

ANÁLISIS COMPARATIVO DE SOFTWARES DE SIMULACIÓN DE RUIDO AMBIENTAL: COMPARACIÓN ENTRE UNA SOLUCIÓN COMERCIAL Y UNA DE CÓDIGO ABIERTO

Ignacio Soto Molina^{1,2*}

*Laura Simón Otegui*³

*Miguel Ausejo Prieto*³

*Rosa María Arce Ruiz*²

¹Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas (CETA-CEDEX), Madrid, España

²Centro de Investigación del Transporte, TRANSYT, Universidad Politécnica de Madrid, España

³Eurocontrol S.A.

RESUMEN

En esta comunicación técnica se comparan dos softwares de simulación de ruido ambiental, uno comercial (CADNA-A desarrollado por Datakustik GmbH) y el otro de código abierto y libre distribución (Noise Modelling, proyecto colaborativo desarrollado por UMRAE - Lab-STICC, Université Gustave Eiffel y CEREMA, entre otros colaboradores). El objetivo es analizar y comparar la precisión y funcionalidad actual del software libre en un escenario de simulación representativo de ruido de carreteras. La metodología propuesta comprende la selección del escenario, el diseño de éste en ambas plataformas y la ejecución de simulaciones. Los resultados se evalúan en términos de niveles de ruido en receptores y distribución espacial del ruido (isófonas). Se evalúa la similitud de resultados del software libre y el comercial, en el caso de estudio seleccionado de acuerdo al método común europeo CNOSSOS-EU. Se espera que este estudio proporcione información valiosa a profesionales y científicos a la hora de seleccionar las herramientas más adecuadas a sus necesidades. Consideramos también que puede impulsar el desarrollo y mejora de los softwares existentes en ambos ámbitos, y que los resultados y análisis obtenidos serán de interés para la comunidad científica y profesionales involucrados en la planificación urbana, gestión ambiental y salud pública.

Palabras Clave— Modelización de ruido, CNOSSOS-EU, software, código abierto.

ABSTRACT

In this technical communication, two environmental noise simulation software are compared, one of them commercial (CADNA-A developed by Datakustik GmbH) and the other open source and freely distributed (Noise Modelling, a collaborative project developed by UMRAE - Lab-STICC, Université Gustave Eiffel and CEREMA, among other contributors). The objective is to analyze and compare the current accuracy and functionality of free software in a representative road noise simulation scenario. The proposed methodology includes the selection of the scenario, its design on both platforms and the execution of simulations. The results are evaluated in terms of noise levels in receivers and spatial distribution of noise (isophones). The similarity of results of free and commercial software is evaluated in the selected study case, according to the common European method CNOSSOS-EU. This study is expected to provide valuable information to professionals and scientists when selecting the most appropriate tools for their needs. We also believe that it can promote the development and improvement of existing software in both areas (opensource and commercial software), and that the results and analysis obtained will be of interest to the scientific community and professionals involved in urban planning, environmental management, and public health.

Keywords— Noise modelling, CNOSSOS-EU, software, open source.

* **Autor de contacto:** ignacio.soto@cedex.es

Copyright: ©2023 Soto-Molina et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

1. INTRODUCCIÓN

La evaluación del ruido ambiental se puede realizar mediante dos técnicas básicas, la medición y la modelización. En el ámbito de la medición existen diversos procedimientos en función del fenómeno que se desea estudiar. Así, podemos realizar mediciones puntuales, periódicas, o continuas, entre otras.

Cuando se requieren estudios de grandes extensiones de territorio, por ejemplo, una aglomeración urbana, un ferrocarril, una carretera, o en situaciones en que la medición no es posible, se puede recurrir a la modelización acústica.

La modelización acústica es el proceso por el cual se evalúa el ruido ambiental provocado por una fuente o conjunto de fuentes, partiendo de la caracterización de dichas fuentes, del entorno acústico, y de un método de cálculo normalizado.

Dicho método de cálculo estará implementado en una herramienta informática (software de cálculo).

En España, desde el 31 de diciembre de 2018, fecha de la entrada en vigor de la *Orden PCI/1319/2018, de 7 de diciembre*, que incorpora al derecho interno la *Directiva 2015/996 de la Comisión, de 19 de mayo de 2015, por la que se establecen métodos comunes de evaluación del ruido*, el método de cálculo aplicable para los estudios que se realicen en cumplimiento de la Directiva 2002/49/CE, del Ruido, es el método CNOSSOS-EU (Common NOise aSSessment methOdS).

