 35. Distribución porcentual de residentes expuestos por clase de NPS.

La comparación entre ambos indicadores representada en la Figura 35, muestra variaciones acordes con la dinámica vehicular diaria, es por ello que mientras el Lden concentra una mayor proporción de población en las bandas intermedias y altas ( $\geq 60$  dB(A)), el Lnight redistribuye parte de los residentes hacia niveles inferiores, aunque sin eliminar por completo la presencia de valores elevados en las zonas críticas del distrito. En términos cuantitativos, el 71.52 % de la población se encuentra expuesta a Lden  $\geq 55$  dB(A), mientras que la exposición nocturna Lnight  $\geq 55$  dB(A) desciende en 22.61 %. La diferencia más notable se observa en la banda  $< 50$  dB(A), cuya población prácticamente se duplica durante la noche.

Este comportamiento refleja la disminución general del flujo vehicular nocturno, aunque sin suprimir totalmente la incidencia acústica en los entornos urbanos de mayor conectividad vial, donde la presencia de tráfico continuo o semiconstante mantiene niveles sonoros que superan los umbrales recomendados para el descanso.

- **Contraste de la distribución poblacional con umbrales normativos.**

En cuanto a la población expuesta, el análisis de la base de datos de 76 316 habitantes indica que el 71.52 % se encuentra sometido a niveles de Lden iguales o superiores a 55 dB(A) y el 65.62 % a niveles de Lnight iguales o superiores a 50 dB(A), de acuerdo con los criterios de la END. Si se aplica el límite del ECA para el periodo diurno (60 dB(A)), la población afectada asciende al 56.25 %, tal como se presenta en la Tabla 29.

Tabla 29

*Población expuestas por superación de límites normativos (END/ECA).*

Indicador	Norma	Umbral (dB)	Población total	Población $\geq$ umbral	% población	Clases sumadas
Lden	ECA	60	76316	42925	56.25	60-65, 65-70, 70-75, >75
Lnight	ECA	50	76316	50079	65.62	50-55, 55-60, 60-65, 65-70, 70-75, >75
Lden	END	55	76316	54581	71.52	55-60, 60-65, 65-70, 70-75, >75
Lnight	END	50	76316	50079	65.62	50-55, 55-60, 60-65, 65-70, 70-75, >75

*Nota:* Elaboración propia a partir de cálculos derivados de los valores simulados en iNoise 2024.3. La población total evaluada corresponde a los residentes en edificaciones con uso residencial o mixto (76 316 habitantes).

- **Síntesis de Contraste con Umbrales Normativos (END/ECA) por Dominio.**

La Figura 36 muestra la comparación de los porcentajes de afectación en los tres dominios evaluados, sea territorial, edificatorio y residencial, en base a los límites establecidos de acuerdo a la END y el ECA, donde se determinó lo siguiente:

- Dominio territorial: la superficie afectada varía entre 27.36 % bajo el criterio del ECA diurno y 60.73 % según el umbral END-Lden.
- Dominio edificatorio: hasta 83.71 % de las edificaciones supera el límite END-Lden, mientras que el ECA diurno registra 44.81 %.
- Dominio poblacional: las superaciones oscilan entre 56.25 % (ECA-diurno) y 71.52 % (END).

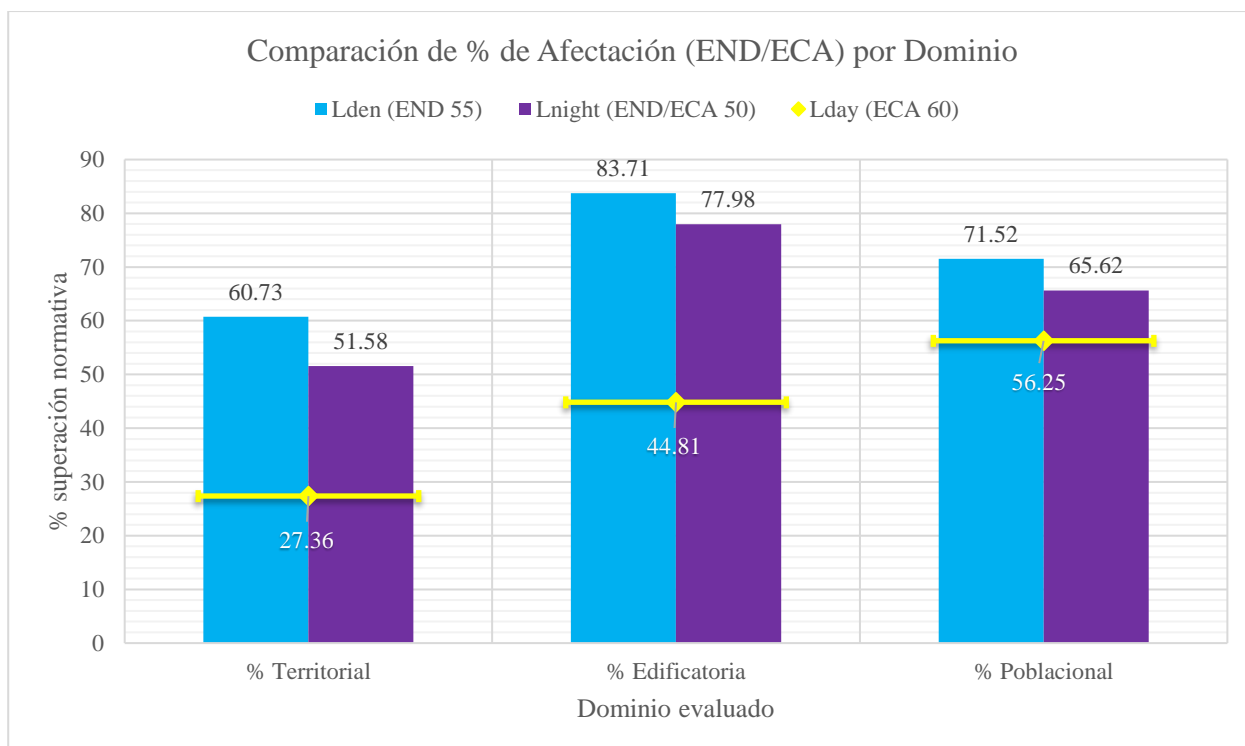


Figura 36. Comparación de afectación (END/ECA) por dominio evaluado.

Estas cifras indican que, incluso considerando el ECA-ruido (marco normativo más permisivo), más del 60% en la superficie urbana de Huacho se encuentra expuesto a niveles de ruido superiores al umbral de 60 dB(A), además el hecho de que más del 70% de la población residente evaluada exceda 55 dB(A), establecido como umbral normativo de la END, evidencia un escenario de exposición acústica preocupante, con impacto sobre el confort y la calidad de vida.

#### 4.1.3. Relación entre Niveles Sonoros y Exposición Poblacional.

OE3: Analizar la relación estadística entre los niveles de presión sonora simulados y la magnitud de población residencial expuesta en el distrito de Huacho, 2025.

Para analizar cómo se relacionan los NPS con la exposición poblacional, se trabajó con los valores medios de NPS por clase junto con el número de habitantes asignados a cada tramo de exposición para los indicadores Lden y Lnight; en este caso, el conjunto de datos quedaba reducido a las siete clases de nivel sonoro definidas para el estudio, por lo que primero fue necesario comprobar si dichas observaciones seguían un comportamiento cercano a la normalidad. Con ese propósito se aplicó la prueba de Shapiro–Wilk (Tabla 30), de modo se obtuvieron valores de significancia

superiores a 0,05, se asumió normalidad en la distribución. A partir de ello, se aplicó la prueba paramétrica de correlación de Pearson para examinar la relación entre ambas variables (Tabla 31).

Tabla 30

*Resultados de análisis de normalidad por Shapiro-Wilk.*

Variable	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
NPS	0.109	7	.200*	0.984	7	0.977
Cant. Residentes (Lden)	0.166	7	.200*	0.933	7	0.579
Cant. Residentes (Lnight)	0.234	7	.200*	0.890	7	0.274

*Nota:* Elaboración propia a partir de resultados SPSS (2025) en base a valores simulados en iNoise 2024.3. \* Esto es un límite inferior de la significación verdadera. a. Corrección de significación de Lilliefors.

Los resultados obtenidos para Lden muestran que el coeficiente de Pearson entre el NPS medio y la cantidad de residentes expuestos alcanzó un valor de  $r = -0,406$  ( $p = 0,366$ ); según la clasificación propuesta por Schober y Boer (2018), esta magnitud corresponde a una correlación negativa de nivel moderado, aunque sin significancia estadística. En otras palabras, ello sugiere que, conforme aumenta el nivel sonoro medio por clase, tiende a disminuir la cantidad de residentes ubicados en ese mismo tramo de exposición, aunque esta relación no resulta lo suficientemente consistente como para ser considerada concluyente dentro del análisis.

Al examinar el comportamiento durante el periodo nocturno, la relación es más fuerte, debido a que el coeficiente obtenido para Lnight fue de  $r = -0,888$  ( $p = 0,008$ ), que lo ubica en el rango de correlaciones negativas altas y que, además, resulta significativo al 1 %. Esta evidencia numérica muestra que, en las horas nocturnas, las clases con niveles más elevados de presión sonora reúnen una menor proporción de residentes, mientras que las bandas inferiores concentran la mayor parte de la población evaluada. Tal como señala Arévalo, Y. (comunicación personal, 18 de noviembre de 2025), la interpretación de una correlación negativa significativa es válida siempre que exista coherencia con el comportamiento del fenómeno analizado, lo cual se cumple en este caso.

Tabla 31

*Correlaciones de Pearson entre niveles sonoros y número de residentes.*

		NPS	Exposición Lden	Exposición Ln
NPS	Correlación de Pearson	1	-0.406	-.888**
	Sig. (bilateral)		0.366	0.008
	N	7	7	7
Cant. Residentes (Lden)	Correlación de Pearson	-0.406	1	0.404
	Sig. (bilateral)	0.366		0.368
	N	7	7	7
Cant. Residentes (Lnight)	Correlación de Pearson	-.888**	0.404	1
	Sig. (bilateral)	0.008	0.368	
	N	7	7	7

*Nota:* Elaboración propia a partir de resultados SPSS (2025) en base a valores simulados en iNoise 2024.3. \*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

En efecto, la lectura conjunta de los resultados indica que la relación entre el nivel sonoro y la exposición poblacional adopta un patrón decreciente, condicionado por la configuración urbana de Huacho y por la distribución de su red vial. Las zonas donde se registran los niveles más altos de presión sonora no coinciden necesariamente con los sectores de mayor densidad residencial, sobre todo en el periodo nocturno, cuando el flujo en las vías se reduce, pero no desaparece por completo. Aun así, la correlación significativa encontrada para Lnight confirma que la exposición acústica residencial se relaciona con la proximidad de las viviendas a los ejes viales y, por consecuencia, a las fuentes emisoras que mantienen actividad durante la noche.

#### **4.1.4. Evaluación de escenarios de mitigación - Urbanización Los Cipreses.**

OE4: Comparar los niveles de presión sonora vehicular y la población residencial expuesta bajo diferentes escenarios de mitigación del ruido, simulados con CNOSSOS-EU en una zona crítica del distrito de Huacho, 2025. Para esto, el área de cálculo comprendió 34.98 ha que contiene a la Urbanización Los Cipreses, e incluyó 6 587 puntos de grilla junto con 3 733 receptores asignados a edificaciones residenciales o mixtas, lo que permitió evaluar de manera directa la exposición acústica de 16 220 residentes dentro de la subzona modelada.

### ***Escenario base - sin intervención.***

En la condición actual se observó un patrón acústico claramente influido por la Panamericana Norte (VRN) y la Av. Baltazar La Rosa (VP), cuyos aportes dominan el comportamiento sonoro del sector; los niveles máximos alcanzaron 80.10 dB(A) en Lden y 71.32 dB(A) en Lnight (Tabla 32), valores que se concentran sobre los ejes de mayor flujo y que confirman la naturaleza estructural del ruido vehicular en la zona. El gradiente de exposición se introduce entre 30 y 70 m desde el eje vial hacia el interior de la urbanización, de modo que se forman superficies extensas en bandas superiores a 60 dB(A), y esta condición repercute directamente sobre la población, ya que más de 2 700 residentes se ubican en la franja 60–65 dB(A) y 975 en 65–70 dB(A) para Lden (Tabla 35 y Tabla 36), lo que evidencia que la mayor carga sonora proviene de fuentes lineales sin mitigación. Esto se aprecia en las isófonas mostradas en los Anexo 9 y Anexo 10 que revelan amplias zonas en tonos naranjas, rojos y violetas alrededor de las fachadas cercanas a las vías principales.

Tabla 32

*NPS media y máxima por indicador para cada escenario de mitigación.*

Escenario	Lden promedio Energético (dB(A))	Lden máximo (dB(A))	Lnight promedio Energético (dB(A))	Lnight máximo (dB(A))
E0-Base	70.00	80.10	61.90	71.32
E1-NL03	67.06	75.79	59.61	67.49
E2-Pantallas	69.14	82.85	61.10	73.99
E3-Combinado	66.30	78.64	58.89	70.61

*Nota:* Elaboración propia en base a valores simulados en iNoise 2024.3 (2025).

### ***Escenario 1 - Pavimento de alta absorción (NL03).***

La sustitución del pavimento convencional por un material equivalente a NL03 (Tabla 18) produjo una reducción homogénea a lo largo de toda la red vial, y este comportamiento se reflejó en descensos promedio cercanos a 3 dB(A) en Lden y entre 2 y 3 dB(A) en Lnight (Tabla 37), valores que cercanos con los rangos de atenuación documentados literatura (Tabla 19). El nivel máximo también disminuyó de forma perceptible, alcanzando 75.79 dB(A) en Lden y 67.49 dB(A) en Lnight, lo que muestra que la mejora actúa directamente sobre la fuente sonora e independientemente de la dirección de propagación.

Tabla 33

*Distribución Superficial por bandas de nivel en cada escenario (Lden).*

Banda (dB)	E0-Base (ha)	E1-NL03 (ha)	E2-Pantallas (ha)	E3-Combinado (ha)
< 50	3.78	4.72	3.88	4.90
50–55	2.82	3.04	3.36	4.15
55–60	4.05	5.46	6.60	8.02
60–65	9.10	9.36	9.60	8.85
65–70	7.62	6.83	6.17	4.57
70–75	4.90	5.40	3.38	4.18
> 75	2.70	0.17	2.00	0.31

*Nota:* Elaboración propia en base a valores simulados en iNoise 2024.3 (2025). Superficie total, 34.98 ha.

Tabla 34

*Distribución Superficial por bandas de nivel en cada escenario (Lnight).*

Banda (dB)	E0-Base (ha)	E1-NL03 (ha)	E2-Pantallas (ha)	E3-Combinado (ha)
< 50	7.92	9.99	9.56	11.97
50–55	5.58	6.56	7.76	9.01
55–60	10.17	8.90	9.28	6.84
60–65	6.35	7.52	4.70	4.87
65–70	4.54	2.01	3.00	2.30
70–75	0.44	0.00	0.68	0.00
> 75	0.00	0.00	0.00	0.00

*Nota:* Elaboración propia en base a valores simulados en iNoise 2024.3 (2025). Superficie total, 34.98 ha.

Este cambio repercutió en la superficie expuesta a niveles críticos, ya que el área con valores superiores a 75 dB(A) pasó de 2.70 ha a 0.17 ha, y más de 250 residentes dejaron de ubicarse en la banda 65–70 dB(A), lo cual ilustra el impacto directo de la intervención sobre la exposición poblacional. En los Anexo 9 y Anexo 10 se aprecia una transición notoria desde las bandas 70–75 dB(A) hacia intervalos de 60–65 dB(A), sobre todo en los segmentos interiores de la urbanización, y este desplazamiento confirma que la absorción superficial resulta efectiva en zonas donde el ruido dominante proviene del contacto neumático-pavimento.

### ***Escenario 2 - Pantallas acústicas.***

El escenario con pantallas acústicas incorporó tres tipologías distribuidas de manera estratégica según la proximidad de las fachadas, la topografía local y los tramos donde se identificaron las mayores excedencias. En total se instalaron i) 1 496.76 m de pantallas tipo 1

(metacrilato con base absorbente) a lo largo de la Panamericana Norte, ii) 797.69 m de pantallas tipo 3 (estructuras vegetalizables con núcleo granular) en la avenida Baltazar La Rosa y iii) 1 912.9 m de pantallas tipo 2 (cercos arbustivos densos) ubicadas en bermas exteriores, que permitió cubrir los puntos más sensibles de la urbanización, especialmente aquellos directamente expuestos al tráfico de alta velocidad y alta intensidad.

Los niveles máximos alcanzaron 82.85 dB(A) en Lden, debido a que los valores se miden directamente sobre la calzada, donde la energía sonora queda atrapada entre la pantalla y el flujo vehicular, un comportamiento esperado en barreras de alta reflexión.

Detrás de las pantallas tipo 1 y 3 se observaron reducciones que oscilaron entre 4 y 8 dB(A), dependiendo de la geometría local y de la distancia hacia las fachadas. En la avenida Baltazar La Rosa, las pantallas vegetalizables mostraron un desempeño favorable, ya que la disminución del nivel sonoro se visualiza en el gradiente de las isófonas, lo que evidencia un efecto de sombra acústica más amplio. En cambio, las pantallas tipo 2 no generaron variaciones relevantes, debido a que su baja altura no permitió bloquear la línea de vista directa hacia la fuente, lo cual limitó su capacidad de atenuación.

Tabla 35

*Población residente expuesta por bandas de nivel (Lden).*

Banda (dB)	E0-Base (Cant.)	E1-NL03 (Cant.)	E2-Pantallas (Cant.)	E3-Combinado (Cant.)
< 50	10328	10400	10326	10446
50–55	387	881	512	1055
55–60	1624	2220	2068	2488
60–65	2717	2011	2651	1771
65–70	975	708	663	460
70–75	189	0	0	0
> 75	0	0	0	0

*Nota:* Elaboración propia en base a valores simulados en iNoise 2024.3 (2025). Población evaluada, 16220.

Tabla 36

*Población residente expuesta por bandas de nivel (Lnight).*

Banda (dB)	E0-Base (Cant.)	E1-NL03 (Cant.)	E2-Pantallas (Cant.)	E3-Combinado (Cant.)
< 50	11188	11963	11426	12310
50–55	2294	2387	2541	2452
55–60	2216	1617	1937	1335
60–65	523	253	317	124
65–70	0	0	0	0
70–75	0	0	0	0
> 75	0	0	0	0

*Nota:* Elaboración propia en base a valores simulados en iNoise 2024.3 (2025). Población evaluada, 16220.

En términos poblacionales, la redistribución resultó leve. Lden indica que se redujo el número de residentes ubicados en la banda 60–65 dB(A) en 66 unidades, mientras que el grupo situado en 55–60 dB(A) aumentó en 444 unidades (Tabla 35), lo que sugiere un efecto de mitigación localizado, más efectivo en las fachadas directamente beneficiadas por la sombra acústica que en el conjunto del sector. Esta dinámica confirma que la instalación de pantallas genera mejoras puntuales, aunque no transforma de manera significativa la estructura general de exposición poblacional dentro de la urbanización.

### ***Escenario 3 - Medidas combinadas.***

El escenario combinado fue el que logró la mayor reducción global en toda la urbanización, ya que el Lden promedio descendió hasta 66.30 dB(A), lo que representa una disminución de 3.7 dB(A) respecto al escenario base, mientras que el Lnight se redujo a 58.89 dB(A), evidenciando una mejora simultánea tanto en la fuente como en la propagación. Este comportamiento refleja la contribución conjunta de la absorción superficial del pavimento y del efecto de sombra acústica generado por las pantallas, lo que permitió una atenuación más estable a lo largo de toda la red vial.

Como resultado, la superficie expuesta a niveles superiores a 75 dB(A) prácticamente desapareció y, en paralelo, la banda < 50 dB(A) se expandió en 1.12 ha y 4.05 ha manera en el indicador Lden y nocturno respectivamente (Tabla 33 y Tabla 34). En términos de población, la cantidad de residentes ubicados en bandas iguales o superiores a 65 dB(A) se redujo en 60.48 %,

redistribuyéndose hacia intervalos iguales o inferiores a 60 dB(A), lo que confirma un descenso significativo en la carga acústica sobre las viviendas más expuestas.

Tabla 37

*Variaciones de los efectos observados entre escenarios de mitigación.*

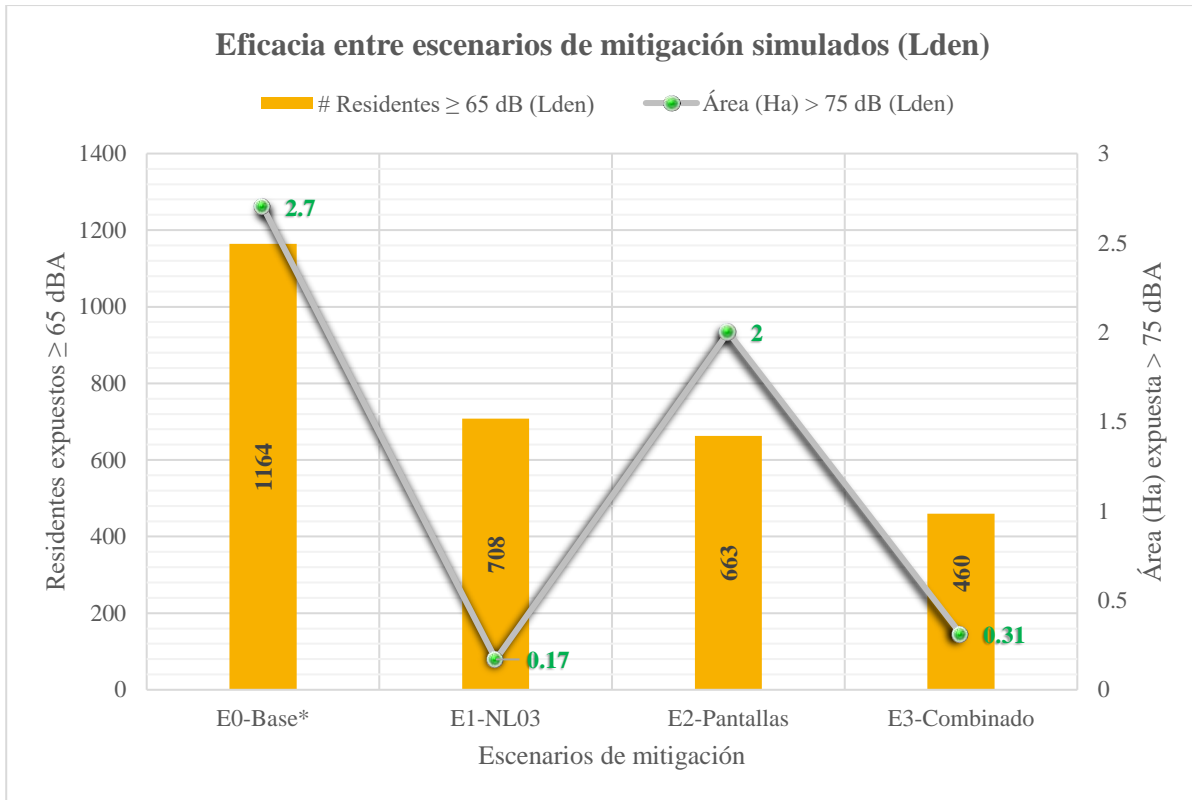
Escenario	$\Delta L_{den}$ prom.	$\Delta L_{night}$ prom.	Cambio en población $\geq 65$ dB (Lden)	Área > 75 dB (Lden)
E0-Base*	0.00 dB(A)	0.00 dB(A)	1164 personas	2.70 ha
E1-NL03	-2.94 dB(A)	-2.29 dB(A)	708 personas	0.17 ha
E2-Pantallas	-0.86 dB(A)	-0.80 dB(A)	663 personas	2.00 ha
E3-Combinado	-3.70 dB(A)	-3.01 dB(A)	460 personas	0.31 ha

*Nota:* Elaboración propia en base a valores simulados en iNoise 2024.3 (2025). \*Escenario de referencia.

### ***Comparación entre escenarios de mitigación.***

Los resultados permiten identificar tres conclusiones centrales que orientan la interpretación del desempeño de las medidas evaluadas. En primer lugar, el pavimento absorbente tipo NL03 mostró la mayor reducción global entre las intervenciones individuales, ya que disminuye los niveles en todas las vías pavimentadas y reduce de forma apreciable la cantidad de residentes ubicados en bandas altas, lo que confirma su eficacia cuando la rodadura constituye la principal fuente de emisión. En segundo lugar, las pantallas acústicas demostraron ser eficaces de manera localizada, sobre todo en el caso de las tipologías 1 y 3, aunque su desempeño depende en gran medida de la geometría vial y de la proximidad entre la fuente y las fachadas receptoras, por lo que su efecto no se distribuye de forma homogénea en todo el entorno urbano. Finalmente, la medida combinada se consolidó como la alternativa más eficiente y completa, dado que genera reducciones sistemáticas y estables tanto en los niveles energéticos como en la exposición poblacional, integrando los beneficios del tratamiento superficial y del control de propagación.

En conjunto, el análisis evidencia que la Urbanización Los Cipreses requiere estrategias integrales que actúen simultáneamente sobre la fuente y sobre la propagación para aproximarse a un entorno acústico aceptable y compatible con los estándares internacionales de referencia.



*Figura 37.* Distribución de exposición edificatoria por periodo y sector urbano.

*Nota.* Elaboración propia, 2025. E0: situación actual, E1: pavimento de mayor absorción sonora, E2; pantallas acústicas, E3: escenarios combinados.

## CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

### 5.1 Discusión de Resultados

#### 5.1.1. NPS simulados mediante CNOSSOS-EU (OE-1).

La cartografía de distribución del ruido vehicular resultante evidenció que el 60,73 % del territorio urbano excedió el umbral de 55 dB(A) para Lden y que el 51,58 % superó los 50 dB(A) en Ln (Tabla 21), lo cual confirmó un escenario de exposición generalizada incluso bajo criterios relativamente exigentes como los de la END europea. Estos porcentajes resultan comparables a los reportados por Faulkner y Murphy (2022) en Irlanda, donde la aplicación de CNOSSOS-EU mostró concentraciones de Lden superiores a 55 dB(A) en más del 50% de la aglomeración de Dublín que fue estudiada por consideraciones de elección similares a la de esta investigación como son i) concentrar la mayor población dentro de la jurisdicción y ii) abarcar el mayor volumen de flujo de tráfico, y por otro lado, difieren de Yeboah (2021) quien obtuvo que solo el 43.5% y el 20% de la aglomeración de Gävle se encuentra por encima del umbral para Lden y Lnight respectivamente. Esta diferencia se sustenta en la mayor superficie vegetalizada que cubre el área estudiada por Yeboah resultando ser un factor que atenuante por la absorción del terreno, además difiere la configuración urbana respecto a la Aglomeración en el casco urbano de Huacho.

Asimismo, la distribución de los NPS resultó consistentes con estudios latinoamericanos basados en mediciones, como el mapa de ruido de Bogotá (Gamero, 2020), en el que los niveles diurnos y nocturnos oscilaron predominantemente entre 69 y 80 dB(A) en zonas de alta intensidad vehicular, mientras que en Huacho oscilaban 75.27 a 81.21 dB(A) en zonas cercanas a la Av. Panamericana Norte, vía de tipo VRN (Tabla 20). La distinción primordial se centró en el enfoque metodológico adoptado: mientras que la mayoría de las investigaciones latinoamericanas se fundamentaron en campañas de monitoreo puntuales y posterior interpolación espacial (Gamero, 2020; Cahuana y Mesias, 2022; Coronel, 2022; Dávila, 2023), el presente estudio integró un modelo de emisión y propagación estandarizado que permitió estimar el ruido en una malla regular de 10 metros por cada punto de cálculo, capturando de forma explícita el efecto de edificaciones, tipos de pavimento y usos de suelo según lo establecido por la Directiva 2015/996, que proporcionó una perspectiva

más sistémica del ruido vehicular en Huacho y facilitó su comparación con trabajos desarrollados en contextos donde CNOSSOS-EU se erige como el referente normativo.

La evaluación de los resultados de contrastación de NPS diurno predichos por el método CNOSSOS-EU y los niveles medidos in situ, indicó que para los datos de Pantoja (2024), el modelo presentó un MAE de 3.08 dB y un RMSE de 3.32 dB, con un 60% de los puntos dentro del intervalo de  $\pm 3$  dB fijado como margen de error aceptable por MITECO y CEDEX (2025). La prueba t no mostró diferencias estadísticamente significativas ( $p = 0.4362$ ) y el CCC obtenido fue 0.4937, y aunque los datos son similares a los obtenidos por Yeboah (2021) junto a González y Hernández (2023) quienes obtuvieron  $\pm 3.41$  dB y  $\pm 3.7$  dB de RMSE respectivamente, los valores obtenidos están por encima del margen de error aceptable de  $\pm 2$  dB, según lo establecido por Murphy y King (2022); sin embargo, este resultado es esperable por tratarse de un sonómetro de clase 2 que según Luna (2022), no garantiza precisión. Además, las diferencias observadas pueden atribuirse a que las fluctuaciones en los NPS de zonas residenciales son elevadas porque predominan los eventos de ruido únicos, como el tránsito ocasional de un vehículo intercalado con largos periodos de ruido de fondo, y si a esto se suma la influencia de otras fuentes de ruido, es probable que las predicciones del nivel de ruido sean inexactas. Por su parte, Faulkner & Murphy (2022), plantean que en términos de propagación, el modelo CNOSSOS-EU sobreestima en 1,1 dB(A) y subestima en -0,6 dB(A) en comparación con las mediciones in situ, lo cual sugiere que la modelización refleja con precisión la situación real del ruido; y difiriendo del análisis de contrastación obtenido debido al riguroso control que se efectuó en la campaña de medición en Dublin, Irlanda como los micrófonos colocados a 7.5m del centro de la calzada de acuerdo a la norma ISO 11819-1:1997 (ahora 2023), a una altura del nivel del suelo de 1.5m con un sonómetro de clase 1 con calibración de laboratorio y campo, y a intervalos de 30 m de acuerdo con la norma ISO 18819-1:1997.

Por otro lado, para los datos del PLANEFA (2025) medidos con un sonómetro de clase 1, se obtuvo un MAE superior de 3.73 dB y un RMSE de 4.25 dB, con un 45.45% de los puntos dentro de  $\pm 3$  dB. La prueba t evidenció diferencias significativas ( $p = 0.0001753$ ) y el CCC fue 0.1752; Sin embargo, el operador del sonómetro informó que no se realizó calibración de campo debido a fallas en el calibrador, ante ello la ISO 1996-2:2017 señala que, cuando las mediciones no cumplen con las buenas prácticas (incluyendo la calibración antes y después de la toma de datos, la estabilidad

de las condiciones ambientales, el posicionamiento estándar del micrófono y el control del viento y tráfico) dichos registros no deben emplearse para validar de manera estricta los modelos acústicos.

### **5.1.2. Exposición de la población al ruido vehicular (OE2).**

El cruce entre las isófonas modeladas y la capa de edificaciones permitió cuantificar la población expuesta por bandas de nivel sonoro, considerando un total de 76 316 residentes. Para  $L_{den}$ , el 18,2 % de la población se ubicó en bandas inferiores a 50 dB(A), el 25,3 % se concentró entre 50 y 60 dB(A) y el 56,5 % restante se expuso a niveles iguales o superiores a 60 dB(A), destacando que el 36,3 % se encontró por encima de 65 dB(A). Para  $L_{night}$ , el 34,1 % de los habitantes se localizó por debajo de 50 dB(A), mientras que el 40,9 % se situó entre 50 y 60 dB(A) y el 27,0 % se expuso a niveles nocturnos iguales o superiores a 60 dB(A). Estos valores indicaron una carga de exposición relevante, especialmente si se considera que, de acuerdo con las guías de la OMS (2018), niveles superiores a 55 dB(A) durante el día y a 45 dB(A) durante la noche se asocian con molestias, alteraciones del sueño y riesgo incrementado de enfermedades cardiovasculares.

Los porcentajes de población expuesta obtenidos en Huacho presentan una similitud con los reportados por Faulkner y Murphy (2022). Estos últimos, mediante CNOSSOS-EU, estimaron que aproximadamente un tercio de la población irlandesa experimenta niveles de  $L_{den}$  superiores a 55 dB(A) en proximidad a las principales vías. Asimismo, Yeboah (2021) utilizó SIG de código abierto para cartografiar el ruido urbano y evidenció que los residentes próximos a ejes viales presentan una mayor probabilidad de sufrir exposición crónica. Además, los resultados de este estudio dialogan con los hallazgos de Luna (2022) en Huacho. A pesar de que este último se basó en mediciones puntuales, ya había señalado la prevalencia de niveles superiores al ECA en zonas de tráfico intenso y la percepción de molestia entre la población. De manera similar, Ascanio y Coronel (2024) reportaron que el ruido generado por el tráfico vehicular en Huancayo se relacionó con el deterioro de la calidad de vida en las zonas comerciales. Estos autores destacaron que la exposición sostenida por encima de los límites nacionales coincide con molestias, estrés y dificultades de comunicación.

En este contexto, la modelización CNOSSOS-EU añadió valor al permitir un análisis por dominios: territorial, edificatorio y poblacional. La síntesis de afectación reveló que, de acuerdo

con el criterio END-Lden, el 60,73 % de la superficie urbana, el 83,71 % de las edificaciones y el 71,52 % de la población superaron los umbrales recomendados. Por otro lado, con el marco ECA-ruido peruano, los porcentajes disminuyeron, aunque continuaron siendo significativos (44,81 % de edificaciones y 56,25 % de población afectada). Esta divergencia en los marcos regulatorios se alinea con el análisis comparativo realizado por Gamero (2020), quien evidenció que los umbrales legales peruanos son menos rigurosos que los valores guía establecidos por la OMS. Además, la gestión del ruido en Lima y Callao se sustenta en un sistema de fiscalización fragmentado, con competencias distribuidas entre las municipalidades y las entidades ambientales, y una aplicación desigual de las ordenanzas.

### **5.1.3. Relación entre niveles sonoros y exposición poblacional (OE3).**

Para Lden se obtuvo un coeficiente  $r = -0,406$  ( $p = 0,366$ ), correspondiente a una correlación negativa moderada, pero no significativa. Por otro lado, para Lnight el coeficiente fue  $r = -0,888$  ( $p = 0,008$ ), lo que evidenció una correlación negativa alta y estadísticamente significativa al 1 %. Este resultado indica una correlación negativa entre los niveles de NPS y la cantidad de residentes, especialmente durante el horario nocturno, donde se evidencia una mayor intensidad en el patrón observado. Desde una perspectiva territorial, este comportamiento se alineó con la configuración urbana de Huacho, donde los niveles más altos se concentraron predominantemente en las áreas adyacentes a la Panamericana Norte y la avenida Baltazar La Rosa, caracterizadas por una mayor presencia de usos no residenciales, áreas vacantes o franjas de protección vial, mientras que las bandas de nivel intermedio albergaron la mayor densidad de viviendas. Este patrón contrastó parcialmente con el observado en otras ciudades, donde las áreas de mayor ruido coinciden con polígonos residenciales de alta densidad (González Lozano y Rodríguez, 2023; Dávila, 2023). En Santa Clara (Cuba) y Aucayacu, la exposición y la vulnerabilidad social tendieron a superponerse en los ejes más congestionados. Esta discrepancia sugiere que, en Huacho, aún persiste una separación física entre los corredores de tráfico intenso y las áreas residenciales compactas, lo cual representa una oportunidad de planificación para evitar que futuras expansiones urbanas reduzcan la distancia de protección existente.

En este sentido, la existencia de una correlación negativa significativa durante el horario nocturno puede ser interpretada a la luz de la estructura de usos y de la dinámica temporal del tráfico. El descenso generalizado de flujos nocturnos provoca que los valores de Ln se mantengan

relativamente moderados en la mayoría de barrios residenciales, mientras que los puntos con niveles más elevados corresponden a tramos específicos de la red donde persiste una circulación importante de vehículos pesados, pero con escaso tejido habitado inmediato. Estas observaciones resultaron ser congruentes con la apreciación metodológica de Arévalo (comunicación personal, 2025), en el sentido de que las correlaciones negativas pueden ser interpretadas de manera válida siempre y cuando exista una lógica territorial y funcional coherente con el fenómeno estudiado.

#### **5.1.4. Evaluación de escenarios de mitigación (OE4).**

En la simulación del escenario base aplicado la urbanización Los Cipreses, una zona crítica situada en proximidad directa a la carretera Panamericana Norte, el Lden promedio energético en el área de cálculo fue de 70,0 dB(A) y el Ln de 61,9 dB(A), con niveles máximos de 80,1 y 71,3 dB(A), respectivamente. La implementación de un pavimento de alta absorción, equivalente al tipo NL03, resultó en una reducción de los niveles promedio de 2,94 dB(A) para Lden y 2,29 dB(A) para Lnight. En contraste, la instalación de pantallas acústicas generó descensos de 0,86 y 0,80 dB(A), respectivamente. El escenario combinado (pavimento + pantallas) produjo las reducciones globales más significativas, con descensos de 3,70 dB(A) en Lden y 3,01 dB(A) en Lnight en comparación con el escenario base.

En el ámbito del análisis espacial, se evidenció que, en el escenario combinado, la superficie expuesta a niveles superiores a 75 dB(A) experimentó una reducción notable, mientras que la banda de frecuencias inferiores a 50 dB(A) experimentó un incremento de 1,12 ha para Lden y 4,05 ha para Ln. En lo que respecta a la población, se observó una disminución del 60,48 % en la cantidad de residentes expuestos a niveles de ruido iguales o superiores a 65 dB(A). Este cambio se caracterizó por una redistribución hacia intervalos de ruido menores o iguales a 60 dB(A), lo que resultó en una importante reducción de la carga acústica sobre las viviendas más expuestas. Estos hallazgos resultan coherentes con la literatura científica que respalda la eficacia de los pavimentos porosos y de las barreras acústicas como estrategias combinadas de gestión del ruido vial (Ascari et al., 2024; Vanhooreweder et al., 2016). Por consiguiente, se fortalece la importancia de abordar tanto las medidas sobre la fuente (rodadura) como sobre la propagación de manera complementaria.

Además, la simulación de escenarios permitió identificar matices relevantes. El pavimento NL03 exhibió un efecto más homogéneo en toda la malla vial pavimentada, lo que resultó en una reducción de los niveles tanto en Los Cipreses como en otros segmentos de la avenida principal. Por otro lado, las pantallas acústicas mostraron un comportamiento marcadamente localizado, con una eficacia notable en el contorno de la Panamericana Norte y en la avenida Baltazar La Rosa, pero sin alterar de forma sustancial los niveles en calles interiores con tráfico moderado. Esta discrepancia concuerda con las observaciones presentadas por Ascari et al. (2024), quienes destacaron la relevancia de una caracterización precisa de los pavimentos en el contexto de CNOSSOS-EU para la obtención de estimaciones confiables sobre la exposición. Este hallazgo se alinea con las prácticas europeas, en las cuales se implementan barreras acústicas de manera selectiva para situaciones particulares de conflicto entre vías de alta capacidad y áreas residenciales.

Al integrar los cuatro objetivos, la investigación puso en evidencia tanto las potencialidades como las limitaciones del uso de modelos predictivos para la gestión del ruido urbano en el contexto peruano. Entre las fortalezas metodológicas, cabe destacar en primer lugar, la adopción de CNOSSOS-EU como marco de cálculo armonizado, lo que permitió generar mapas de ruido comparables con las exigencias de la END y con estudios internacionales, superando el enfoque tradicional de monitoreo puntual que ha predominado en el país (Gamero, 2020; Luna, 2022; Cahuana & Mesias, 2022). En segundo lugar, el estudio incorporó información detallada de flujos vehiculares obtenidos mediante aforos manuales y clasificados por categorías de vehículo, así como velocidades calculadas a partir de recorridos virtuales con GPS, lo que aportó realismo a las condiciones de emisión. En tercer lugar, la asignación de población a nivel de edificación y su posterior cruce con las isófonas permitió pasar de una visión centrada en puntos de monitoreo a un enfoque de exposición territorial y edificatoria, alineado con las recomendaciones de la OMS y de la END.

## **CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 Conclusiones**

- El método CNOSSOS-EU ha demostrado una capacidad predictiva adecuada para caracterizar la distribución espacial de los niveles de presión sonora generados por el tráfico rodado y ha identificado condiciones acústicas críticas en las zonas cercanas a las carreteras principales, así como frecuentes superaciones de los límites diurnos y nocturnos.
- Mas del 70% de la población residente supera el umbral END para Lden y más del 75% de edificaciones supera los 50 dB en Ln. La brecha entre el criterio END y ECA evidencia que la normativa nacional requiere reforma.
- Se ha confirmado que la relación es significativa en Ln y la configuración urbana actual de Huacho, donde los ejes de mayor ruido ↔ con áreas de mayor densidad residencial, representa una oportunidad de planificación a preservar
- El escenario combinado resultó ser la estrategia más eficaz, confirmando la viabilidad técnica de intervenciones basadas en CNOSSOS-EU para la gestión del ruido urbano en el contexto urbano.

### **6.2 Recomendaciones**

#### ***Para las autoridades locales.***

- Incluir mapas estratégicos de ruido en los planes de desarrollo urbano, utilizando métodos estandarizados como CNOSSOS-EU.
- Establecer franjas de protección contra el ruido entre los principales corredores de transporte y los nuevos edificios residenciales.
- Dar prioridad a las medidas en zonas críticas con superficies de carretera porosas y barreras acústicas.

#### ***Para la gestión del tráfico vehicular.***

- Realizar recuentos periódicos y clasificados de vehículos en intersecciones críticas.
- Regular el tráfico de vehículos pesados en calles residenciales durante las horas nocturnas.
- Utilizar señales acústicas para reducir la velocidad en zonas con altos niveles de ruido nocturno.

#### ***Para futuras investigaciones.***

- Validar los coeficientes de absorción acústica de las superficies de las carreteras locales mediante pruebas de laboratorio.
- Comparar CNOSSOS-EU con otros modelos en contextos latinoamericanos.
- Revisar su aplicación a fuentes puntuales locales, como actividades comerciales o industriales.

***Para la actualización de la normativa.***

- Establecimiento de umbrales para la población expuesta como criterio para clasificar las zonas acústicamente críticas.
- Propuesta de inclusión de los indicadores Lden y Lnight en el reglamento de estándares de calidad ambiental para el ruido.
- Elaboración de directrices nacionales para la elaboración de mapas estratégicos de ruido en las grandes ciudades.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Ambiental Europea [EEA]. (14 de Diciembre de 2020). *Publications. Briefing: Health risks caused by environmental noise in Europe [Resumen: Riesgos para la salud causados por el ruido ambiental en Europa]*. Obtenido de European Environmental Agency. An official website of the European Union.: <https://www.eea.europa.eu/publications/health-risks-caused-by-environmental>
- Agencia Ambiental Europea [EEA]. (2025). *Exposición de la población europea al ruido ambiental*. Obtenido de European Environmental Agency. An official website of the European Union.: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/exposure-of-european-population-to-noise?activeAccordion=>
- Alam, P., Ahmad, K., Afsar, S., & Akhtar, N. (Mayo de 2020). Noise Monitoring, Mapping, and Modelling Studies – A Review. *Journal of Ecological Engineering*, 21(4), 82-93. doi:10.12911/22998993/119804
- Alzallú, J. A. (Agosto de 2016). Eficacia y distancia de frenado. *Publicaciones Didácticas*, 341-345. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/235859049.pdf>
- Andrade, R., & Mas, M. (24 de Abril de 2024). *La contaminación sonora y su impacto en el Perú*. Recuperado el Febrero de 2025, de *Clima de Cambios*. Novedades: [https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/la-contaminacion-sonora-y-su-impacto-en-el-peru/#:~:text=El%20ser%20humano%20percibe%20el%20sonido%20medido,se%20comienza%20a%20sentir%20dolor%20\(OEFA%2C%202016\).&text=Esta%20se%20da%20a%20causa%20de%20lesio](https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/la-contaminacion-sonora-y-su-impacto-en-el-peru/#:~:text=El%20ser%20humano%20percibe%20el%20sonido%20medido,se%20comienza%20a%20sentir%20dolor%20(OEFA%2C%202016).&text=Esta%20se%20da%20a%20causa%20de%20lesio)
- Anghel, C., Covaciu, D., Florea, D., Timar, J., & Vlase, S. (2009). Noise mapping for urban road traffic and its effect on the local community. *The 3rd International Conference on Computational Mechanics and Virtual Engineering*. Brasov: COMEC 2009. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/228809870\\_NOISE\\_MAPPING\\_FOR\\_URBAN\\_ROAD\\_TRAFFIC\\_AND\\_ITS\\_EFFECT\\_ON\\_THE\\_LOCAL\\_COMMUNITY](https://www.researchgate.net/publication/228809870_NOISE_MAPPING_FOR_URBAN_ROAD_TRAFFIC_AND_ITS_EFFECT_ON_THE_LOCAL_COMMUNITY)