Existen diversas alternativas de software comercial y libre que han implementado completamente, o en parte, dicho método, a los que se es posible recurrir para la aplicación del mismo.

Para que un software, libre o comercial, sea considerado apto para la aplicación del método CNOSSOS-EU debe cumplir con las comprobaciones de conformidad recogidas en la norma ISO 17534-4:2020 [1]. Esta verificación se realiza por parte del programador o del fabricante.

En esta comunicación, se realiza un mismo estudio de ruido, con dos softwares diferentes, uno comercial (CadnaA) y otro libre (Noise Modelling [2]).

2. OBJETIVOS

Se pretende evaluar la consistencia de los resultados entre los softwares indicados, para la realización de un estudio concreto, teniendo en cuenta que el desarrollo del software comercial seleccionado ha tenido un recorrido mayor en el tiempo, y en cuanto a la implementación de diferentes métodos de cálculo.

El presente trabajo no prejuzga la superioridad de un software frente a otro. Asimismo, dado que solo se ha estudiado un escenario acústico, y una sola fuente de ruido, las conclusiones de este trabajo quedan circunscritas al caso de estudio seleccionado.

3. METODOLOGÍA

3.1. Ámbito de estudio

El ámbito de estudio es la carretera CV-336, en las inmediaciones de Ribarroja del Turia, entre las intersecciones con las carreteras CV-370 y la Carretera de L'Elia, a la altura del Molino del "Molinet".

El entorno acústico se ha seleccionado por contar con una combinación de zonas llanas, elevaciones, depresiones, edificios en diferentes ubicaciones respecto de la carretera y un viaducto sobre el río Turia.

3.2. Softwares

CadnaA® (Computer Aided Noise Abatement) es uno de los softwares comerciales más utilizados para la evaluación del ruido ambiental en España. Sus aplicaciones van desde zonas industriales, redes de carreteras y ferrocarriles, aeropuertos o aglomeraciones².

La versión de CadnaA utilizada en este estudio ha sido CadnaA 2022 MR2. El modelo ha sido construido y calculado por la empresa EUROCONTROL, S.A.

Noise Modelling es una herramienta gratuita y de código abierto diseñada para producir mapas de ruido ambiental en áreas urbanas, así como carreteras, ferrocarriles y mapas de fuentes industriales. Puede usarse como una biblioteca Java o controlarse a través de una interfaz Web.

Tal como se indica en su Web oficial³, puede ser utilizado libremente para investigación, educación o por expertos en un uso profesional.

Noise Modelling se ha utilizado en diferentes ámbitos académicos e institucionales [3]. Destaca la realización de los mapas estratégicos de ruido de carreteras del Gobierno francés, correspondientes a la cuarta fase de la Directiva de Ruido Ambiental, mediante la creación de una base de datos nacional, que alimenta el software Noise Modelling, y que permite la actualización periódica de dichos mapas [4].

La versión de Noise Modelling utilizada ha sido la versión 4.0.5 preliminar (aún no disponible para el público), correspondiente a la versión 4.0.4, con una modificación del algoritmo de simplificación topológica, o algoritmo de Ramer–Douglas–Peucker. Esta modificación ha surgido de consulta realizada a los desarrolladores del software, a raíz del presente trabajo.

² <https://www.datakustik.com/products/cadnaa/cadnaa>

³ <https://noisemodelling.readthedocs.io/en/latest/index.html>

De acuerdo a los respectivos desarrolladores, ambos softwares cumplen las comprobaciones de la norma ISO 17534-4:2020.

En adelante se utilizará la siguiente notación para referirse a los softwares utilizados:

- CadnaA: CNA
- Noise Modelling: NM

3.3. Fuente de ruido

La fuente de ruido modelada es la carretera CV-336, en el ámbito de estudio antes señalado.

Los datos de tráfico son comunes para ambos softwares, habiendo sido aportados por la empresa Eurocontrol SA. Se han aplicado todas las categorías del método CNOSSOS-EU, salvo la categoría nº5.

La superficie de rodadura seleccionada ha sido el pavimento de referencia, en ambos casos.