- Armijos, F. M. (2018). *Predicción de ruido por tráfico vehicular y elaboración del mapa de ruido utilizando el modelo HARMONOISE del Centro Histórico de Cuenca*. Cuenca, Ecuador: [Tesis para optar por el Título de Ingeniero Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. Repositorio Institucional de la UPS. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15595>
- Ascanio, D. A., & Coronel, M. C. (2024). *Influencia del ruido vehicular en la calidad de vida de la zona comercial de la avenida Real en el distrito de Huancayo desde la calle Ayacucho hasta la calle Ferrocarril, 2023*. Huancayo, Perú: [Tesis para optar el título profesional Ingeniero Ambiental, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental . Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/15826>
- Ascari, E., Cerchiai, M., Fredianelli, L., Melluso, D., & Licitra, G. (Mayo de 2024). Tuning user-defined pavements in CNOSSOS-EU towards reliable estimates of road noise exposure. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 130, 1-12. doi:10.1016/j.trd.2024.104195
- Asociación Automotriz del Perú [AAP]. (2024). *Indicadores del Sector Automotor 2019-2023*. Obtenido de Observatorio AAP sobre movilidad y transporte: <https://aap.org.pe/observatorio-aap/observatorio-julio2024.pdf>
- Asociación Automotriz del Perú [AAP]. (2025). *Resultados del Sector Automotor a Diciembre del 2025*. Obtenido de Informe Estadístico Automotor (AAP): <https://aap.org.pe/informes-estadisticos/diciembre-2025/Informe-Diciembre-2025.pdf>
- Aspuru, I., & Segues, F. (Octubre-Diciembre de 2011). CNOSSOS-EU: desarrollo de un método común de evaluación del ruido ambiental en la Unión Europea. *Ingeniería Civil: Revista Digital del Cedex*(164), 25-33. Obtenido de <https://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/251>
- Ausejo, M., Asensio, C., Recuero, M., & Pavón, I. (Enero de 2011). Mejora de los datos de entrada en la realización de un mapa de ruido y sus efectos en la incertidumbre. *Revista de Acústica*, 42(1-2), 17-23. Obtenido de <https://oa.upm.es/12052/>

- Babisch, W., Pershagen, G., Selander, J., Houthuijs, D., Breugelmans, O., Cadum, E., . . . Hansell, A. (Mayo de 2013). Noise annoyance — A modifier of the association between noise level and cardiovascular health? *Science of The Total Environment*, 452-453, 50-57. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.02.034
- Bastián, N. A. (2013). *Elaboración de mapa de ruido de la ciudad de Valdivia mediante software de modelación utilizando métodos de simplificación*. Valdivia, Chile: [Tesis para optar por el Título de Ingeniero Civil Acústico, Universidad Austral de Chile]. Sistema de Bibliotecas UACH. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfcib326e/doc/bmfcib326e.pdf>
- Berglund, B., Lindvall, T., Schwela, D. H., & OMS. (1999). *Guidelines for Community Noise*. Geneva: [Equipo de Salud Ocupacional y Ambiental, Organización Mundial de la Salud]. Repositorio Institucional para Compartir Información. Obtenido de <https://iris.who.int/handle/10665/66217>
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la Investigación: administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. (Tercera ed.). PEARSON EDUCACIÓN.
- Bisso, K. (2019). *Paisaje sonoro en el espacio público del sector urbano circunscrito a la plaza principal de la ciudad de Huacho en el 2019: Estudio de casos*. (Tesis de maestría, Universidad Ricardo Palma). Repositorio Institucional de la URP. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14138/3116>
- Blanes, N., Fons-Esteve, J., Hintzsche, M., Ramos, M. J., Rööslí, M., Sáinz de la Maza, M., . . . Peris, E. (2022). [Eionet Report – ETC/HE 2022/5]. *Projected health impacts from transportation noise – Exploring two scenarios for 2030*. Agencia Ambiental Europea. Obtenido de <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-he/products/etc-he-products/etc-he-reports/etc-he-report-2022-5-projected-health-impacts-from-transportation-noise-2013-exploring-two-scenarios-for-2030>
- Bodin, T., Björk, J., Mattisson, K., Bottai, M., Rittner, R., Gustavson, P., . . . Albin, M. (11 de Febrero de 2016). Road traffic noise, air pollution and myocardial infarction: a prospective cohort study. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 89, 793-802. doi:10.1007/s00420-016-1115-9

- Bravo-Moncayo, L., Chávez, M., Puyan, V., Lucio-Naranjo, J., Garzón, C., & Pavón-García, I. (2019). A cost-effective approach to the evaluation of traffic noise exposure in the city of Quito, Ecuador. *Case Studies on Transport Policy*, 7(1), 128-137. doi:10.1016/j.cstp.2018.12.006
- Brito, L. A. (Noviembre-Diciembre de 2017). A utilização de mapas acústicos como ferramenta de identificação do excesso de ruído em áreas urbanas [La utilización de mapas acústicos como herramienta de identificación del exceso de ruido en áreas urbanas]. *Eng Sanit Ambient*, 22(6), 1095-1107. doi:10.1590/S1413-41522017152589
- Brüel & Kjær. (s.f.). *La medida del sonido: ¿Qué son la potencia sonora y la presión sonora?* Recuperado el Febrero de 2025, de Brüel & Kjær: Conocimientos.: <https://www.bksv.com/es/knowledge/blog/sound/sound-power-sound-pressure>
- Buhaug, H., & Urdal, H. (2013). An urbanization bomb? Population growth and social disorder in cities. *Global Environmental Change*, 23(1), 1-10. doi:10.1016/j.gloenvcha.2012.10.016
- Bunge, M. (1969). *La Investigación Científica. Su estrategia y su filosofía* (Tercera ed.). Siglo XXI Editores. Obtenido de <http://surl.li/hgleuw>
- Cahuana, J. M., & Mesias, T. (2022). *Modelamiento Ambiental aplicando el Software Soundplan en la Evaluación de la Contaminación Sonora del distrito de Chimbote, provincia Del Santa, región Ancash*. Chimbote, Perú: [Tesis para optar por el Título de Ingeniero Ambiental, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Académico UPEU. Obtenido de <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/5251>
- Capuñay, O. (2024). *Planeamiento Integral: Vegueta – Huaura - Lima*. Chiclayo, Perú: [Ficha Técnica Predio UCN°12131 – Predio S/N]. Grupo V & C Inmobiliario S.A.C. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6843134/5920145-planeamiento-integral.pdf>
- Castillo, F. (2021). Evaluación de la contaminación sonora en las zonas comerciales del distrito de Hualmay, Provincia de Huaura, Región Lima. *Repositorio institucional, UNJFSC*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14067/4982>

- Clark, C., & Paunovic, K. (2018). WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Quality of Life, Wellbeing and Mental Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11), 2400. doi:10.3390/ijerph15112400
- Climate Data. (2021). *Perú: Lima: Huacho*. Recuperado el Marzo de 2025, de Climate-Data.org: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/lima/huacho-53901/>
- Cofaru, C., & Tarulescu, S. (Enero de 2009). Study Regarding Air Pollution Produced by Vehicles and a Prediction Model of Chemical Pollutants. *International Conference on Environmental and Geological Science and Engineering*, (págs. 268-273). Brasov. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/228514886\\_Study\\_Regarding\\_Air\\_Pollution\\_Produced\\_by\\_Vehicles\\_and\\_a\\_Prediction\\_Model\\_ofChemical\\_Pollutants](https://www.researchgate.net/publication/228514886_Study_Regarding_Air_Pollution_Produced_by_Vehicles_and_a_Prediction_Model_ofChemical_Pollutants)
- Comisión Electrotécnica Internacional [IEC]. (2013). *Electroacústica - Sonómetros - Parte 1: Especificaciones*. Requisitos con orientación para su uso (Norma IEC No. 61672-1:2013). Obtenido de <https://webstore.iec.ch/en/publication/5708>
- Comisión Europea [CE]. (21 de diciembre de 2020). *Directiva Delegada de la Comisión (UE) 2021/1226* (Anexo II de la Directiva 2002/49/EC ed.). Diario Oficial de la Unión Europea. Obtenido de [https://eur-lex.europa.eu/eli/dir\\_del/2021/1226/oj/eng](https://eur-lex.europa.eu/eli/dir_del/2021/1226/oj/eng)
- Comisión Europea. (04 de Marzo de 2020). *Directiva (UE) 2020/367 de la Comisión*. Diario Oficial de la Unión Europea. Obtenido de <http://data.europa.eu/eli/dir/2020/367/oj>
- Comisión Europea. (25 de junio de 2002). *Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo*. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. Recuperado el Febrero de 2025, de <https://sicaweb.cedex.es/docs/leyes/Directiva-2002-49-CE-Evaluacion-gestion-ruido-ambiental.pdf>
- Congreso de la República del Perú. (10 de Noviembre de 1874). *Ley que eleva al rango de ciudad, la Villa de Huacho que será la capital de la provincia de Chancay*. [Legislación aprobada antes de 1904, ]. Archivo Digital de la Legislación del Perú. Obtenido de <https://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/LeyesXIX/1874024.pdf>

- Coronel, A. I. (2022). *Evaluación de puntos críticos de contaminación sonora aplicando el mapa de ruido ambiental en la zona de comercio central de la ciudad de Juliaca*. Juliaca, Perú: [Tesis para optar por el Título de Ingeniero Ambiental, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio Académico de la UCSM. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/11827>
- Covaciu, D., Florea, D., Timar, J., Dima, D., & Anghel, C. (Mayo de 2015). Study of the noise generated by a major road in a city. *Annals of the University of Oradea: Fascicle Management and Technological Engineering*, 24(14), 147-152. doi:10.15660/AUOFMTE.2015-1.13104
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research Design. Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (Quinta ed.). Sage Publications. Obtenido de [https://spada.uns.ac.id/pluginfile.php/510378/mod\\_resource/content/1/creswell.pdf](https://spada.uns.ac.id/pluginfile.php/510378/mod_resource/content/1/creswell.pdf)
- Cuevas, M. (2025). La percepción del ruido ambiental y la presión sonora en la avenida Domingo Mandamiento Sipán en horario nocturno – Hualmay - 2022. *Repositorio UNJFSC*. Obtenido de <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/10603/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dávila, C. R. (2023). *Modelo geoespacial del ruido ambiental en el casco urbano de la ciudad de Aucayacu - 2022*. Aucayacu, Perú: [Tesis para optar por el Título de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Académico de la UNAS. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2549>
- Decreto Supremo N.º 085-2003-PCM. (2003). *Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido*. Obtenido de Presidencia del Consejo de Ministros: <https://www.gob.pe/institucion/pcm/normas-legales/3115975-085-2003-pcm>
- Denzin, N. K. (2017). *The Research Act. A Theoretical Introduction to Sociological Methods* (Primera ed.). Routledge. Taylor & Francis Group. doi:10.4324/9781315134543
- Diputación Foral de Bizkaia. (Mayo de 2023). *Memoria Resumen de los Mapas de Ruido de la Red Foral de Carreteras de Bizkaia (Trucíos-Turtzioz)*. Obtenido de Diputación Foral de

- Bizkaia (sitio web):  
[https://www.bizkaia.eus/home2/Archivos/DPTO10/Temas/Pdf/Memoria%20Resumen%20Ruido%20Carreteras%20Bizkaia\\_TRUCIOS-TURTZIOZ.pdf](https://www.bizkaia.eus/home2/Archivos/DPTO10/Temas/Pdf/Memoria%20Resumen%20Ruido%20Carreteras%20Bizkaia_TRUCIOS-TURTZIOZ.pdf)
- Directiva (UE) 2015/996/CE. (2015). *Métodos comunes de evaluación del ruido en virtud de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo*. Obtenido de Comisión Europea: <http://data.europa.eu/eli/dir/2015/996/oj>
- Directiva 2002/49/CE. (2002). *Directiva sobre la evaluación y gestión del ruido ambiental*. Obtenido de Parlamento Europeo y del Consejo: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2002/49/oj>
- Dutilleux, G., Defrance, J., Gauvreau, B., & Besnard, F. (Mayo de 2008). The revision of the French method for road traffic noise prediction. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123(5 [supl]). doi:10.1121/1.2933163
- European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise [WG-AEN]. (2006). *Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure*. [Documento de opinión, WG-AEN]. Sistema de Información sobre Contaminación Acústica, CEDEX. Obtenido de <https://sicaweb.cedex.es/wp-content/uploads/2021/08/Good-Practice-Guide-for-Strategic-Noise-Mapping.pdf>
- Faulkner, J.-P., & Murphy, E. (2022). Road traffic noise modelling and population exposure estimation using CNOSSOS-EU: Insights from Ireland. *Applied Acoustics*, 192. doi:10.1016/j.apacoust.2022.108692
- Federación Iberoamericana de Acústica. (1996). *Federación Iberoamericana de Acústica*. Recuperado el Febrero de 2025, de Inicio: <https://fia-acustica.org/>
- FURUNO Product Solutions. (2014). *Technology: Positioning at 10Hz update rate*. Recuperado el Marzo de 2025, de FURUNO Web Site: [https://www.furuno.com/en/gnss/technical/tec\\_rate#page-header](https://www.furuno.com/en/gnss/technical/tec_rate#page-header)
- Gamero, H. G. (2020). Comparación de los niveles de ruido, normativa y gestión de ruido ambiental en Lima y Callao respecto a otras ciudades de Latinoamérica. *Revista*

*Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, 5, 107-142.  
doi:10.18800/kawsaypacha.202001.004

García, A. (2004). La exposición cotidiana al ruido ambiental. *Revista de acústica*, 35(3-4), 36-41. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1064442>

Garg, N., & Maji, S. (Abril de 2014). A critical review of principal traffic noise models: Strategies and implications. *Environmental Impact Assessment Review*, 46, 68-81.  
doi:10.1016/j.eiar.2014.02.001

Gerges, S. N., & Arenas, J. P. (2010). *Fundamentos y control del ruido y vibraciones* (Segunda ed.). Florianópolis, Brasil: NR Editora. Obtenido de [https://catoute.unileon.es/discovery/fulldisplay/alma991000261109705772/34BUC\\_ULE:VU1](https://catoute.unileon.es/discovery/fulldisplay/alma991000261109705772/34BUC_ULE:VU1)

Gobierno Regional de Lima [GOREL]. (19 de Octubre de 2018). *Resolución Directoral Sectorial N° 0254-2018-GRL-GRDE-DRA*. Dirección Regional de Agricultura. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1760684/RDS-254-2018-GRL-GRDE-DRA.pdf>

Gobierno Regional de Lima [GOREL]. (8 de Febrero de 2024). *Sala Situacional Información Estática de la Red de Salud Huaura-Oyón*. Recuperado el Marzo de 2025, de Área de Epidemiología: Hospital Regional de Huacho: [https://www.hdhuacho.gob.pe/WEB\\_MICRORED/sala\\_estatica.html](https://www.hdhuacho.gob.pe/WEB_MICRORED/sala_estatica.html)

González, A. E., Rezzano, N., & Bianchi, F. (2011). Algunas limitaciones de la Norma ISO 9613 – Parte 2 para el estudio de propagación de ruido de aerogeneradores de gran porte. *Reunión Regional de Acústica* (págs. 1-7). Montevideo: Asociación Uruguay de Acústica. Obtenido de <https://www.fing.edu.uy/imfia/grupos/contaminacion-acustica/archivos/RRA%201105%20Algunas%20limitaciones%20de%20la%20Norma%20ISO%209613.%20González.pdf>

González Lozano, R., & Rodríguez Hernández, S. V. (Noviembre de 2023). Estimación del riesgo por contaminación sonora urbana mediante modelado geoespacial y evaluación espacial

- multicriterio en Santa Clara, Cuba. *Revista INVI*, 38(109), 288-317. doi:10.5354/0718-8358.2023.69059
- González, R., & Rodríguez, S. (2022). Revisión al estado del arte de la modelación geoespacial del ruido por tráfico de carreteras. *Revista Cubana de Transformación Digital*, 3(2), 1-25. Obtenido de <https://portal.amelica.org/ameli/journal/389/3893437001/>
- González, R., & Rodríguez, S. (Noviembre de 2023). Estimación del riesgo por contaminación sonora urbana mediante modelado geoespacial y evaluación espacial multicriterio en Santa Clara, Cuba. *Revista INVI*, 38(109), 288-317. doi:10.5354/0718-8358.2023.69059
- Hancock, T., Kemp, L., & Adcock, J. (Diciembre de 2023). Enhanced noise propagation due to meteorological effects practical considerations - Part I. *Proceeding of Meeting on Acoustics*, 52 (2024), 1-15. doi:10.1121/2.0001882
- Harris, C. M. (1995). *Manual de Medidas Acusticas y Control Del Ruido* (Tercera ed.). McGraw Hill Interamericana.
- Hartog, E. (28 de Mayo de 2021). Webinar Modelling with CNOSSOS part 2, 11 May 2021. Países Bajos. Recuperado el Febrero de 2025, de [https://youtu.be/qbA7x09cgGk?si=T0pwZHbi9MTDaL\\_N](https://youtu.be/qbA7x09cgGk?si=T0pwZHbi9MTDaL_N)
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mc Graw Hill Education. doi:10.22201/fesc.20072236e.2019.10.18.6
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mc Graw Hill Education. doi:<https://doi.org/10.22201/fesc.20072236e.2019.10.18.6>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). INTERAMERICANA EDITORES.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (Noviembre de 2017). *Boletín sobre ruido ambiental*. Bogotá: Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM. Obtenido de [https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/boletin\\_ruido\\_ambiental.compressed.pdf](https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/boletin_ruido_ambiental.compressed.pdf)

- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2025). *Índice temático. Estimaciones y Proyecciones de Población*. Recuperado el Marzo de 2025, de INEI: <https://m.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/population-estimates-and-projections/>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo [INSST]. (2024). *Aspectos Ergonómicos del Ruido*. Obtenido de INSST. Documentación Técnica: <https://www.insst.es/documentacion/material-tecnico/documentos-tecnicos/aspectos-ergonomicos-del-ruido-2024>
- Instituto Nacional Estadounidense de Estándares [ANSI]. (2003). *Especificación de las características de los dispositivos auditivos*. Requisitos con orientación para su uso (Norma ANSI S3.22-2003).
- JAXA EORC. (2014). *ALOS PALSAR*. (JAXA Earth-graphy [Space Technology Directorate].) Obtenido de Advanced Land Observer Satellite: ALOS Research and Application Project: [https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/alos/sensor/palsar\\_e.htm#:~:text=El%20radar%20de%20apertura%20sint%C3%A9tica,diurna%20y%20nocturna%20sin%20nubes.](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/alos/sensor/palsar_e.htm#:~:text=El%20radar%20de%20apertura%20sint%C3%A9tica,diurna%20y%20nocturna%20sin%20nubes.)
- Kephalopoulos, S., Paviotti, M., Anfosso-Lédée, F., Van Maercke, D., Shilton, S., & Jones, N. (Junio de 2014). Advances in the development of common noise assessment methods in Europe: The CNOSSOS-EU framework for strategic environmental noise mapping. *Science of The Total Environment*, 482-483, 400-410. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.02.031
- Lima, N. E. (2023). *Evaluación de la calidad sonora en el distrito de Santa Anita - Lima de acuerdo a los estándares de calidad ambiental para el ruido durante el periodo de enero a marzo del 2019*. [Tesis para optar por el Título de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio Institucional de la UNDAC. Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/3618>
- Losaro, Y. (2015). *Insonorización de una prensa mecánica*. Universidad Politecnica de Cataluña, Escuela politécnica superior de ingeniería. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/79288/MEMORIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Luna, V. N. (2022). *Evaluación de la Contaminación de Ruidos y la Influencia a la Población del Distrito de Huacho*. Huacho, Perú: [Tesis para optar por el Título de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio Académico de la UNJFSC. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14067/6314>
- Martínez Córdor, J. (2007). *Diagnóstico Situacional de la Vivienda en la Ciudad de Huacho*. Gobierno Regional de Lima, Dirección Regional de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Huacho. Recuperado el Febrero de 2025, de <https://www.monografias.com/trabajos81/diagnostico-situacional-vivienda-ciudad-huacho/diagnostico-situacional-vivienda-ciudad-huacho>
- Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. (03 de junio de 2021). *Orden PCM/542/2021*. España: Boletín Oficial del Estado. Obtenido de <https://www.boe.es/eli/es/o/2021/05/31/pcm542>
- Ministerio de Salud [MINSA]. (2025). *Información Demográfica. Población Total Estimada 2025*. Recuperado el Marzo de 2025, de REUNIS: Repositorio Único Nacional de Información en Salud: <https://www.minsa.gob.pe/reunis/?op=1&niv=5&tbl=1>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (07 de octubre de 2003). *Decreto Supremo N.º 058-2003-MTC*. Diario Oficial El Peruano. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/10013-058-2003-mtc>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (17 de julio de 2021). *Decreto Supremo N.º 025-2021-MTC*. Diario Oficial El Peruano. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/2026176-025-2021-mtc>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (21 de abril de 2009). *Decreto Supremo N.º 016-2009-MTC*. Diario Oficial El Peruano. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/9897-016-2009-mtc>
- Ministerio del Ambiente. (01 de agosto de 2013). *Resolución Ministerial N°227-2013-MINAM*. Diario Oficial El Peruano. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/02/RM-Nº-227-2013-MINAM.pdf>

- Ministerio del Medio Ambiente [MMA]. (2023). *Ruido Ambiental*. MMA. Recuperado el Febrero de 2025, de Diagnóstico. Línea Mapas de Ruido: <https://ruido.mma.gob.cl/mapas-de-ruido/>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [MITECO]. (s.f.). *Contaminación Acústica: Conceptos básicos del ruido ambiental*. Recuperado el Febrero de 2025, de MITECO: Calidad y evaluación ambiental: Temas: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/contaminacion-acustica/conceptos-basicos-ruido-ambiental.html>
- MITECO y CEDEX. (2025). *Guía técnica para la aplicación del método común Europeo de evaluación del ruido ambiental (CNOSSOS-EU) en los estudios de ruido en España. R-25*. España: Sistema Básico de Información sobre la Contaminación Acústica. Obtenido de [https://sicaweb.cedex.es/wp-content/uploads/2022/04/R-25\\_Guia\\_Evaluacion\\_ruido\\_ambiental\\_\\_Web.pdf](https://sicaweb.cedex.es/wp-content/uploads/2022/04/R-25_Guia_Evaluacion_ruido_ambiental__Web.pdf)
- Miyara, F. (2004). Ruido urbano: tránsito, industria y esparcimiento. *Acústica Urbana*, 1-10. Obtenido de <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/urbano.pdf>
- Mohsin, M., Abbas, Q., Zhang, J., Ikram, M., & Iqbal, N. (2019). Integrated effect of energy consumption, economic development, and population growth on CO2 based environmental degradation: a case of transport sector. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 32824–32835. doi:10.1007/s11356-019-06372-8
- Moncayo, L. (2017). *Valoración económica contingente del ruido de tráfico rodado mediante redes neuronales artificiales*. (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid). Archivo Digital de la UPM. doi:10.20868/UPM.thesis.47146
- Moreno, P. X., Bastidas, G. K., & Moreno, P. R. (Julio-Setiembre de 2020). Estudio de factibilidad del uso de modelos de redes neuronales artificiales en la automatización del aforo y clasificación vehicular del transporte público. *Revista Indexada Conciencia Digital*, 3(3), 528-540. doi:10.33262/concienciadigital.v3i3.1355
- Municipalidad Metropolitana de Lima [MML]. (2019). *Preguntas frecuentes “Hora pico y placa”*. Recuperado el Marzo de 2025, de Comunicados. MunLima:

<https://www.munlima.gob.pe/images/descargas/comunicados/preguntas-frecuentes-Hora-Pico-y-Placa.pdf>

- Municipalidad Provincial de Huaura [MPH]. (07 de Marzo de 2014). *Ordenanza Municipal N.º 04-2024-MPH que aprueba el Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Huacho 2013-2022* (Volumen III ed.). Huacho, Perú: Diarrio Oficial El Peruano.
- Münzel, T. S. (2018). Environmental Noise and the Cardiovascular System. *Journal of the American College of Cardiology*, 71(6), 688-697. doi:10.1016/j.jacc.2017.12.015
- Murphy, E., & Douglas, O. (2018). Population exposure to road traffic noise: Experimental results from varying exposure estimation approaches. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 58, 70-79. doi:10.1016/j.trd.2017.11.006
- Murphy, E., & King, E. A. (2022). *Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health, and Policy* (Segunda ed.). Amsterdam, Países Bajos: Elsevier Inc. Obtenido de <https://books.google.es/books?id=kMr2DwAAQBAJ&lpg=PP1&dq=noise%20POLLUTION%20urban%20environments%20THESIS&lr&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>
- Murphy, E., Faulkner, J.-P., Rice, H. J., & Kennedy, J. (2021). *Research 382: Transitioning to Strategic Noise Mapping under CNOSSOS-EU (Noise-Adapt)*. Environmental Protection Agency [EPA], University College Dublin & Trinity College Dublin. Dublin: [Research Programme, Environmental Protection Agency]. Government of Ireland.
- Neitzel, R. (Mayo de 2018). *Chronic health effects and injury associated with environmental noise pollution*. Obtenido de Presentado a US Centers for Disease Control: [https://www.cdc.gov/nceh/hearing\\_loss/docs/CDCPresentationNeitzel-508.pdf](https://www.cdc.gov/nceh/hearing_loss/docs/CDCPresentationNeitzel-508.pdf)
- OEFA. (2016). *La contaminación sonora en Lima y Callao*. Obtenido de Repositorio OEFA: <https://hdl.handle.net/20.500.12788/64>
- Organización Internacional para la Normalización [ISO]. (2020). Parte 8: Acústicas. En *Cantidades y unidades* (Segunda ed.). Requisitos con orientación para su uso (Norma ISO No. 80000-8:2020). Obtenido de <https://www.iso.org/standard/64978.html>

- Organización Internacional para la Normalización. (1996). Parte 1: Magnitudes básicas y procedimientos de evaluación. En *Acústica — Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental* (Tercera ed.). Requisitos con orientación para su uso (Norma ISO No. 1996-1:2016). Obtenido de <https://www.iso.org/standard/59765.html>
- Organización Internacional para la Normalización. (2023). *Acústica — Contornos normales de igual sonoridad* (Tercera ed.). Requisitos con orientación para su uso (Norma ISO No. 226:2023). Obtenido de <https://www.iso.org/standard/83117.html>
- Organización Internacional para la Normalización. (2024). Parte 2: Método de ingeniería para la predicción de los niveles de presión sonora en exteriores. En *Acústica — Atenuación del sonido durante la propagación en exteriores* (Segunda ed.). Requisitos con orientación para su uso (Norma ISO No. 9613-2:2024). Obtenido de <https://www.iso.org/standard/74047.html>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2011). *Burden of disease from environmental noise - Quantification of healthy life years lost in Europe*. Organización Mundial de la Salud [WHO], Medio Ambiente, Cambio Climático y Salud [ECH]. WHO. Recuperado el Marzo de 2025, de <https://www.who.int/publications/i/item/burden-of-disease-from-environmental-noise-quantification-of-healthy-life-years-lost-in-europe>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Directrices sobre el ruido ambiental para la Región Europea*. OMS. Obtenido de <https://www.who.int/publications/i/item/9789289053563>
- Pacheco, E. D. (2017). *Validación del Modelo predictivo de ruido de tráfico según el Método Común Europeo en las condiciones vehiculares de la ciudad de Quito*. Quito, Ecuador: [Tesis para optar por el Título de Ingeniero de Sonido y Acústica, Universidad de las Américas]. Repositorio Digital UDLA. Obtenido de <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/7353>
- Pantoja, J. (2024). *Evaluación del ruido ambiental diurno en la Urbanización los Cipreses - Huacho*. (Tesis de Grado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión). Repositorio Institucional de la UNJFSC. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14067/9467>

- Parra, J., & Iturre, A. (Diciembre de 2023). Elaboracion de Mapas Acusticos como Herramienta de Gestion del Ruido Urbano, Caso: Sector Insular del Distrito de Buenaventura. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), 3059-3074. doi:10.37811/cl\_rcm.v7i6.8906
- Peeters, B., & van Blokland, G. (2007). *The Noise Emission Model For European Road Traffic*. Deliverable of the IMAGINE project , M+P Consulting Engineers, Vught. Obtenido de <https://www.imagine-project.org/bestanden/IMA55TR-060821-MP10%20-%20IMAGINE%20Deliverable%20D11.pdf>
- Pérez, I. F., Mendoza, O., Acosta, O., Hermida, L. F., & Herrera, M. (Julio-Diciembre de 2021). Sustainable Acoustics: A Smart Cities approach. *TECCIENCIA*, 15(29), 39-52. doi:10.18180/tecciencia.2020.29.5
- Pinedo, C. K. (2023). *Análisis de la contaminación acústica por tráfico vehicular en la Av. Abancay-Lima 2019*. [Tesis para optar por el Título de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Federico Villareal]. Repositorio Institucional de la UNFV. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.13084/7921>
- Preda, I., Covaciu, D., Florea, D., & Ciolan, G. (2009). Study of In-Traffic Vehicle Behaviour, Based on GPS and Radar Devices. *ESFA 2009 International Conference*. Bucharest. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/263424362\\_Study\\_of\\_In-Traffic\\_Vehicle\\_Behaviour\\_Based\\_on\\_GPS\\_and\\_Radar\\_Devices](https://www.researchgate.net/publication/263424362_Study_of_In-Traffic_Vehicle_Behaviour_Based_on_GPS_and_Radar_Devices)
- Quito, P. J. (2023). *Nivel de ruido vehicular por tráfico vehicular, en las avenidas Túpac Amaru y Panamericana Norte, sector del distrito Independencia – 2023*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Federico Villareal]. Repositorio Institucional de la UNFV. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.13084/9220>
- Ramírez, A., & Dominguez, E. A. (2011). El Ruido Vehicular Urbano: Problemática agobiante de los países en vías de desarrollo. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 35(137), 509-530. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-39082011000400009&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082011000400009&lng=en&tlng=es)

- Recuero, M., & Suárez, E. (2004). Contaminación Acústica. En E. Martínez Ataz, & Y. Díaz de Mera, *Contaminación Atmosférica* (págs. 251-276). Cuenca, España: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=eyTSAgAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Romero, J., Huayna, L., Guzmán, W., Bacilio, A., & Torres, O. (2018). MEDICION DE LOS NIVELES DE RUIDO EN LA CIUDAD DE HUACHO-2014. *Big Bang Faustiniiano*, 7(1). Obtenido de <https://doi.org/10.51431/bbf.v7i1.198>
- Santa Cruz, S. (2021). *Impacto de la propagación del ruido generado por fuentes móviles en las zonas circundantes al Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo - Chiclayo Periodo 2019*. [Tesis para optar por el Grado de Licenciado en Física, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional de la UNPRG. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12893/9728>
- Schober, P., & Boer, C. (2018). *Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation*. Anesthesia & Analgesia. doi:10.1213/ANE.0000000000002864
- Solis, I. (2013). Influencia de la contaminación sonora en la salud pública del poblador del Cercado de Lima. *Paideia XXI*, 3(4), 47-59. doi:10.31381/paideiaxxi.v3i4.926
- Soto, I., & Arce, R. M. (2022). Análisis crítico de la aplicación de la Orden PCM/542/2021, de 31 de mayo, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental, en la Cuarta Fase de la Directiva. *53º Congreso Español de Acústica. XII Congreso Ibérico de Acústica*. Elche: TecniAcústica. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/366183180\\_Analisis\\_critico\\_de\\_la\\_aplicacion\\_de\\_la\\_Orden\\_PCM5422021\\_de\\_31\\_de\\_mayo\\_por\\_la\\_que\\_se\\_modifica\\_el\\_Anexo\\_III\\_d\\_el\\_Real\\_Decreto\\_15132005\\_de\\_16\\_de\\_diciembre\\_por\\_el\\_que\\_se\\_desarrolla\\_la\\_Ley\\_37\\_2003\\_de\\_17\\_de\\_](https://www.researchgate.net/publication/366183180_Analisis_critico_de_la_aplicacion_de_la_Orden_PCM5422021_de_31_de_mayo_por_la_que_se_modifica_el_Anexo_III_d_el_Real_Decreto_15132005_de_16_de_diciembre_por_el_que_se_desarrolla_la_Ley_37_2003_de_17_de_)
- Steele, C. (Marzo de 2001). A critical review of some traffic noise prediction models. *Applied Acoustics*, 62(3), 271-287. doi:10.1016/S0003-682X(00)00030-X

- Stevens, J. M. (2008). *Cuantificación del impacto acústico de las plantas de proceso en el sistema de monitoreo continuo de ruido de Enap Refinerías S.A., Refinería Biobío*. Valdivia, Chile: [Tesis para optar por el Título de Ingeniero Civil Acústico, Universidad Austral de Chile]. Sistema de Bibliotecas UACH. doi:10.13140/RG.2.1.4703.6566
- Suárez, M. D. (2020). *Factores asociados al mayor daño auditivo inducido por ruido (DAIR) a través del menoscabo auditivo global (MAG) en trabajadores de la industria minera en el Perú en el período 2018*. [Tesis para optar por el Título de Especialista en Otorrinolaringología, Universidad Peruana Cayetano Heredia]. Repositorio Institucional de la UPCH. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12866/8428>
- Supo, J. (26 de Noviembre de 2022). De Tipos Niveles y Diseños de Investigación Científica. México. Recuperado el Febrero de 2025, de [https://www.youtube.com/watch?v=UuNU7ckDFz0&ab\\_channel=SINCIE](https://www.youtube.com/watch?v=UuNU7ckDFz0&ab_channel=SINCIE)
- Tamayo, M., & Tamayo. (2003). *El proceso de la investigación científica*. (Cuarta ed.). LIMUSA.
- The Engineering Toolbox. (2003). *Sound Power*. Recuperado el Febrero de 2025, de The Engineering Toolbox: [https://www.engineeringtoolbox.com/sound-power-level-d\\_58.html](https://www.engineeringtoolbox.com/sound-power-level-d_58.html)
- Turksever, S. (19-21 de Agosto de 2022). A review of Mapillary-generated map data and how accuracy compares across devices. *State of the Map 2022*. Florencia, Italia. Recuperado el Marzo de 2025, de <https://2022.stateofthemap.org/sessions/DKLT7X/>
- Vanhooreweder, B., Marcocci, S., & De Leo, A. (2016). *State of the art in managing road traffic noise: noise barriers*. CEDR's Secretariat. Obtenido de <https://www.cedr.eu/download/Publications/2017/CEDR2017-03-State-of-the-art-in-managing-road-traffic-noise.pdf>
- Vélez Moreno, L. M. (2019). Construcciones sostenibles, impactos ambientales. *Revista Nodo*, 14(27), 86-95. doi:10.54104/nodo.v14n27.171
- Véliz, F. K., & Sauñi, L. d. (2023). *Efecto de la contaminación sonora sobre la salud humana en el Mercado Modelo del distrito El Tambo - 2022*. [Tesis para optar por el Título de

- Ingeniero Ambiental, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/13293>
- Vergara, D. I. (2019). *Elaboración de Mapa de Ruido Dinámico de Viales Basado en Sistema de Medición de Flujo Vehicular en Tiempo Real*. Valdivia, Chile: [Tesis para optar por el Título de Ingeniero Civil Acústico, Universidad Austral de Chile]. Sistema de Bibliotecas de la UACH. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2019/bmfciv494e/doc/bmfciv494e.pdf>
- Vijay, R., Sharma, A., Chakrabarti, T., & Gupta, R. (Febrero de 2015). Assessment of honking impact on traffic noise in urban traffic environment of Nagpur, India. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 13(10). doi:10.1186/s40201-015-0164-4
- Yeboah, F. L. (2021). *Mapping Noise Pollution with Open-source GIS*. Gävle, Suecia: [Tesis para optar por el Grado de Master, Universidad de Gävle]. Repositorio Institucional Archivo Científico Digital. Obtenido de <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:hig:diva-37546>
- Zamorano, B., Velázquez, Y., Peña, F., Ruiz, L., Monreal, O., Parra, V., & Vargas, J. (2019). Exposición al ruido por tráfico vehicular y su impacto sobre la calidad del sueño y el rendimiento en habitantes de zonas urbanas. *Estudios demográficos y urbanos*, 34(3). Obtenido de <https://doi.org/10.24201/edu.v34i3.1743>
- Zamorano, B., Velázquez, Y., Peña, F., Ruiz, L., Monreal, O., Parra, V., & Vargas, J. I. (Setiembre-Diciembre de 2019). Exposición al ruido por tráfico vehicular y su impacto sobre la calidad del sueño y el rendimiento en habitantes de zonas urbanas. *Estudios Demográficos Y Urbanos*, 34(3), 601-629. doi:10.24201/edu.v34i3.1743
- Zhang, X., Zhao, M., & Dong, R. (2020). Time-Series Prediction of Environmental Noise for Urban IoT Based on Long Short-Term Memory Recurrent Neural Network. *Applied Sciences*, 10(3). doi:10.3390/app10031144
- Zheng, P., & McDonald, M. (Agosto de 2012). An Investigation on the Manual Traffic Count Accuracy. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 43, 226-231. doi:10.1016/j.sbspro.2012.04.095

Zurita, P. H. (2013). *Recomendaciones para el diseño, desarrollo y presentación de Mapas de Ruido en Chile*. Valdivia, Chile: [Tesis para optar por el Grado de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile]. Sistema de Bibliotecas UACH. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfciz.96r/doc/bmfciz.96r.pdf>