Se han considerado tramos de único y doble sentido de circulación, y una anchura de 3-4 metros por cada carril, según el tramo. En ambos softwares se han mantenido los mismos criterios.

La velocidad de circulación oscila entre 30 y 60 km/h dependiendo del tramo.

3.4. Edificaciones

La capa de edificios, con los datos de altura, han sido facilitados por la empresa Eurocontrol S.A. Se ha tenido en cuenta un coeficiente de absorción $\alpha=0,1$.

3.5. Modelo digital de terreno

El modelo digital del terreno (MDT) utilizado ha sido generado a partir de los datos LiDAR del CNIG, y tratado en el software CNA. El MDT generado en CNA se ha exportado a formato GIS, y tratado para su aplicación en NM.

NM presenta diferencias importantes en cuanto al tratamiento del MDT, respecto de CNA. Puede ser alimentado mediante un archivo ASCII o mediante capa de puntos (shp, geojson, etc.)

En este caso, el MDT procedente de CNA se ha convertido en una capa de puntos cada 2 metros, equivalente a un raster de 2x2 metros de tamaño de pixel.

Dado que, por el momento, NM no permite introducir estructuras tipo puente, en la zona del viaducto se ha modificado el MDT, generando una superficie, en lugar de una estructura.

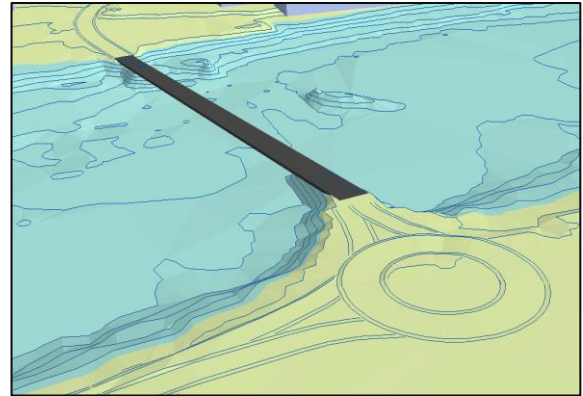


Figura 1: Viaducto en CNA

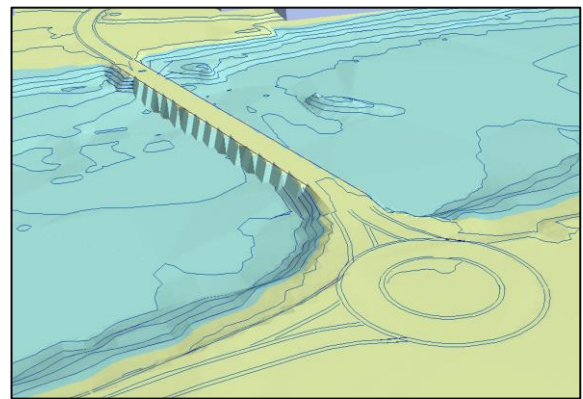


Figura 2: Viaducto en NM

3.6. Triangulación y mallas de cálculo

Los softwares seleccionados difieren en el sistema de triangulación y en la generación de la malla de cálculo.

Entendemos por triangulación la representación del modelo digital del terreno mediante una red irregular de triángulos, que permite la generación de un modelo continuo y la localización y definición geométrica de receptores virtuales, obstáculos, accidentes geográficos y, en general, los elementos que interfieren en la propagación del ruido.

El caso de CNA, la triangulación (irregular), y la malla de cálculo (regular) son independientes.

En el caso de NM, ambas mallas son la misma. NM dispone de varios sistemas de mallado, (aleatorio o random, regular y Delaunay). En este caso, se ha considerado que el mallado por Delaunay, ya que es el utilizado por el programa para generar las isófonas. Con los otros dos sistemas de mallado, se requiere el uso de GIS para la generación de estas.

Las figuras 3 y 4 muestran la triangulación del terreno generada por cada software, en la misma zona.

La triangulación en CNA no está condicionada por el tamaño de malla. En CNA la red es más tupida en las zonas donde existe una mayor densidad de datos, y más liviana en las áreas donde se dispone de menos datos a interpolar.