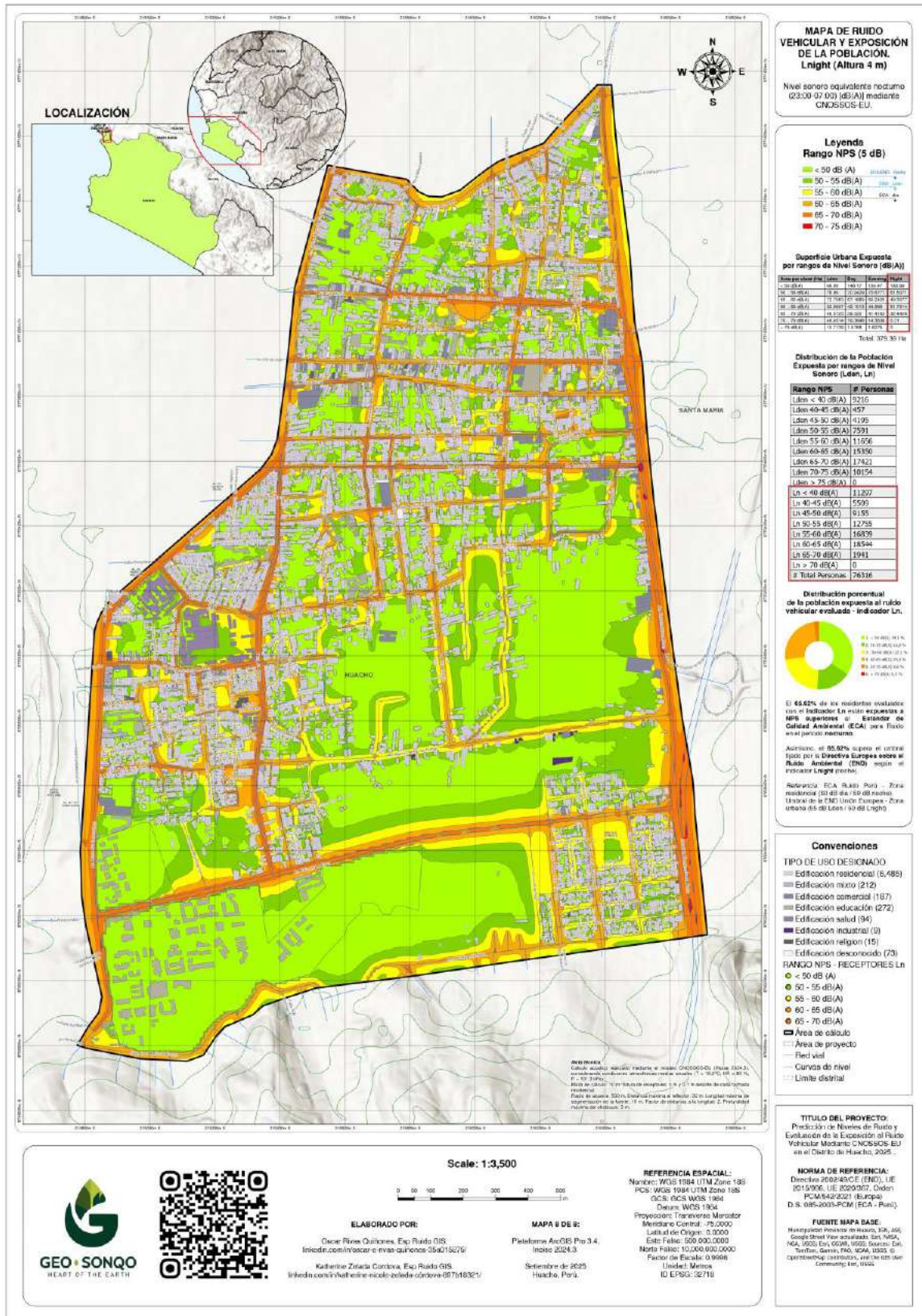
# **ANEXOS**







# Anexo 4. Mapa de Ruido Vehicular y Exposición Poblacional – Nocturno.







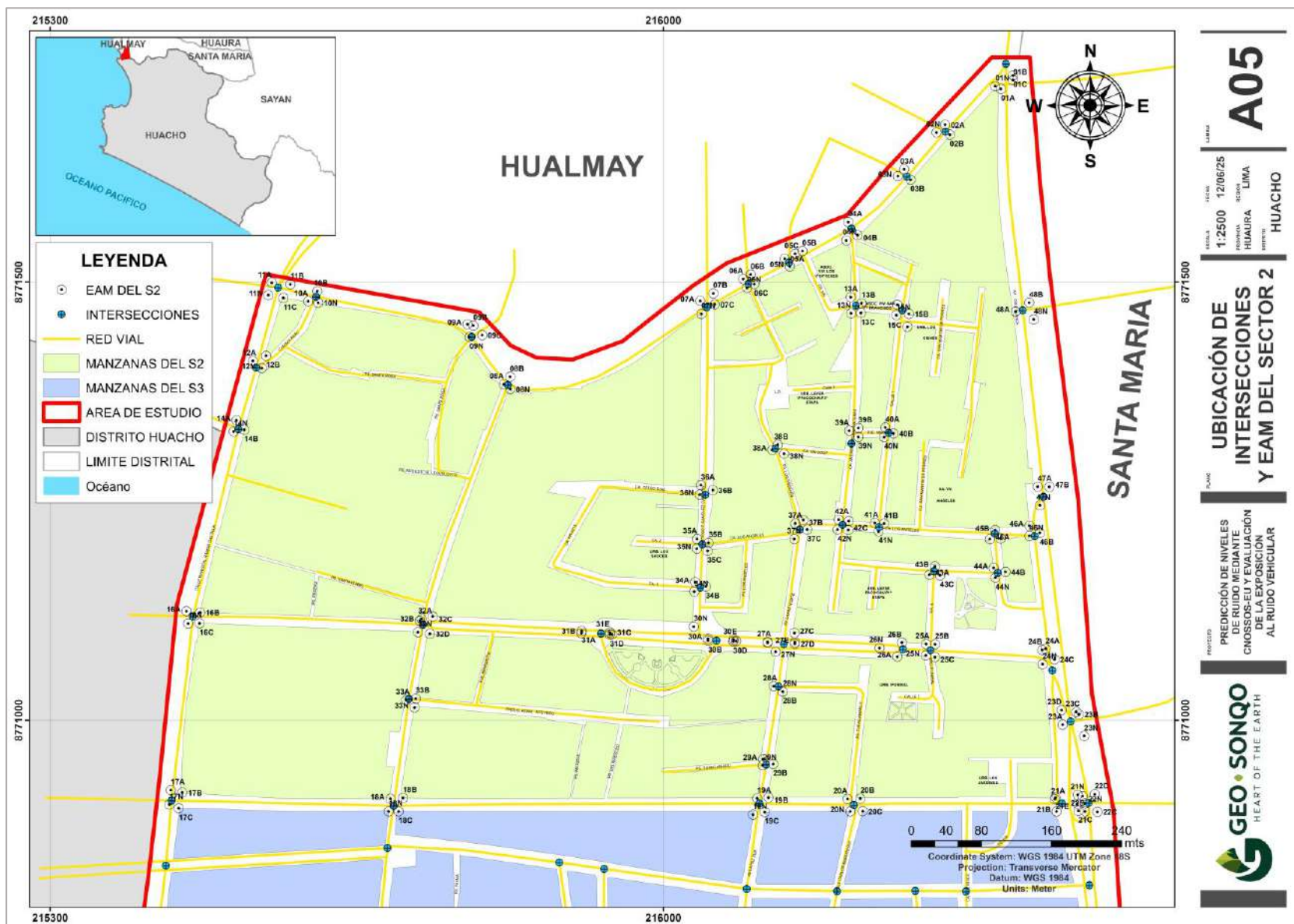




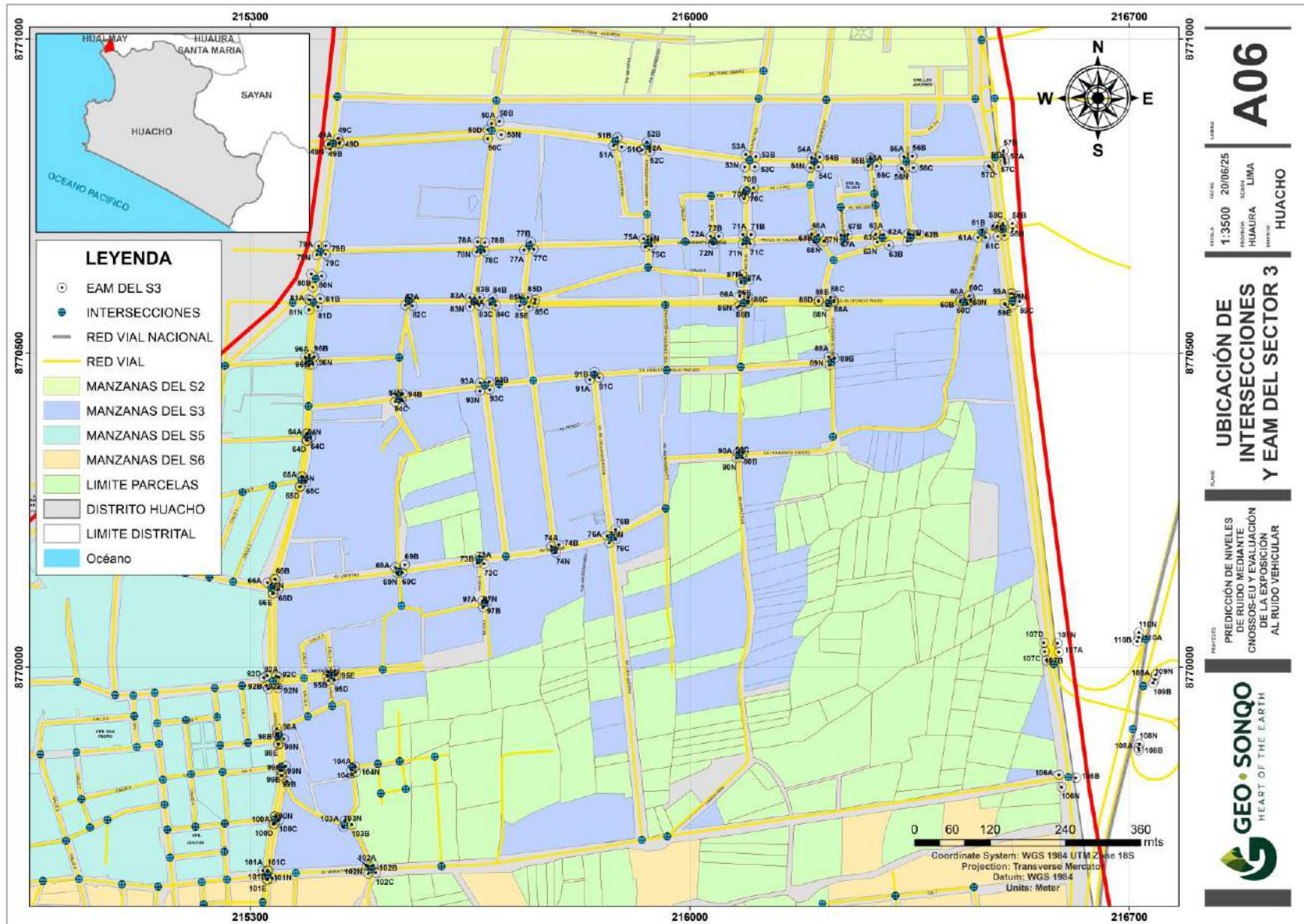




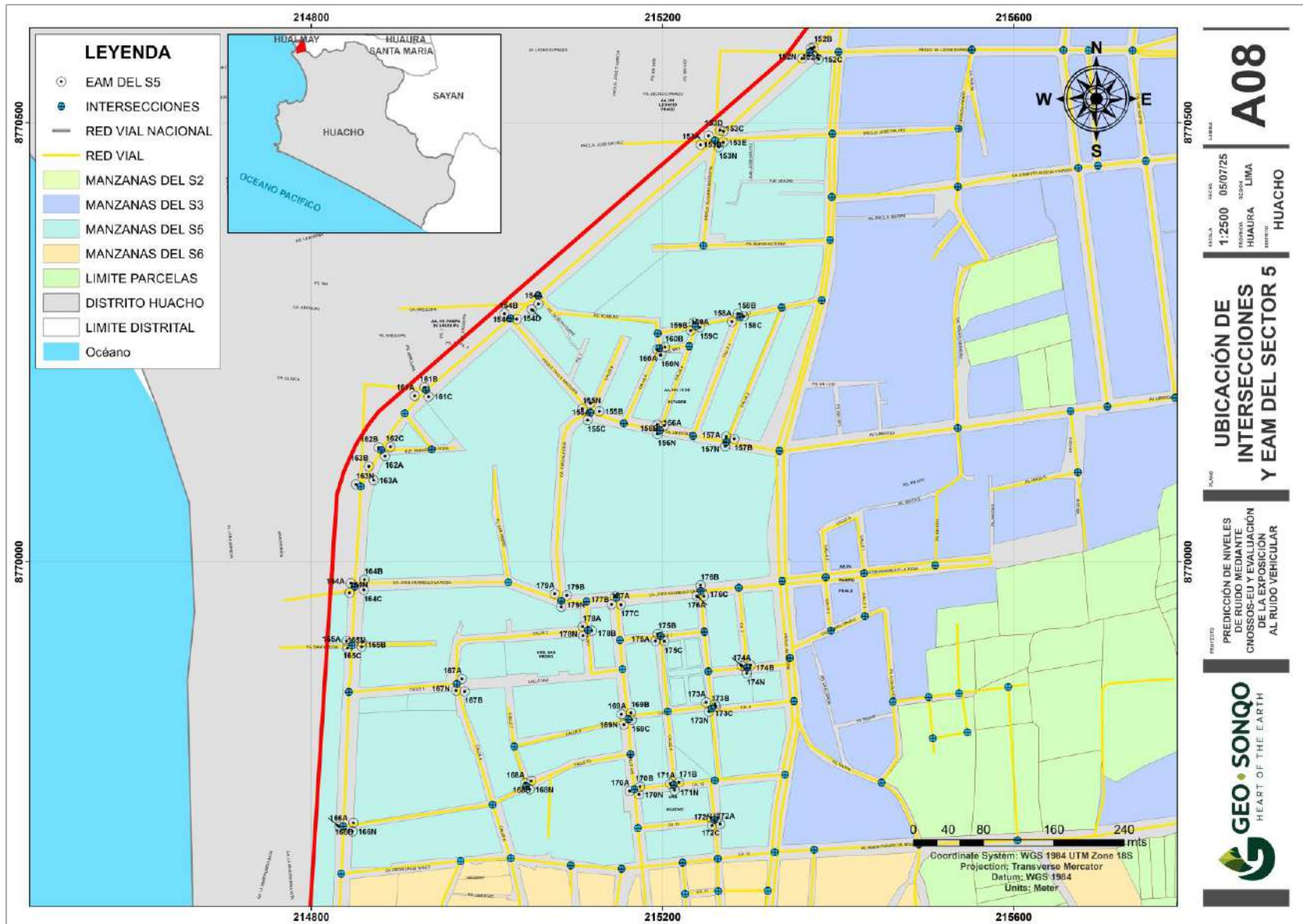
Anexo 11. Mapa de EAM por intersección en el sector urbano 2.



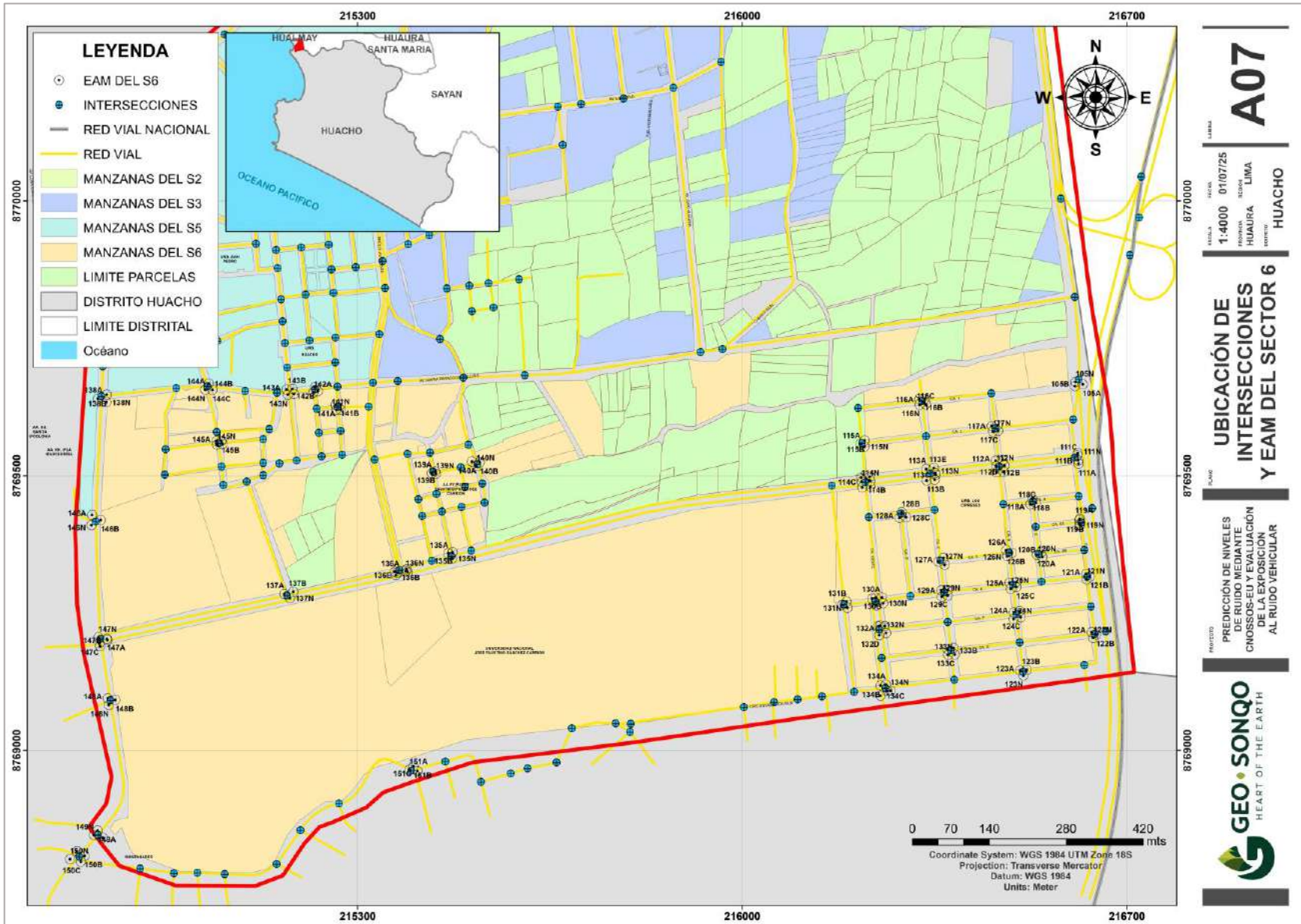
Anexo 12. Mapa de EAM por intersección en el sector urbano 3.



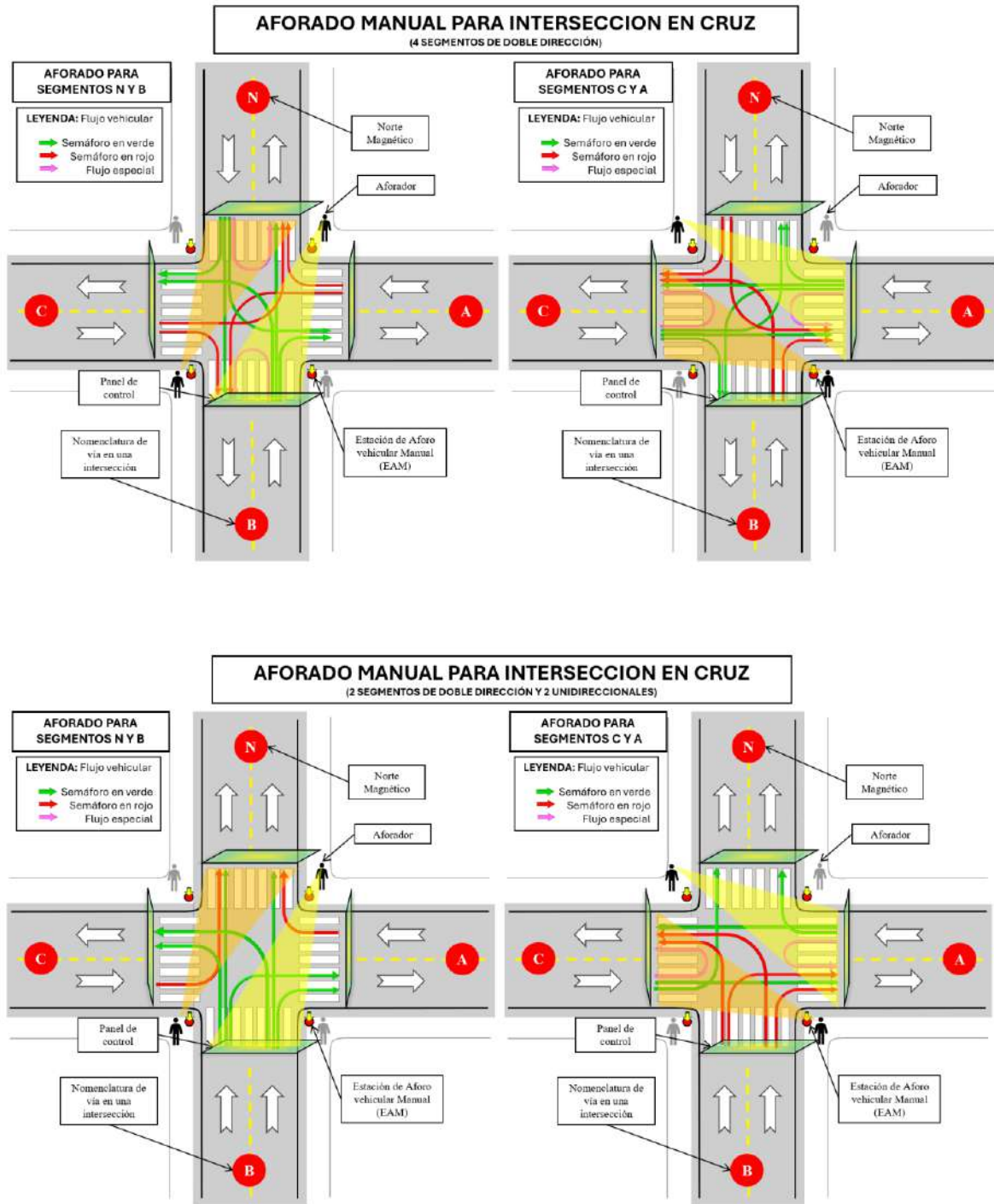
Anexo 13. Mapa de EAM por intersección en el sector urbano 5.

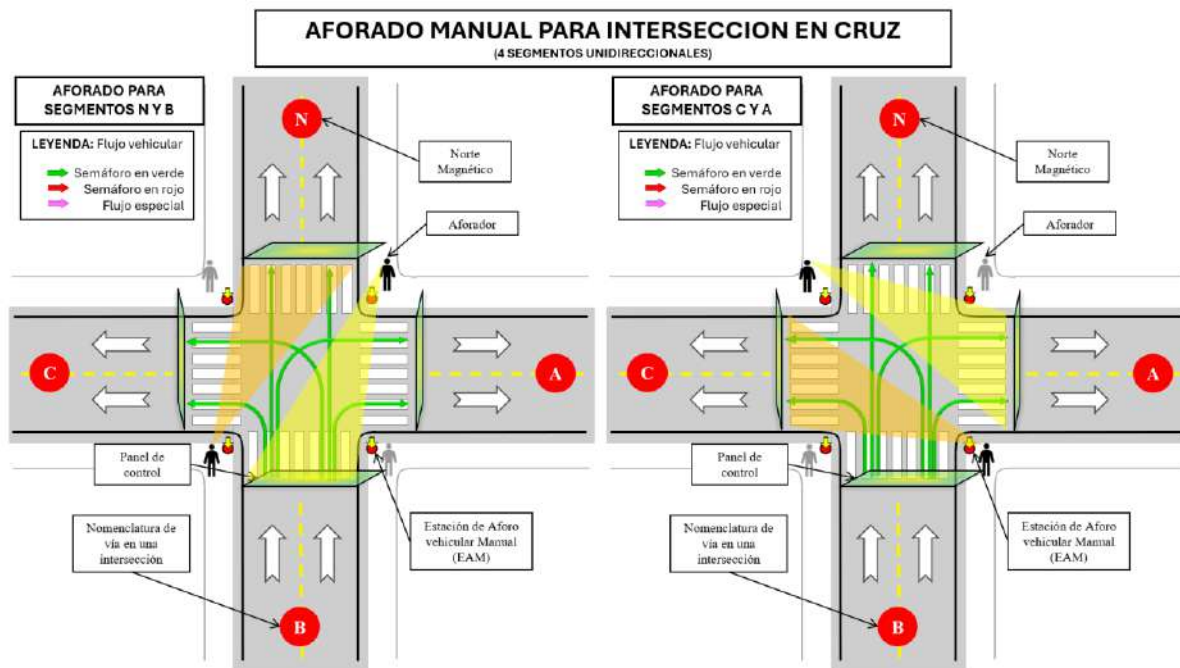
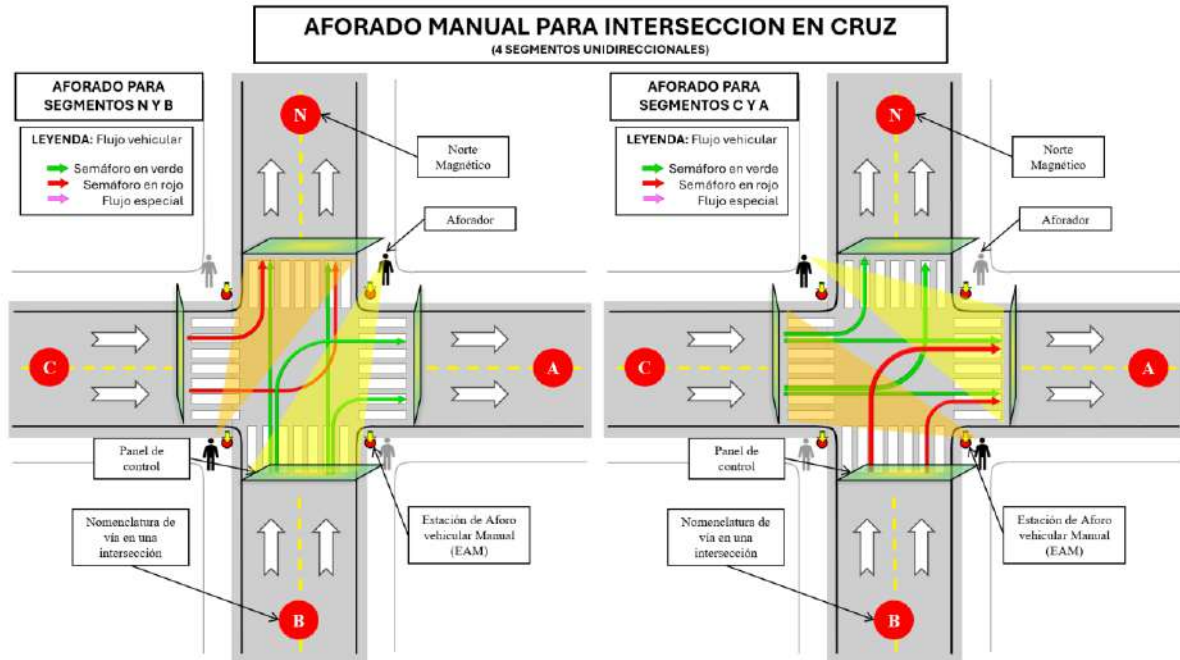


Anexo 14. Mapa de EAM por intersección en el sector urbano 6.

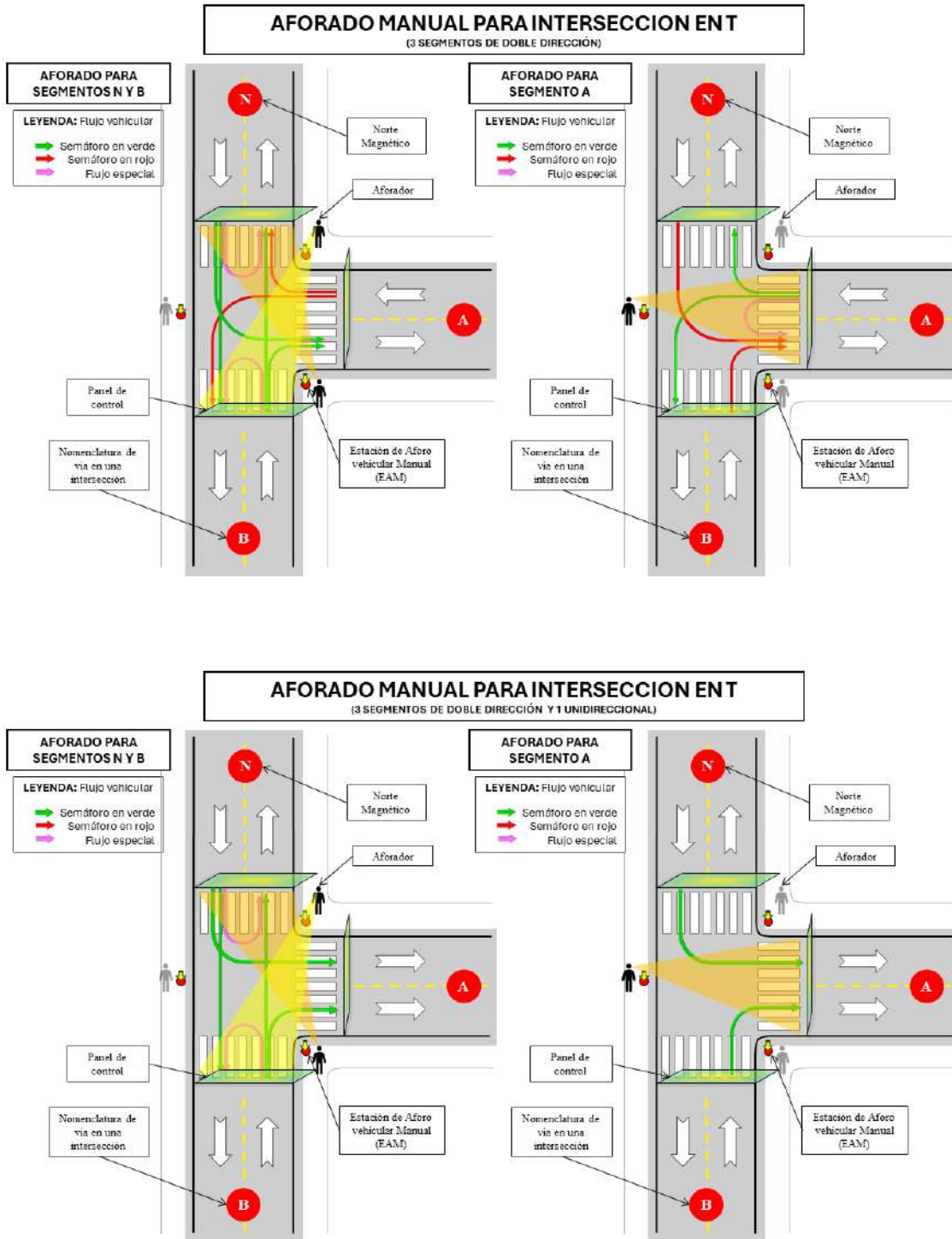


**Anexo 15. Configuraciones para el aforado manual en intersección cruz.**





**Anexo 16.** Configuraciones para el aforado manual en intersección T.



# AFORADO MANUAL PARA INTERSECCION ENT

(3 SEGMENTOS UNIDIRECCIONALES)

**AFORADO PARA SEGMENTOS N Y B**

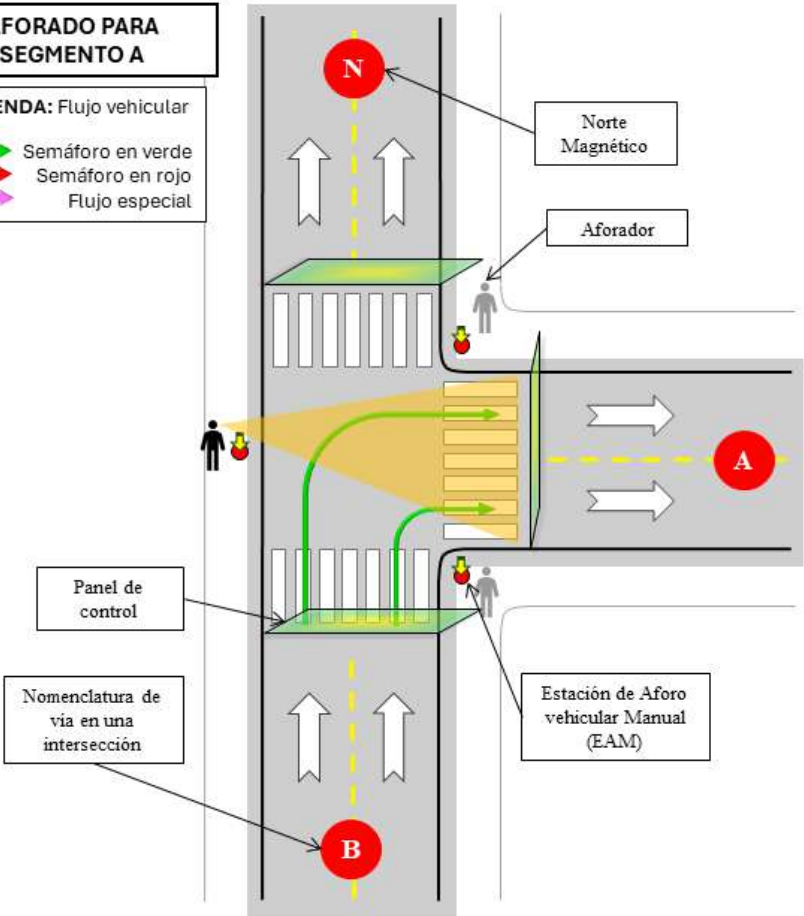
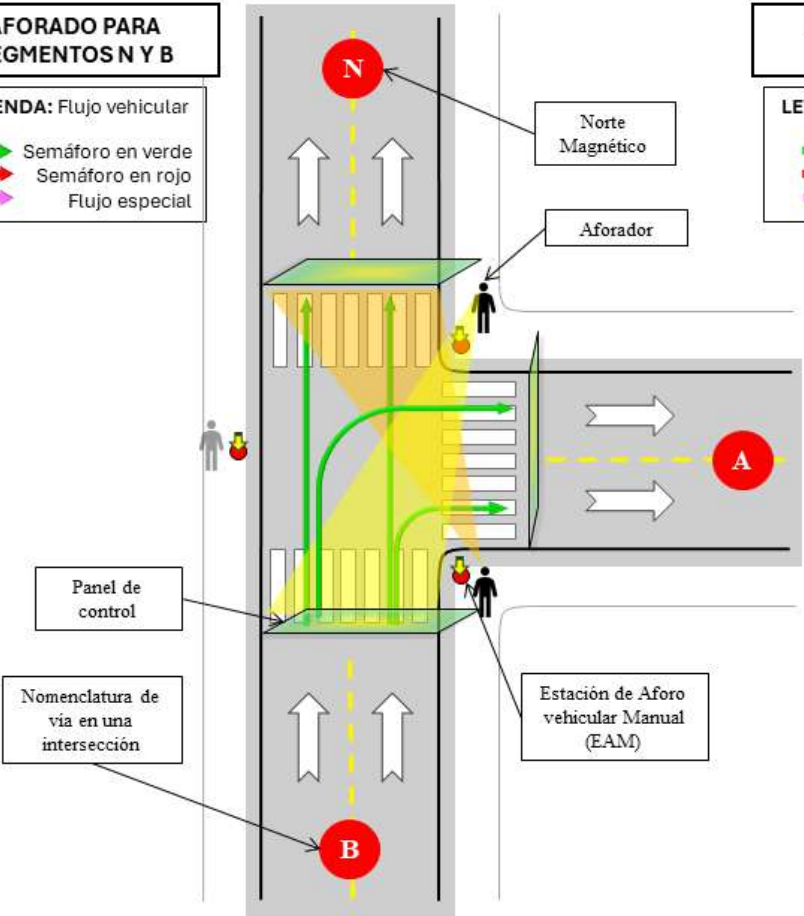
**LEYENDA:** Flujo vehicular

- Semáforo en verde
- Semáforo en rojo
- Flujo especial

**AFORADO PARA SEGMENTO A**

**LEYENDA:** Flujo vehicular

- Semáforo en verde
- Semáforo en rojo
- Flujo especial



Panel de control

Nomenclatura de vía en una intersección

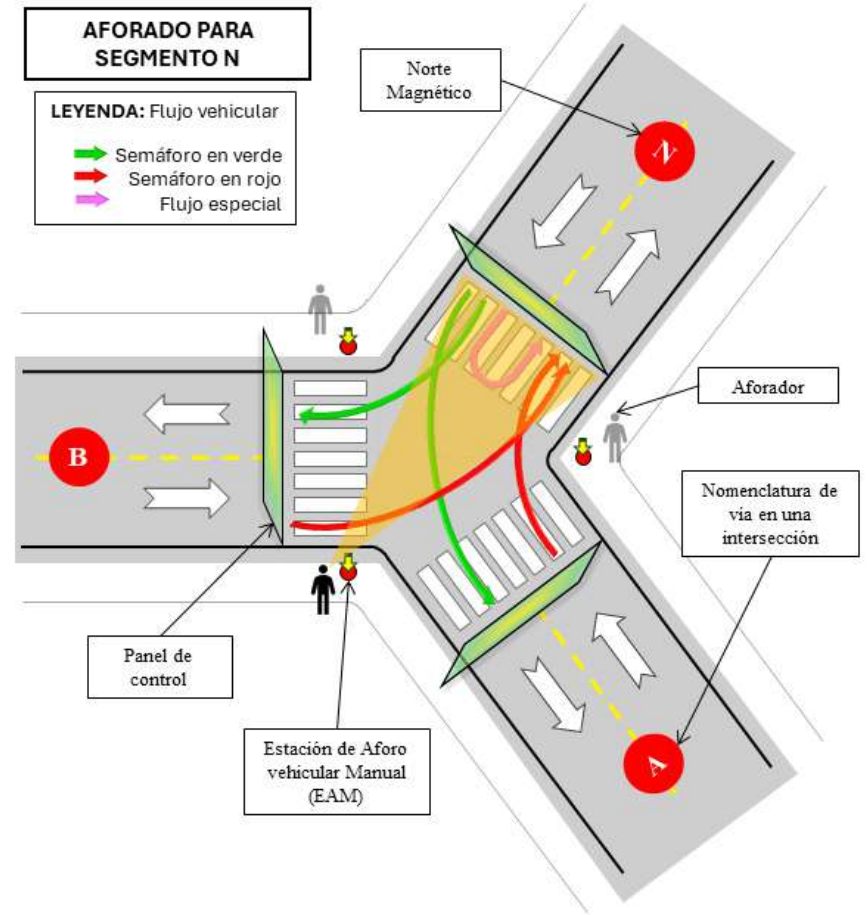
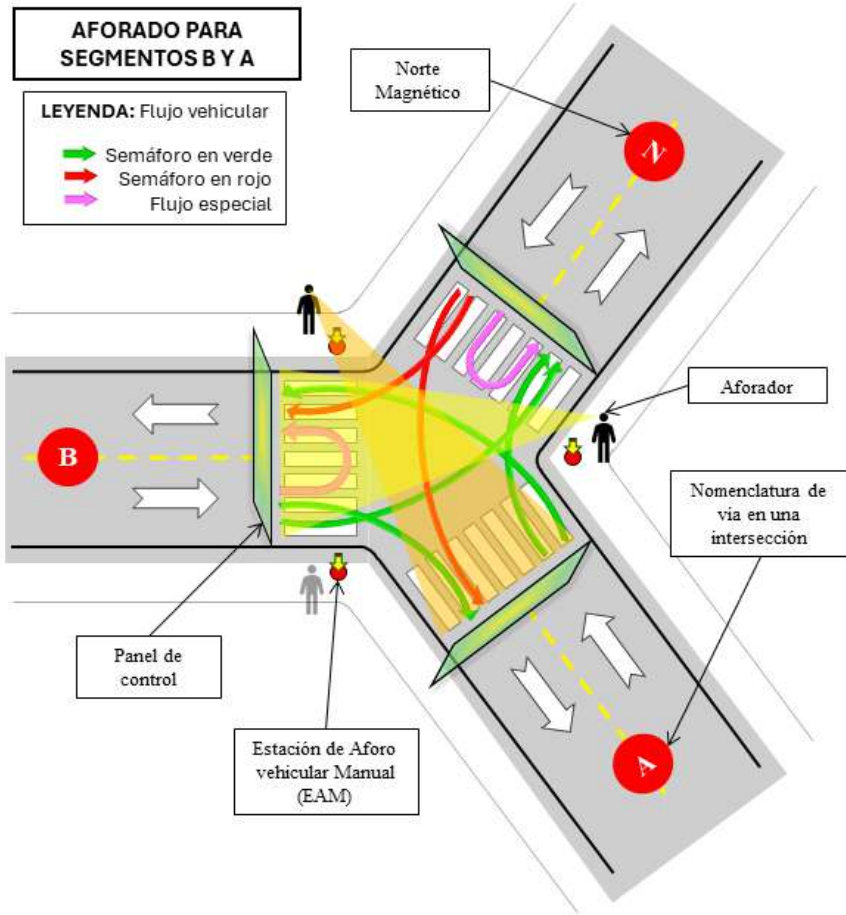
Estación de Aforo vehicular Manual (EAM)

Estación de Aforo vehicular Manual (EAM)

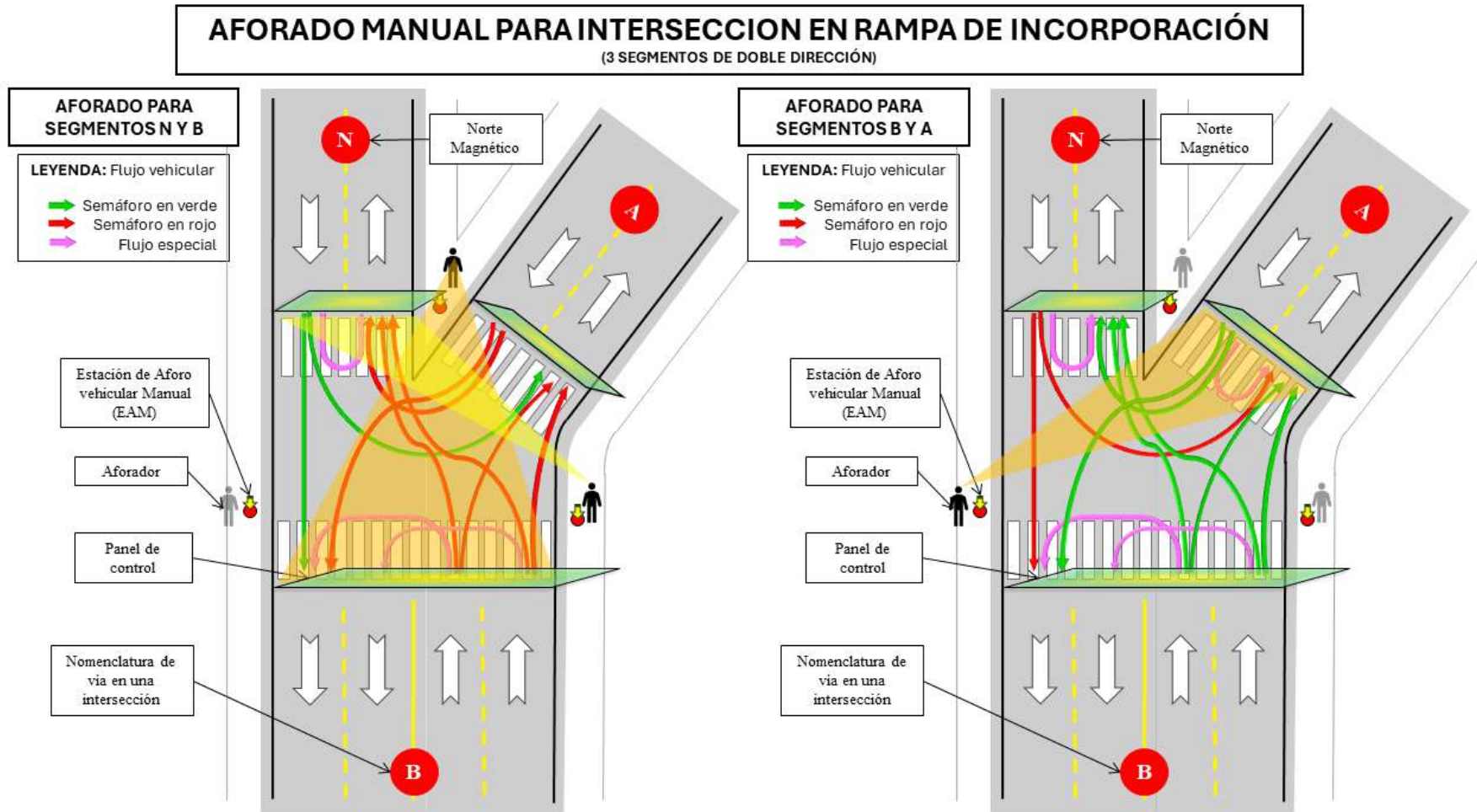
Anexo 17. Configuraciones para el aforado manual en intersección Y.

**AFORADO MANUAL PARA INTERSECCION EN Y**

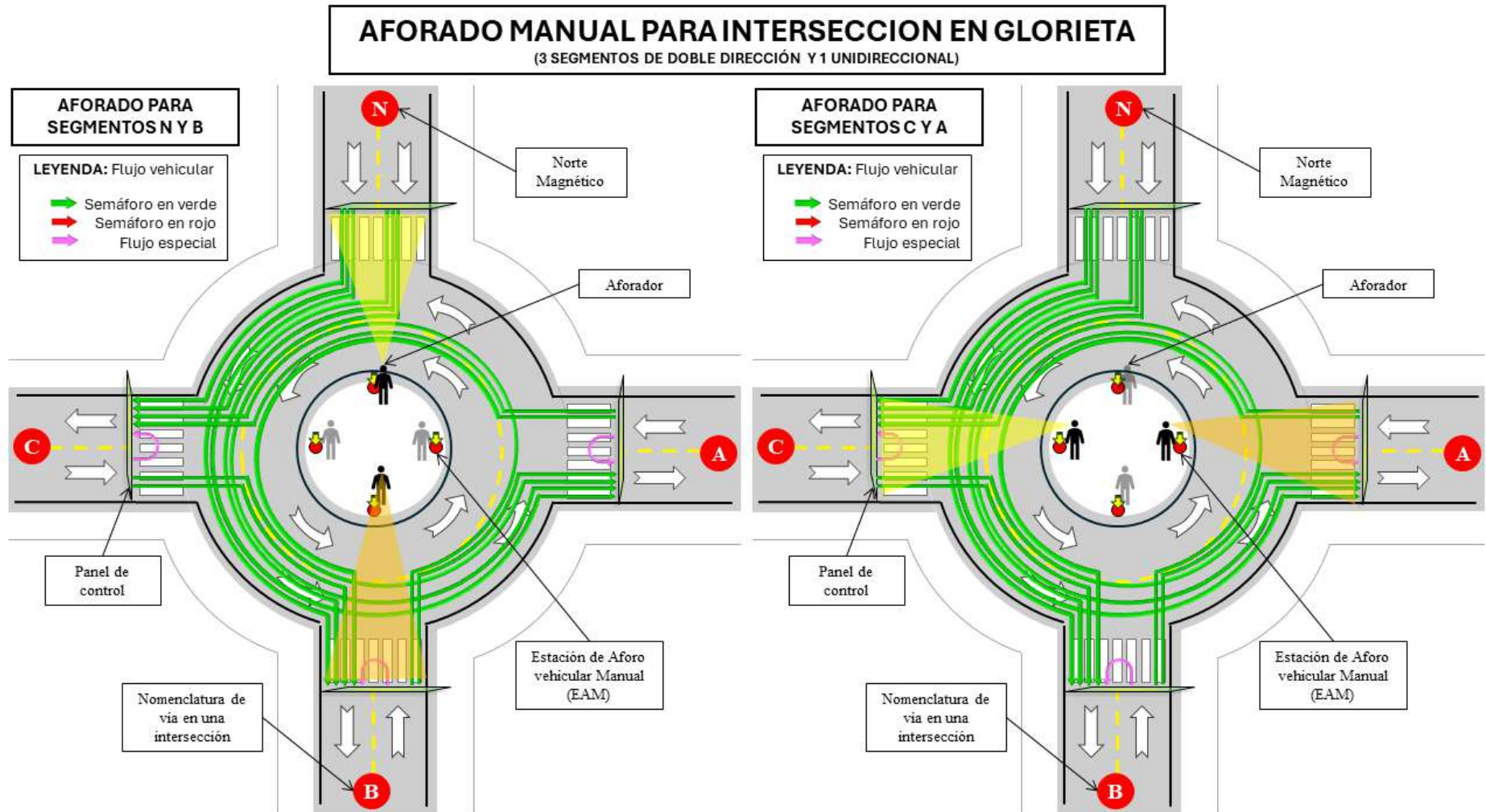
(3 SEGMENTOS DE DOBLE DIRECCIÓN)



Anexo 18. Configuración para el AMV en intersección Rampa de Incorporación.



Anexo 19. Configuraciones para el aforo manual en intersección Glorieta.



## Anexo 20. Formato técnico de campo.

### FORMATO TÉCNICO DE RECOLECCIÓN DE DATOS – EAM

Investigación: Predicción de Niveles de Ruido y Evaluación de la Exposición al Ruido Vehicular mediante CNOSSOS-EU en el distrito de Huacho, 2025.

#### I. DATOS GENERALES DEL PUNTO DE MEDICIÓN

Código EAM*	
Segmento observado	<input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C
Descripción de segmento	
Sector urbano (según PDU)	<input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3 <input type="checkbox"/> S5 <input type="checkbox"/> S6
Coordenadas UTM (Zona 18S)	Este: _____ Norte: _____
Sentido de circulación	<input type="checkbox"/> Unidireccional <input type="checkbox"/> Bidireccional
Tipo de pavimento	<input type="checkbox"/> NL05 (asfaltado) <input type="checkbox"/> NL09 (sin asfaltar)
Tipo de vía*	<input type="checkbox"/> VRN <input type="checkbox"/> VP <input type="checkbox"/> EV <input type="checkbox"/> VC <input type="checkbox"/> VL <input type="checkbox"/> VE

\*EAM: Estación de Aforado Manual Vehicular. VRN: vía regional – nacional, VP: vía principal, EV: encuentros viales, VC: vías colectoras, VL: vías locales, VE: vías especiales. Fuente: Ordenanza Municipal N° 004-2014-MPH – PDU 2013-2022.

#### II. CONTEO VEHICULAR Y VELOCIDAD – PERÍODO DIURNO

🕒 Franja horaria: 07:00–19:00 horas

📅 Fecha de registro: desde \_\_\_\_\_ hasta \_\_\_\_\_

Nº	Hora	Cat. 1	Vel. (km/h)	Cat. 2	Vel. (km/h)	Cat. 3	Vel. (km/h)	Cat. 4	Vel. (km/h)
1									
2									
3									
4									
5									
Total									

#### III. CONTEO VEHICULAR Y VELOCIDAD – PERÍODO VESPERTINO

🕒 Franja horaria: 19:00–23:00 horas

📅 Fecha de registro: desde \_\_\_\_\_ hasta \_\_\_\_\_

Nº	Hora	Cat. 1	Vel. (km/h)	Cat. 2	Vel. (km/h)	Cat. 3	Vel. (km/h)	Cat. 4	Vel. (km/h)
1									
2									
3									
4									
5									
Total									

#### IV. CONTEO VEHICULAR Y VELOCIDAD – PERÍODO NOCTURNO

🕒 Franja horaria: 23:00-07:00

📅 Fecha de registro: desde \_\_\_\_\_ hasta \_\_\_\_\_

Nº	Hora	Cat. 1	Vel. (km/h)	Cat. 2	Vel. (km/h)	Cat. 3	Vel. (km/h)	Cat. 4	Vel. (km/h)
1									
2									
3									
4									
5									
Total									

#### V. PERSONAL DE CAMPO

Aforadores

Nº	Nombre completo	Firma
1		
2		
3		
4		

Supervisor Responsable

Nombre completo	Firma

🔍 Observaciones del Equipo de Campo (opcional)

---

---

---

---

---

**Anexo 21.** Validación de Formato Técnico de Campo por juicio de expertos.

**VALIDACIÓN MEDIANTE JUICIO DE EXPERTO**

**TÍTULO:** "Predicción de Niveles de Ruido y Evaluación de la Exposición al Ruido Vehicular Mediante CNOSSOS-EU en el Distrito de Huacho, 2025"

**INSTRUMENTOS A EVALUAR:** F-01: FORMATO TÉCNICO DE RECOLECCIÓN DE DATOS – EAM.

**JUICIO DE EXPERTO:**

1. La opinión que usted brinde es personal y sincera.
2. Marque con un aspa "X" dentro del cuadro de valoración, solo una vez por cada criterio según su opinión respecto al cuestionario.

**Escala de valoración:**

1. Muy malo
2. Malo
3. Regular
4. Bueno
5. Muy bueno

N°	CRITERIOS	VALORACION				
		1	2	3	4	5
1	<b>Claridad:</b> Esta formulado con el lenguaje apropiado y comprensible					X
2	<b>Objetividad:</b> Permite medir hechos observables					X
3	<b>Actualidad:</b> Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología					X
4	<b>Organización:</b> Presentación ordenada					X
5	<b>Suficiencia:</b> Comprende los aspectos en cantidad y claridad					X
6	<b>Pertinencia:</b> Permite conseguir datos de acuerdo a objetivos					X
7	<b>Consistencia:</b> Permite conseguir datos basados en modelos teóricos					X
8	<b>Coherencia:</b> Hay coherencia entre las variables, indicadores e ítems					X
9	<b>Metodología:</b> La estrategia responde al propósito de la investigación				X	
10	<b>Aplicación:</b> Los datos permiten un tratamiento estadístico pertinente				X	

Consideraciones generales	Generalidad				
	1	2	3	4	5
Las instrucciones se entienden y orientan para lograr responder el cuestionario.				X	
La secuencia de los ítems es lógica					X
La cantidad de ítems es la adecuada				X	

Validación:  $61/65 = 91,38\%$  (APLICABLE)

Fecha: 18/06/2025

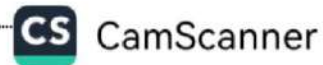
Observaciones: INSTRUMENTO APLICABLE.