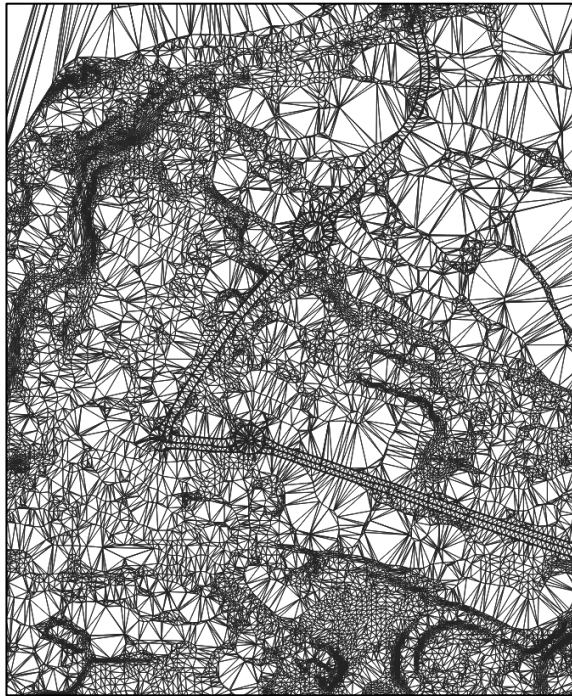


Figura 3: Triangulación del terreno de CNA

En el caso de NM, al coincidir ambas mallas, y estar condicionada la triangulación por el tamaño máximo de la malla de cálculo, genera una red de triángulos más densa en todo el dominio.

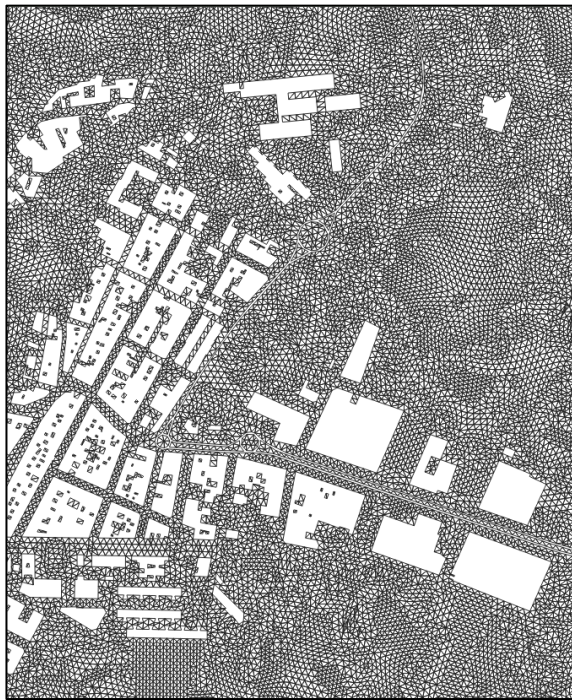


Figura 4: Triangulación del terreno NM

En cuanto a las mallas de cálculo (figuras 5 y 6), como se ha indicado antes, CNA genera una malla regular, mediante teselas de 5x5 metros, en este caso, asignando un receptor en cada vértice.

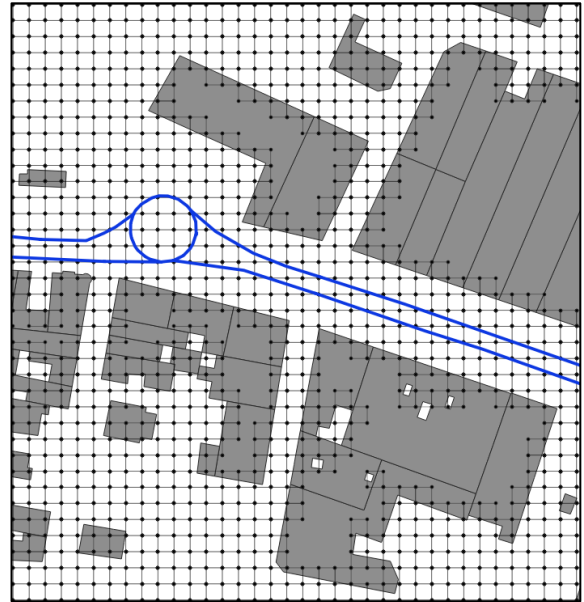


Figura 5: Malla de cálculo de CNA

NM, mediante la opción de mallado por Delaunay, genera una malla irregular de un máximo de 25 m².