Apellidos y Nombres del Juez Experto: ARÉVALO VILLAFUERTE YENNIFEER YULIANA  
 DNI: 72664499  
 Especialidad de Juez Experto: INGENIERA AMBIENTAL  
 Grado del Juez Experto: MAESTRO (A) EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL  
 CIP: 238411



YENNIFEER YULIANA  
 ARÉVALO VILLAFUERTE  
 Ingeniera Ambiental  
 CIP-N° 238411

FIRMA Y SELLO



**VALIDACIÓN MEDIANTE JUICIO DE EXPERTO**

**TÍTULO:** "Predicción de Niveles de Ruido y Evaluación de la Exposición al Ruido Vehicular Mediante CNOSSOS-EU en el Distrito de Huacho, 2025"

**INSTRUMENTOS A EVALUAR:** F-01: FORMATO TÉCNICO DE RECOLECCIÓN DE DATOS – EAM.

**JUICIO DE EXPERTO:**

1. La opinión que usted brinde es personal y sincera.
2. Marque con un aspa "X" dentro del cuadro de valoración, solo una vez por cada criterio según su opinión respecto al cuestionario.

**Escala de valoración:**

1. Muy malo
2. Malo
3. Regular
4. Bueno
5. Muy bueno

Nº	CRITERIOS	VALORACIÓN				
		1	2	3	4	5
1	<b>Claridad:</b> Ítem formulado con el lenguaje apropiado y comprensible				X	
2	<b>Objetividad:</b> Permite medir hechos observables					X
3	<b>Actualidad:</b> Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología					X
4	<b>Organización:</b> Presentación ordenada				X	
5	<b>Suficiencia:</b> Comprende los aspectos en cantidad y claridad				X	
6	<b>Pertinencia:</b> Permite conseguir datos de acuerdo a objetivos					X
7	<b>Consistencia:</b> Permite conseguir datos basados en modelos teóricos					X
8	<b>Coherencia:</b> Hay coherencia entre las variables, indicadores e ítems					X
9	<b>Metodología:</b> La estrategia responde al propósito de la investigación					X
10	<b>Aplicación:</b> Los datos permiten un tratamiento estadístico pertinente					X

Consideraciones generales	Generalidad				
	1	2	3	4	5
Las instrucciones se entienden y orientan para lograr responder el cuestionario.					X
La secuencia de los ítems es lógica					X
La cantidad de ítems es la adecuada					X

Validación: 57 / 65 = 88 % (APLICABLE)  
Observaciones:

Fecha: 16-06-25

Apellidos y Nombres del Juez Experto: CASTILLO AVALOS FRANCISCO NOEL  
DNI: 73016308  
Especialidad de Juez Experto: INGENIERO AMBIENTAL  
Grado del Juez Experto: COLEGIADO  
CIP: 299784

FRANCISCO NOEL  
CASTILLO AVALOS  
Ingeniero Ambiental  
CIP Nº 299784

## VALIDACIÓN MEDIANTE JUICIO DE EXPERTO

**TÍTULO:** "Predicción de Niveles de Ruido y Evaluación de la Exposición al Ruido Vehicular Mediante CNOSSOS-EU en el Distrito de Huacho, 2025"

**INSTRUMENTOS A EVALUAR:** F-01: FORMATO TÉCNICO DE RECOLECCIÓN DE DATOS – EAM.

**JUICIO DE EXPERTO:**

1. La opinión que usted brinde es personal y sincera.
2. Marque con un aspa "X" dentro del cuadro de valoración, solo una vez por cada criterio según su opinión respecto al cuestionario.

**Escala de valoración:**

1. Muy malo
2. Malo
3. Regular
4. Bueno
5. Muy bueno

N°	CRITERIOS	VALORACIÓN				
		1	2	3	4	5
1	<b>Claridad:</b> Esta formulado con el lenguaje apropiado y comprensible					X
2	<b>Objetividad:</b> Permite medir hechos observables				X	
3	<b>Actualidad:</b> Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología				X	
4	<b>Organización:</b> Presentación ordenada					X
5	<b>Suficiencia:</b> Comprende los aspectos en cantidad y claridad					X
6	<b>Pertinencia:</b> Permite conseguir datos de acuerdo a objetivos					X
7	<b>Consistencia:</b> Permite conseguir datos basados en modelos teóricos					X
8	<b>Coherencia:</b> Hay coherencia entre las variables, indicadores e ítems				X	
9	<b>Metodología:</b> La estrategia responde al propósito de la investigación					X
10	<b>Aplicación:</b> Los datos permiten un tratamiento estadístico pertinente				X	

Consideraciones generales	Generalidad				
	1	2	3	4	5
Las instrucciones se entienden y orientan para lograr responder el cuestionario.				X	
La secuencia de los ítems es lógica					X
La cantidad de ítems es la adecuada				X	

**Validación:** 59/65= 90.77 % (APLICABLE)

**Fecha:** 18 de junio de 2025

**Observaciones:**

.....

.....

**Apellidos y Nombres del Juez Experto:** Gabriel Francisco Martel Solórzano



**DNI** : 47233818  
**Especialidad de Juez Experto** : Ingeniero Ambiental  
**Grado del Juez Experto** : COLEGIADO  
**CIP** : 194339





GABRIEL FRANCISCO  
 MARTEL SOLÓRZANO  
 INGENIERO AMBIENTAL  
 Reg. CIP N° 194339

**Anexo 22.** Descripción gráfica por categoría vehicular (D.S. 058-2003 MTC).

**Categoría 1: Vehículos ligeros**

<p>M1: Vehículos para transportar personas de hasta 9 asientos (incluido el conductor)</p>		<p>N1: Vehículos para transporte de mercancías con PBV <math>\leq 3.5</math> tn.</p>	
--	---	--	---

**Categoría 2 y 3: Vehículos pesados medianos - pesados**

<p>M2: Vehículos para transportar personas de más de 9 asientos (+ conductor) y con PBV <math>\leq 5</math> tn.</p>		<p>N2: Vehículos para transporte de mercancías con PBV mayor a 3,5 tn. hasta 12 tn.</p>	
<p>M3: Vehículos para transportar personas de más de 9 asientos (+ conductor) y con PBV <math>\geq 5</math> tn.</p>		<p>N3: Vehículos para transporte de mercancías con PBV mayor a 12 tn.</p>	

**Categoría 4: Vehículos automotores con menos de 4 ruedas**

<p>L1: 2 ruedas, hasta 50 cm<sup>3</sup> y Velocidad máx. de 50 km/h.</p>		<p>L2: 3 ruedas, hasta 50 cm<sup>3</sup> y Velocidad máx. de 50 km/h.</p>	
<p>L3: 2 ruedas, más de 50 cm<sup>3</sup> o Velocidad &gt;50km/h.</p>		<p>L4: 3 ruedas Eje &gt;50 cm<sup>3</sup> o Vel. &gt;50km/h.</p>	
<p>L5: 3 ruedas Eje &gt;50 cm<sup>3</sup> o Vel. &gt;50 km/h PBV &lt;1 tonelada.</p>		<p>L6: 4 ruedas Vel. Máx. &lt;50 km/h PBV inferior o igual a 350 kg</p>	

## Anexo 23. Categorización de vías según PDU-2013-2022.

### a. Sistema vial primario

---

#### a.1. Vías regional-nacional

Son vías de interconexión con las zonas a nivel provincial, regional y nacional, de tránsito de paso por la ciudad con accesos totalmente controlados, mediante intercambios viales.

- 1) Autopista Carretera Panamericana Norte (Eje Norte-Sur)
- 2) Carretera Huaura-Sayán-Oyón-Ámbar (Eje Este-Oeste).

#### a.2 Vías principales

Son aquellas que ordenan los flujos principales de transporte de la Ciudad de Huacho en el sentido Este-Oeste y Norte-Sur.

- 1) Carretera a Sayán- Av. San Francisco-Av. Blas de la Carrera
- 2) Av. S/N° 05 (Caleta de Carquín)
- 3) Av. S/N N° 06 (Caleta de Carquín)
- 4) Jr. San Martín-Av. Túpac Amaru-Av. S/N °07 (Carretera a Carquín)-Av. 9 de Octubre-Av. Calle El Inca (Caleta de Carquín-Hualmay- Huacho)
- 5) Av. Pedro Herrera (Hualmay)
- 6) Av. Prolongación Santa Rosa (Hualmay)
- 7) Av. Cincuentenario-Av. Perú (Hualmay-Santa María)
- 8) Av. Libertad (Santa María)
- 9) Av. Centenario-Av. Túpac Amaru-Av. 28 de Julio (Santa María-Huacho)
- 10) Av. Domingo Mandamiento Calle Mariscal Castilla- Av. More- Av. Francisco Vidal-Av. Mercedes Indacochea-Av. S/N N° 09 (Hualmay-Huacho)
- 11) Av. San Martín-Prolongación Av. San Martín (Huacho)
- 12) Antigua Panamericana Norte: Av. S/N N° 16- Av. Cruz Blanca-Av. Tambo Blanco-Av. Peralvillo-Av. Coronel Portillo (Huacho-Santa María-Hualmay-Huaura)
- 13) Av. Circunvalación Sur
- 14) Av. S/N N° 10-Av. S/N N° 11- (Huacho)

#### a.3 Encuentros viales

Son aquellos intercambios viales y pasos a desnivel propuestos en los accesos y cruces con la Carretera Panamericana Norte. Dentro de esta clasificación se tiene lo siguiente

- 1) Intercambio vial Carretera Huaura-Sayán con Carretera Panamericana Norte
  - 2) Paso a desnivel Av. Perú con Carretera Panamericana Norte
  - 3) Paso a desnivel Av. San Martín con Carretera Panamericana Norte
  - 4) Paso a desnivel Av. Centenario con Carretera Panamericana Norte
  - 5) Intercambio vial Antigua Carretera Panamericana Norte con Carretera Panamericana Norte (existente)
  - 6) Paso a desnivel Av. Coronel Baltazar La Rosa con Carretera Panamericana Norte
-

- 
- 7) Paso a desnivel Av. Circunvalación Sur-Av. S/N N° 10 con Carretera Panamericana Norte
  - 8) Intercambio Vial Av. S/N N° 09-Av. S/N N° 10 con Carretera Panamericana Norte
  - 9) Intercambio Vial Av. Túpac Amaru-Av. Centenario con Av. S/N N° 13-Av. Cruz Blanca
- 

*Nota.* Adaptado del Plan de Desarrollo Urbano Huacho 2013-2022.

## **b. Sistema vial secundario**

### **b.1. Vías colectoras**

Son aquellas que complementan el sistema vial de la ciudad y sirven para llevar el tránsito local hasta las vías principales. Dentro de esta clasificación.

- 1) Av. S/N N° 01 (Huaura)
  - 2) Av. S/N N° 02 (Huaura)
  - 3) Av. Arequipa (Huaura)
  - 4) Av. Bolognesi-Av. Los Libertadores-Calle El Balcón (Huaura)
  - 5) Av. San Martín (Huaura)
  - 6) Av. Ferrocarril (Huaura)
  - 7) Av. S/N. N° 03-Camino a Playa Centinela. (Huaura)
  - 8) Av. S/N N° 04-Costanera Norte (Huaura-Caleta de Carquín-Hualmay-Huacho)
  - 9) Av. Industrial-Av. 27 de Octubre (Caleta de Carquín)
  - 10) Av. Hipólito Unanue-Av. Manuel Oyola (Hualmay-Santa María)
  - 11) Av. Antonio Raimondi - Av. Esteban Pichiingue - Av. José Carlos Mariátegui (Hualmay)
  - 12) Av. Juan Crespo (Hualmay)
  - 13) Av. Hualmay (Hualmay)
  - 14) Av. Garcilaso de la Vega-Av. San Martín de Porres (Hualmay)
  - 15) Ca. José Faustino Sánchez Carrión-Av. La Unión (Hualmay-Huacho)
  - 16) Jr. Florián Díaz-Jr. Juan Rosadio (Hualmay)
  - 17) Jr. Mateo Pumacahua (Hualmay)
  - 18) Ca. José Santos Chocano (Hualmay)
  - 19) Av. Santa Rosa-Av. Puquio Cano (Hualmay-Huacho))
  - 20) Av. Av. San Martín (Santa María)
  - 21) Av. Dos de Mayo-Av. Coronel Portillo-Calle José Olaya (Huacho)
  - 22) Av. Echenique-Jr. Atahualpa-Jr. Túpac Amaru (Huacho-Hualmay)
  - 23) Av. Augusto B. Leguía (Huacho)
  - 24) Av. Libertad (Huacho)
  - 25) Av. José Arámbulo La Rosa (Huacho)
  - 26) Av. Leoncio Prado-Prolongación Av. Leoncio Prado (Huacho)
  - 27) Av. María Parado de Bellido (Huacho)
  - 28) Av. Moore-Prolongación Av. Moore-Av. Los Pinos (Huacho)
  - 29) Av. Coronel Baltazar La Rosa (Huacho)
  - 30) Av. La Paz (Huacho)
  - 31) Av. Los Alisos (Huacho)
-

- 
- 32) Av. Luna Arrieta-Av. Aminco Mar (Huacho)
  - 33) Av. N° 08-Costanera Sur (Huacho)
  - 34) Av. Amazonas (Huacho)
  - 35) Calle 4-Ca. Los Pinos-Calle 1 (Huacho)
  - 36) Av. Los Nogales
  - 37) Av. S/N. N° 12- Av. S/N. N° 13 (Huacho)
  - 38) Av. S/N. N° 14 (Huacho)
  - 39) Av. S/N. N° 15 (Huacho)
  - 40) Av. S/N N° 17 (Huacho)
  - 41) Av. S/N N° 18 (Huacho)
  - 42) Av. S/N N° 19 (Huacho)
  - 43) Av. S/N N° 20 (Huacho)
  - 44) Av. S/N N° 21 (Huacho)

**b.2. Vías locales**

Son el producto de los procesos de habilitación urbana.

- 1) Av. Las Malvinas-Ca. Independencia (Huaaura)
- 2) Ca. Los Pinos-Av. Sevilla (Santa María)
- 3) Av. Grau-Prolongación Av. Grau-Av. Espinar (Huacho)
- 4) Av. Salaverry-Prolongación Av. Salaverry (Huacho)
- 5) Ca. Libertad-Prolongación Ca. Arequipa (Huacho)
- 6) Av. Sur (Huacho)
- 7) Ca. Los Jardines (Huacho)
- 8) Ca. S/N. N° 22 (Huacho)
- 9) Ca. S/N. N° 23 (Huacho)

---

*Nota.* Adaptado del Plan de Desarrollo Urbano Huacho 2013-2022.

**Anexo 24.** Respuesta a lo solicitado a la MPH por Ley de Transparencia.



Katherine Nicole Zelada Córdova  
<katherinezc04@gmail.com>

---

## REMITO INFORMACIÓN SOLICITADO MEDIANTE LEY DE TRANSPARENCIA Y ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA

1 mensaje

---

**transparencia@munihuacho.gob.pe**  
<transparencia@munihuacho.gob.pe>  
Para: katherinezc04@gmail.com

23 de junio de 2025,  
12:19 p.m.

--Buenas tardes, me dirijo a Ud., para saludarlo cordialmente, asimismo se le remite la Carta N°689-2025 –LDT –OSG/MPH - Ley de Transparencia, el cual da respuesta a la solicitud presentada por su persona mediante EXP. 791662, va un folio y plano de sistema zonificación.

Ante lo mencionado líneas arriba, sírvase a enviar un correo de confirmación de la recepción de este correo.

ATTE;  
Mg. Jina Seleni Liberato Villanueva  
Especialista Administrativo  
Oficina de Secretaria General

---

### 2 archivos adjuntos

 **PLANO SISTEMA ZONIFICACION.dwg**  
16134K

 **CARTA N° 389-2025-LDT-OSGMPH- KATHERINE NICOLE ZELADA CORDOVA.pdf**  
250K

DOC	2290919
EXP	791662

Huacho, 19 de junio de 2025

**CARTA N° 389- 2025-LDT-OSG/MPH**

Señora:  
**KATHERINE NICOLE ZALADA CORDOVA**  
Teléfono: 972584756  
Correo:katherinezc04@gmail.com  
**Presente. -**

REF. : Doc. 2279237; Exp.791662  
ASUNTO : **COPIAS POR LEY DE TRANSPARENCIA.**

Tengo el agrado de dirigirme a usted, en atención a su solicitud de acceso a la información pública de la referencia, con la finalidad de manifestarle lo siguiente:

Que, de conformidad a lo regulado en el artículo 11° del Reglamento de la Ley N° 27806, Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 0164-2020-PCM y el Informe N°1276-2025-SGPTCYFPI/GDUR/MPHH, emitida por la **SUBGERENCIA DE PLANEAMIENTO TERRITORIAL, CATASTRO Y FORMALIZACIÓN DE LA PROPIEDAD INFORMAL**, la misma que informa lo siguiente:

**QUE MEDIANTE EL INFORME N°1276-2025-SGPTCYFPI/GDUR/MPHH, LA SUBGERENCIA DE PLANEAMIENTO TERRITORIAL, CATASTRO Y FORMALIZACIÓN DE LA PROPIEDAD INFORMAL PRECISA "SE INFORMA QUE HABIÉNDOSE REALIZADO LA BÚSQUEDA EXHAUSTIVA DENTRO DE LOS ARCHIVOS FÍSICOS Y EN DIGITAL DE ESTA SUBGERENCIA, CON RESULTADO POSITIVOS DE LA BÚSQUEDA DEL PLANO DE LA PROPUESTA FINAL DE LA ACTUALIZACIÓN DE LA ZONIFICACIÓN DEL PLANO DE DESARROLLO URBANO DE LA CIUDAD DE HUACHO 2014 - 2022, VIGENTE A LA FECHA.**

**RESPECTO A LOS DEMÁS PUNTOS SE TIENE QUE ESTA SUBGERENCIA NO CUENTA CON UN CATASTRO URBANO, NI CON UN PDU ACTUALIZADO 2025 - 2035 A LA FECHA, TAMPOCO SE CUENTA CON ARCHIVOS EN MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT), SOLO SE CUENTA CON UNA BASE GRÁFICA, EL CUAL SE ENCUENTRA PROTEGIDO POR LEY, POR CONTENER INFORMACIÓN DE LOS BIENES INMUEBLES UBICADOS EN LA JURISDICCIÓN DEL DISTRITO DE HUACHO.**

**POR LO TANTO, SOLO SE REMITE EN DIGITAL EL PLANO DE LA PROPUESTA FINAL DE LA ACTUALIZACIÓN DE LA ZONIFICACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO URBANO, EN FORMATO DWG AL CORREO KATHERINEZC04@GMAIL.COM."**

De acuerdo al Texto Único de Procedimientos Administrativos TUPA de la Municipalidad Provincial de Huaura, establece que el procedimiento administrativo "ACCESO A LA INFORMACION PUBLICA que posean las diversas unidades orgánicas de la Municipalidad" se precisa que la atención es de manera impresa en **COPIA SIMPLE, CD ó CORREO ELECTRONICO**, lo que se informa para su conocimiento.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente:

  
MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE HUAURA  
Lic. MIRIAM Y. RAMIREZ GUTIERREZ  
Jefe de la Oficina de Secretaría General

Cc: Archivo

**Anexo 25.** Formulario QAI “Conformidad de iNoise con CNOSSOS-EU”.

**QAI form “Conformity on CNOSSOS-EU”**

The undersigned as the authorized person for the company DGMR Software B.V., ensures that the software product: iNoise, Version: V2024.3 from Date: March 2025 correctly and completely implements the calculation of sound propagation in agreement with Directive (EU) 2021/1226 of 27 July 2021 in conjunction with the “Uniform and agreed interpretation of ambiguous definitions” of Chapter 5 of ISO/TR 17534-4:2020

<b>Test suite</b>	ISO/TR 17534-4 (Technical Report) – Addendum for CNOSSOS-EU		
<b>Place and date of publication</b>	Geneva, International Organization for Standardization ISO 17534-4: 2020 Directive (EU) 2021/1226		
<b>Calculation method</b>	Recommendations for quality assured implementation of Cnossos in software according to ISO 17534-4		
<b>Test case No.</b>	<b>Certified results in dB(A)</b>	<b>Software calculation result in dB(A)</b>	<b>Result inside tolerances yes/no</b>
TC01	44,12	44,12	yes
TC02	41,27	41,28	yes
TC03	39,14	39,15	yes
TC04	41,09	41,10	yes
TC05	41,43	41,44	yes
TC06	41,31	41,32	yes
TC07	29,83	29,84	yes
TC08	30,62	30,62	yes
TC09	27,39	27,39	yes
TC10	41,19	41,19	yes
TC11	41,03	41,03	yes
TC12	41,90	41,91	yes
TC13	24,00	24,00	yes
TC14	47,45	47,46	yes
TC15	32,50	32,51	yes
TC16	43,05	43,06	yes
TC17	42,94	42,95	yes
TC18	41,49	41,50	yes
TC19	27,08	27,08	yes
TC20	41,61	41,61	yes
TC21	40,64	40,63	yes
TC22	18,93	18,94	yes
TC23	36,56	36,57	yes
TC24	36,83	36,83	yes
TC25	39,00	39,00	yes
TC26	48,42	48,42	yes
TC27	45,80	45,73	yes
TC28	61,02	61,02	yes

The Hague, March 2025  
Place, date

  
.....  
Signature

**Anexo 26.** Formulario QAI “Conformidad de iNoise con ISO 9613-2:1996”.


**QAI form “Conformity on ISO 9613-2:1996”**

The undersigned as the authorized person for the company DGMR Software B.V., ensures that the software product: iNoise, Version: V2024.3 from Date: March 2025 correctly and completely implements the calculation of sound propagation in agreement with ISO 9613-2:1996 in conjunction with the “Uniform and agreed interpretation of ambiguous definitions” of Chapter 5 of ISO/TR 17534-3:2020

<b>Test suite</b>	ISO/TR 17534–3 (Technical Report) – Addendum for ISO 9613–2		
<b>Place and date of publication</b>	Geneva, International Organization for Standardization ISO 17534-3: 2015 ISO 9613-2: 1996		
<b>Calculation method</b>	Recommendations for quality assured implementation of ISO 9613-2 in software according to ISO 17534-3		
<b>Test case No.</b>	<b>Certified results in dB(A)</b>	<b>Software calculation result in dB(A)</b>	<b>Result inside tolerances(±0.05) yes/no</b>
T01	44,29	44,30	yes
T02	41,53	41,53	yes
T03	39,14	39,15	yes
T04	42,23	42,23	yes
T05	39,30	39,31	yes
T06	40,59	40,60	yes
T07	39,75	39,76	yes
T08	32,48	32,51	yes
T09	32,93	32,95	yes
T10	29,30	29,34	yes
T11	41,30	41,33	yes
T12	43,81	43,84	yes
T13	42,71	42,76	yes
T14	25,38	25,42	yes
T15	49,92	49,97	yes
T16	32,54	32,57	yes
T17	32,72	32,75	yes
T18	34,89	34,90	yes
T19	42,00*	40,62	yes

\*The certified result of 42,00 for T19 is not correct. The software result of 40,62 is the correct result. This has been reported to and acknowledged by the ISO 17534 working group.

The Hague, March 2025  
Place, date

  
.....  
Signature

# Anexo 27. Consolidado de Flujo Vehicular y Emisión sonora total por segmento.

ID	Cod Segm	TIPO VIA	N°	PUNTO	DESCRIPCIÓN	INSTRAT	INSTRAT	XEND	YEND	LARGHT	SRCHGHT	SURFACE	CATV	CANTIDAD DE VEHICULOS												EMISION SONORA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
														0-1	1-1	1-2	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	3-7	3-8	3-9	3-10	3-11	3-12	3-13	3-14	3-15	3-16	3-17	3-18	3-19	3-20	3-21	3-22	3-23	3-24	3-25	3-26	3-27	3-28	3-29	3-30	3-31	3-32	3-33	3-34	3-35	3-36	3-37	3-38	3-39	3-40	3-41	3-42	3-43	3-44	3-45	3-46	3-47	3-48	3-49	3-50	3-51	3-52	3-53	3-54	3-55	3-56	3-57	3-58	3-59	3-60	3-61	3-62	3-63	3-64	3-65	3-66	3-67	3-68	3-69	3-70	3-71	3-72	3-73	3-74	3-75	3-76	3-77	3-78	3-79	3-80	3-81	3-82	3-83	3-84	3-85	3-86	3-87	3-88	3-89	3-90	3-91	3-92	3-93	3-94	3-95	3-96	3-97	3-98	3-99	3-100	3-101	3-102	3-103	3-104	3-105	3-106	3-107	3-108	3-109	3-110	3-111	3-112	3-113	3-114	3-115	3-116	3-117	3-118	3-119	3-120	3-121	3-122	3-123	3-124	3-125	3-126	3-127	3-128	3-129	3-130	3-131	3-132	3-133	3-134	3-135	3-136	3-137	3-138	3-139	3-140	3-141	3-142	3-143	3-144	3-145	3-146	3-147	3-148	3-149	3-150	3-151	3-152	3-153	3-154	3-155	3-156	3-157	3-158	3-159	3-160	3-161	3-162	3-163	3-164	3-165	3-166	3-167	3-168	3-169	3-170	3-171	3-172	3-173	3-174	3-175	3-176	3-177	3-178	3-179	3-180	3-181	3-182	3-183	3-184	3-185	3-186	3-187	3-188	3-189	3-190	3-191	3-192	3-193	3-194	3-195	3-196	3-197	3-198	3-199	3-200	3-201	3-202	3-203	3-204	3-205	3-206	3-207	3-208	3-209	3-210	3-211	3-212	3-213	3-214	3-215	3-216	3-217	3-218	3-219	3-220	3-221	3-222	3-223	3-224	3-225	3-226	3-227	3-228	3-229	3-230	3-231	3-232	3-233	3-234	3-235	3-236	3-237	3-238	3-239	3-240	3-241	3-242	3-243	3-244	3-245	3-246	3-247	3-248	3-249	3-250	3-251	3-252	3-253	3-254	3-255	3-256	3-257	3-258	3-259	3-260	3-261	3-262	3-263	3-264	3-265	3-266	3-267	3-268	3-269	3-270	3-271	3-272	3-273	3-274	3-275	3-276	3-277	3-278	3-279	3-280	3-281	3-282	3-283	3-284	3-285	3-286	3-287	3-288	3-289	3-290	3-291	3-292	3-293	3-294	3-295	3-296	3-297	3-298	3-299	3-300	3-301	3-302	3-303	3-304	3-305	3-306	3-307	3-308	3-309	3-310	3-311	3-312	3-313	3-314	3-315	3-316	3-317	3-318	3-319	3-320	3-321	3-322	3-323	3-324	3-325	3-326	3-327	3-328	3-329	3-330	3-331	3-332	3-333	3-334	3-335	3-336	3-337	3-338	3-339	3-340	3-341	3-342	3-343	3-344	3-345	3-346	3-347	3-348	3-349	3-350	3-351	3-352	3-353	3-354	3-355	3-356	3-357	3-358	3-359	3-360	3-361	3-362	3-363	3-364	3-365	3-366	3-367	3-368	3-369	3-370	3-371	3-372	3-373	3-374	3-375	3-376	3-377	3-378	3-379	3-380	3-381	3-382	3-383	3-384	3-385	3-386	3-387	3-388	3-389	3-390	3-391	3-392	3-393	3-394	3-395	3-396	3-397	3-398	3-399	3-400	3-401	3-402	3-403	3-404	3-405	3-406	3-407	3-408	3-409	3-410	3-411	3-412	3-413	3-414	3-415	3-416	3-417	3-418	3-419	3-420	3-421	3-422	3-423	3-424	3-425	3-426	3-427	3-428	3-429	3-430	3-431	3-432	3-433	3-434	3-435	3-436	3-437	3-438	3-439	3-440	3-441	3-442	3-443	3-444	3-445	3-446	3-447	3-448	3-449	3-450	3-451	3-452	3-453	3-454	3-455	3-456	3-457	3-458	3-459	3-460	3-461	3-462	3-463	3-464	3-465	3-466	3-467	3-468	3-469	3-470	3-471	3-472	3-473	3-474	3-475	3-476	3-477	3-478	3-479	3-480	3-481	3-482	3-483	3-484	3-485	3-486	3-487	3-488	3-489	3-490	3-491	3-492	3-493	3-494	3-495	3-496	3-497	3-498	3-499	3-500	3-501	3-502	3-503	3-504	3-505	3-506	3-507	3-508	3-509	3-510	3-511	3-512	3-513	3-514	3-515	3-516	3-517	3-518	3-519	3-520	3-521	3-522	3-523	3-524	3-525	3-526	3-527	3-528	3-529	3-530	3-531	3-532	3-533	3-534	3-535	3-536	3-537	3-538	3-539	3-540	3-541	3-542	3-543	3-544	3-545	3-546	3-547	3-548	3-549	3-550	3-551	3-552	3-553	3-554	3-555	3-556	3-557	3-558	3-559	3-560	3-561	3-562	3-563	3-564	3-565	3-566	3-567	3-568	3-569	3-570	3-571	3-572	3-573	3-574	3-575	3-576	3-577	3-578	3-579	3-580	3-581	3-582	3-583	3-584	3-585	3-586	3-587	3-588	3-589	3-590	3-591	3-592	3-593	3-594	3-595	3-596	3-597	3-598	3-599	3-600	3-601	3-602	3-603	3-604	3-605	3-606	3-607	3-608	3-609	3-610	3-611	3-612	3-613	3-614	3-615	3-616	3-617	3-618	3-619	3-620	3-621	3-622	3-623	3-624	3-625	3-626	3-627	3-628	3-629	3-630	3-631	3-632	3-633	3-634	3-635	3-636	3-637	3-638	3-639	3-640	3-641	3-642	3-643	3-644	3-645	3-646	3-647	3-648	3-649	3-650	3-651	3-652	3-653	3-654	3-655	3-656	3-657	3-658	3-659	3-660	3-661	3-662	3-663	3-664	3-665	3-666	3-667	3-668	3-669	3-670	3-671	3-672	3-673	3-674	3-675	3-676	3-677	3-678	3-679	3-680	3-681	3-682	3-683	3-684	3-685	3-686	3-687	3-688	3-689	3-690	3-691	3-692	3-693	3-694	3-695	3-696	3-697	3-698	3-699	3-700	3-701	3-702	3-703	3-704	3-705	3-706	3-707	3-708	3-709	3-710	3-711	3-712	3-713	3-714	3-715	3-716	3-717	3-718	3-719	3-720	3-721	3-722	3-723	3-724	3-725	3-726	3-727	3-728	3-729	3-730	3-731	3-732	3-733	3-734	3-735	3-736	3-737	3-738	3-739	3-740	3-741	3-742	3-743	3-744	3-745	3-746	3-747	3-748	3-749	3-750	3-751	3-752	3-753	3-754	3-755	3-756	3-757	3-758	3-759	3-760	3-761	3-762	3-763	3-764	3-765	3-766	3-767	3-768	3-769	3-770	3-771	3-772	3-773	3-774	3-775	3-776	3-777	3-778	3-779	3-780	3-781	3-782	3-783	3-784	3-785	3-786	3-787	3-788	3-789	3-790	3-791	3-792	3-793	3-794	3-795	3-796	3-797	3-798	3-799	3-800	3-801	3-802	3-803	3-804	3-805	3-806	3-807	3-808	3-809	3-810	3-811	3-812	3-813	3-814	3-815	3-816	3-817	3-818	3-819	3-820	3-821	3-822	3-823	3-824	3-825	3-826	3-827	3-828	3-829	3-830	3-831	3-832	3-833	3-834	3-835	3-836	3-837	3-838	3-839	3-840	3-841	3-842	3-843	3-844	3-845	3-846	3-847	3-848	3-849	3-850	3-851	3-852	3-853	3-854	3-855	3-856	3-857	3-858	3-859	3-860	3-861	3-862	3-863	3-864	3-865	3-866	3-867	3-868	3-869	3-870	3-871	3-872	3-873	3-874	3-875	3-876	3-877	3-878	3-879	3-880	3-881	3-882	3-883	3-884	3-885	3-886	3-887	3-888	3-889	3-890	3-891	3-892	3-893	3-894	3-895	3-896	3-897	3-898	3-899	3-900	3-901	3-902	3-903	3-904	3-905	3-906	3-907	3-908	3-909	3-910	3-911	3-912	3-913	3-914	3-915	3-916	3-917	3-918	3-919	3-920	3-921	3-922	3-923	3-924	3-925	3-926	3-927	3-928	3-929	3-930	3-931	3-932	3-933	3-934	3-935	3-936	3-937	3-938	3-939	3-940	3-941	3-942	3-943	3-944	3-945	3-946	3-947	3-948	3-949	3-950	3-951	3-952	3-953	3-954	3-955	3-956	3-957	3-958	3-959	3-960	3-961	3-962	3-963	3-964	3-965	3-966	3-967	3-968	3-969	3-970	3-971	3-972	3-973	3-974	3-975	3-976	3-977	3-978	3-979	3-980	3-981	3-982	3-983	3-984	3-985	3-986	3-987	3-988	3-989	3-990	3-991	3-992	3-993	3-994	3-995	3-996	3-997	3-998	3-999	3-1000	3-1001	3-1002	3-1003	3-1004	3-1005	3-1006	3-1007	3-1008	3-1009	3-1010	3-1011	3-1012	3-1013	3-1014	3-1015	3-1016	3-1017	3-1018	3-1019	3-1020	3-1021	3-1022	3-1023	3-1024	3-1025	3-1026	3-1027	3-1028	3-1029	3-1030	3-1031	3-1032	3-1033	3-1034	3-1035	3-1036	3-1037	3-1038	3-1039	3-1040	3-1041	3-1042	3-1043	3-1044	3-1045	3-1046	3-1047	3-1048	3-1049	3-1050	3-1051	3-1052	3-1053	3-1054	3-1055	3-1056	3-1057	3-1058	3-1059	3-1060	3-1061	3-1062	3-1063	3-1064	3-1065	3-1066	3-1067	3-1068	3-1069	3-1070	3-1071	3-1072	3-1073	3-1074	3-1075	3-1076	3-1077	3-1078	3-1079	3-1080	3-1081	3-1082	3-1083	3-1084	3-1085	3-1086	3-1087	3-1088	3-1089	3-1090	3-1091	3-1092	3-1093	3-1094	3-1095	3-1096	3-1097	3-1098	3-1099	3-1100	3-1101	3-1102	3-1103	3-1104	3-1105	3-1106	3-1107	3-1108	3-1109	3-1110	3-1111	3-1112	3-1113	3-1114	3-1115	3-1116	3-1117	3-1118	3-1119	3-1120	3-1121	3-1122	3-1123	3-1124	3-1125	3-1126	3-1127	3-1128	3-1129	3-1130	3-1131	3-1132	3-1133	3-1134	3-1135	3-1136	3-1137	3-1138	3-1139	3-1140	3-1141	3-1142	3-1143	3-1144	3-1145	3-1146	3-1147	3-1148	3-1149	3-1150	3-1151	3-1152	3-1153	3-1154	3-1155	3-1156	3-1157	3-1158	3-1159	3-1160	3-1161	3-1162	3-1163	3-1164	3-1165	3-1166	3-1167	3-1168	3-1169	3-1170	3-1171	3-1172	3-1173	3-1174	3-1175	3-1176	3-1177	3-1178	3-1179	3-1180	3-1181







**Anexo 28.** Umbrales normativos (ECA/END) aplicados.

Cod. Estación	X	Y	Fuente	Predicho Leq,A,day	Medido Leq,A,diurno	Error
PM-02	216404.00	8769521.00	PANTOJA_2024_CIPRESES	65.87	69.52	-3.65
PM-03	216600.00	8769521.00	PANTOJA_2024_CIPRESES	71.62	69.82	+1.8
PM-04	216549.00	8769313.00	PANTOJA_2024_CIPRESES	63.33	65.44	-2.11
PM-05	216364.00	8769281.00	PANTOJA_2024_CIPRESES	64.90	70.12	-5.22
PM-06	216260.00	8769225.00	PANTOJA_2024_CIPRESES	64.09	61.49	+2.6
RA-01	215722.17	8771111.65	PLANEFA_2025_MPH	76.16	76.62	-0.46
RA-02	216141.49	8771076.50	PLANEFA_2025_MPH	71.83	75.49	-3.66
RA-03	216445.57	8770907.74	PLANEFA_2025_MPH	73.91	76.09	-2.18
RA-04	216470.56	8770802.96	PLANEFA_2025_MPH	70.98	76.34	-5.36
RA-10	215682.22	8770854.99	PLANEFA_2025_MPH	72.38	77.23	-4.85
RA-17	215735.06	8771114.66	PLANEFA_2025_MPH	74.41	76.39	-1.98
RA-18	215690.36	8770910.46	PLANEFA_2025_MPH	74.05	78.01	-3.96
RA-19	216104.80	8770909.90	PLANEFA_2025_MPH	72.06	78.24	-6.18
RA-21	214828.44	8769197.75	PLANEFA_2025_MPH	71.00	73.33	-2.33
RA-22	215029.51	8770267.63	PLANEFA_2025_MPH	71.57	73.95	-2.38
RA-27	215225.02	8769974.02	PLANEFA_2025_MPH	66.57	74.27	-7.7

*Nota.* Obtenido de Pantoja (2024) y el reporte del I trimestre del PLANEFA, MPH (2025).

**Anexo 0.29.** Comparación de contrastación de NPS medidos y predichos.

Parámetro	Pantoja (2024)	PLANEFA I trimestre (2025)
Número de puntos	5	11
MAE (Error Absoluto Medio)	3.08 dB	3.73 dB
RMSE (Raíz del Error Cuadrático Medio)	3.32 dB	4.25 dB
Porcentaje de puntos dentro de $\pm 3$ dB	60 %	45.45 %
Prueba t apareada	t = -0.86433	t = -5.79
Valor p (t-test)	0.4362	0.0001753
Diferencia media (Predicho – Medido)	-1.316 dB	-3.731 dB
CCC (Coeficiente de Concordancia de Lin)	0.4937	0.1752
IC 95% (CCC)	-0.460 a 0.918 (Baja)	-0.053 a 0.386 (Muy baja)

*Nota.* Elaboración Propia (2025), en base a los resultados del modelo CNOSSOS-EU obtenidos de iNoise y RStudio.

**Anexo 30.** Distribución sectorial de áreas críticas (hotspots) por indicador.

Sector	Indicador	Grid points	Área sector (Ha)	Umbral P95 (dB)	Área ≥ P95 (Ha)	% del sector (P95)	Umbral P99 (dB)	Área ≥ P99 (Ha)	% del sector (P99)
S2	Lden	3140	40.67	74.28	1.88	4.62	76.88	0.02	0.05
S3	Lden	4067	105.17	74.28	1.48	1.41	76.88	0.09	0.09
S5	Lden	10517	24.36	74.28	0.70	2.87	76.88	0.00	0.00
S6	Lden	2436	111.84	74.28	1.60	1.43	76.88	0.00	0.00
Externo*	Lden	11184	31.40	74.28	10.07	32.07	76.88	3.06	9.75
S2	Lday	4067	40.67	70.78	2.45	6.02	74.08	0.02	0.05
S3	Lday	10517	105.17	70.78	1.07	1.02	74.08	0.06	0.06
S5	Lday	2436	24.36	70.78	0.33	1.35	74.08	0	0
S6	Lday	11184	111.84	70.78	0.65	0.58	74.08	0	0
Externo*	Lday	3140	31.4	70.78	11.19	35.64	74.08	3.08	9.81
S2	Levening	4067	40.67	70.01	2.61	6.42	73.67	0.01	0.02
S3	Levening	10517	105.17	70.01	1.27	1.21	73.67	0.06	0.06
S5	Levening	2436	24.36	70.01	0.29	1.19	73.67	0	0
S6	Levening	11184	111.84	70.01	0.7	0.63	73.67	0	0
Externo*	Levening	3140	31.4	70.01	10.81	34.43	73.67	3.08	9.81
S2	Lnight	4067	40.67	66.75	1.74	4.28	69.01	0.27	0.66
S3	Lnight	10517	105.17	66.75	1.96	1.86	69.01	0.18	0.17
S5	Lnight	2436	24.36	66.75	1.3	5.34	69.01	0.03	0.12
S6	Lnight	11184	111.84	66.75	2.25	2.01	69.01	0.09	0.08
Externo*	Lnight	3140	31.4	66.75	8.5	27.07	69.01	2.6	8.28

*Nota:* Elaboración propia con base en el análisis espacial de percentiles (Python 3.10 y ArcGIS Pro 3.4). \*La categoría “Externo” corresponde a la superficie fuera de los límites sectoriales incluidas dentro del área de cálculo que coinciden con vías de tipo VRN y VP de alto flujo vehicular, motivo por el cual registran valores más altos; su presencia en la tabla es únicamente referencial y no integra el análisis sectorial urbano.

## EVIDENCIA

Investigadores Katherine Zelada Córdova y Oscar Rivas Quiñones.



**Anexo 31.** Aforado Manual Vehicular EAM-12N-S2 – periodo diurno.

Nota: Conteo y clasificación de flujo vehicular al segmento A y B de la intersección 12.



**Anexo 32.** Aforado Manual Vehicular EAM-12N-S2 – periodo diurno.

Nota: Conteo y clasificación de flujo vehicular al segmento N de la intersección 12.



**Anexo 33.** Aforado Manual Vehicular EAM-16C-S2 – periodo diurno.

Nota: Conteo y clasificación de flujo vehicular al segmento C de la intersección 16.



**Anexo 34.** Aforado Manual Vehicular EAM-107(A-C)-S6 – periodo diurno.

Nota: Conteo y clasificación de flujo vehicular a los segmentos A, B y C de la intersección 107.



**Anexo 35.** Aforado Manual Vehicular EAM-21EyN-S2 – periodo vespertino.

Nota: Conteo y clasificación de flujo vehicular a los segmentos E y N de la intersección 21.



**Anexo 36.** Aforado Manual Vehicular EAM-58(E, N, A)-S3 – vespertino.

Nota: Conteo y clasificación de flujo vehicular a los segmentos E, N y A de la intersección 58.



**Anexo 37.** Aforado Manual Vehicular EAM-79ByC-S3 – vespertino.

Nota: Conteo y clasificación de flujo vehicular a los segmentos B y C de la intersección 79.



**Anexo 38.** Aforado Manual Vehicular EAM-107(D, N, A)-S6 – vespertino.

Nota: Conteo y clasificación de flujo vehicular a los segmentos D, N y A de la intersección 107.



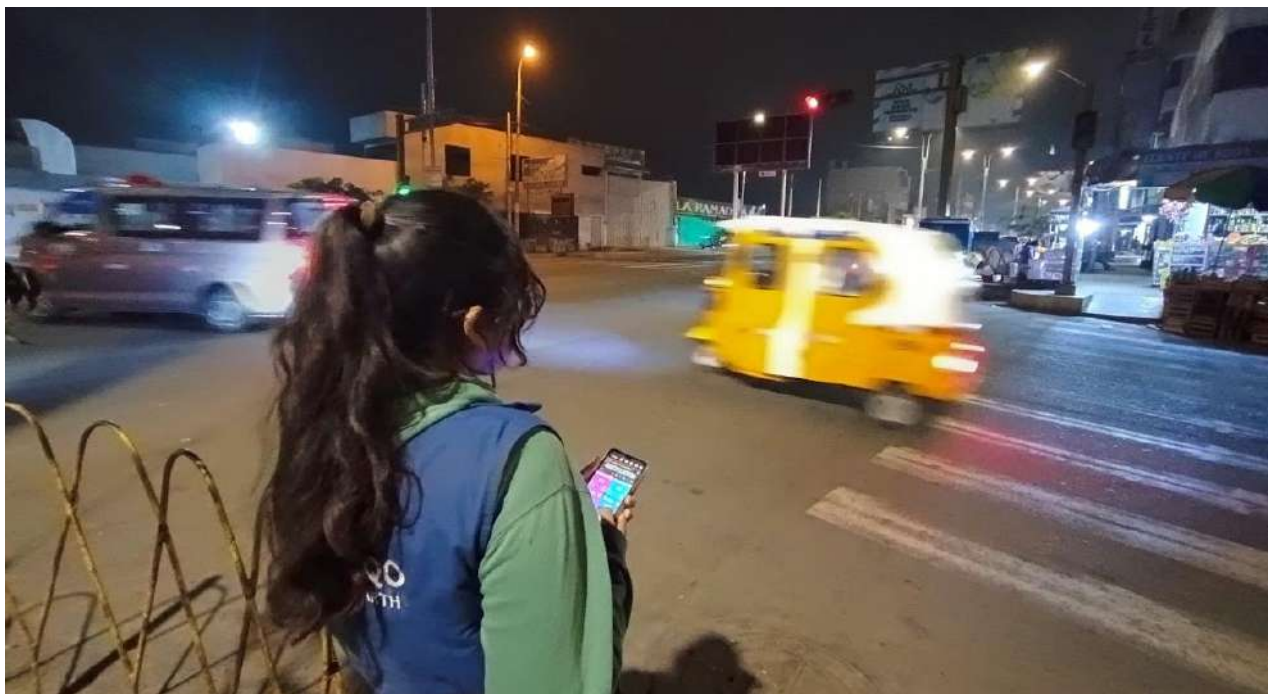
**Anexo 39.** Aforado Manual Vehicular EAM-110N-S6 – periodo nocturno.

Nota: Conteo y clasificación de flujo vehicular al segmento N de la intersección 110.



**Anexo 40.** Aforado Manual Vehicular EAM-57AyB-S3 – periodo nocturno.

Nota: Conteo y clasificación de flujo vehicular a los segmentos A y B de la intersección 57.



**Anexo 41.** Aforado Manual Vehicular EAM- A y B-S2 – periodo nocturno.

Nota: Conteo y clasificación de flujo vehicular a los segmentos A y B de la intersección 11.



**Anexo 42.** Aforado Manual Vehicular EAM-22AyB-S2 – periodo nocturno.

Nota: Conteo y clasificación de flujo vehicular a los segmentos A y B de la intersección 22.