NM, por defecto, establece un buffer de 2 metros alrededor de las edificaciones, que no es considerado para el mallado. Para el presente estudio este buffer se ha reducido a 0,1 metros.

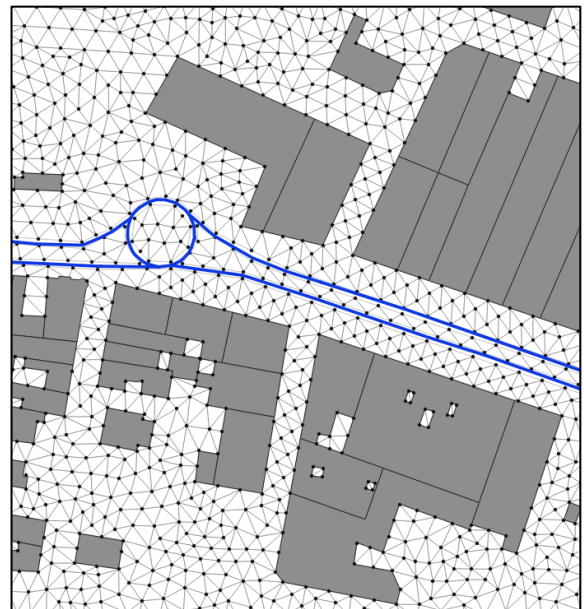


Figura 6: Malla de cálculo de NM

El software NM genera una malla algo más liviana que la de CNA, ya que existen receptores separados más de 5 metros, con el mismo criterio de tamaño de malla seleccionado (25 m²), lo que, en teoría, puede dar lugar a un cálculo más eficiente.

Existen parámetros para optimizar el tiempo de cálculo sin comprometer la calidad de los resultados [5]; sin embargo, este aspecto no se ha estudiado en la presente comunicación, ya que los modelos en ambos softwares han sido calculados en equipos diferentes, sin poder establecer una comparación cuantitativa.

3.7. Receptores de fachada

Los receptores mencionados hasta el momento se corresponden con los que utilizan ambos softwares para el cálculo del mapa de ruido.

Los receptores de fachada, para la evaluación de la población expuesta, requieren un segundo cálculo y responden a condicionantes diferentes.

Ambos softwares tienen implementado el algoritmo de generación de receptores de acuerdo con el método CNOSSOS-EU.

CNA dispone de varios sistemas, los correspondientes al Anexo II del Real Decreto 1513/2005, y otros. En el caso de que se seleccione el método de la mediana para el cálculo de población expuesta, se realiza un proceso interno.

NM implementa dos sistemas de generación de receptores en edificios. Uno para la generación de receptores a una sola altura, y el segundo para la generación de receptores a varias alturas. La generación de receptores se realiza a intervalos regulares (Caso 2 recogido en el Anexo II del R. D. 1513/2005).

El método de la mediana no se encuentra implementado en NM. Sin embargo, permite la aportación de receptores de fachada por el usuario, por lo que, en este caso, se han utilizado los mismos receptores generados en CNA en ambos cálculos.

3.8. Absorción del terreno

Se ha generado una capa GIS con los valores de absorción del terreno. En ambos modelos se ha aportado la misma información en cuanto al parámetro de absorción G.

3.9. Condiciones favorables de propagación y meteorológicas

En ambos casos se han utilizado las siguientes condiciones de propagación favorable: Ld: 50%, Le: 75%, Ln: 100% (valores recomendados por defecto). Se ha considerado una temperatura de 18°C y humedad del 63%.

3.10. Comparación de resultados del cálculo

La comparación de resultados se realiza con el indicador Lden. La comparación consiste en:

- Comparación visual de mapa de ruido
- Comparación mediante puntos de control
- Comparación de resultados en receptores de fachada
- Cálculo de población expuesta

4. RESULTADOS

4.1. Comparación visual de mapas de ruido

La comparación de los mapas de ruido calculados con cada software presenta similitudes y diferencias, según la zona de la que se trate. En las zonas sensiblemente llanas, y en las afectadas por edificaciones, ambos mapas son muy similares.

Las mayores diferencias se aprecian en la zona del viaducto sobre el río Turia. Estas diferencias se deben, posiblemente, a que en NM no se ha implementado el elemento puente. Por tanto, los fenómenos de atenuación y difracción que este elemento genera en CNA no pueden ser emulados en NM.

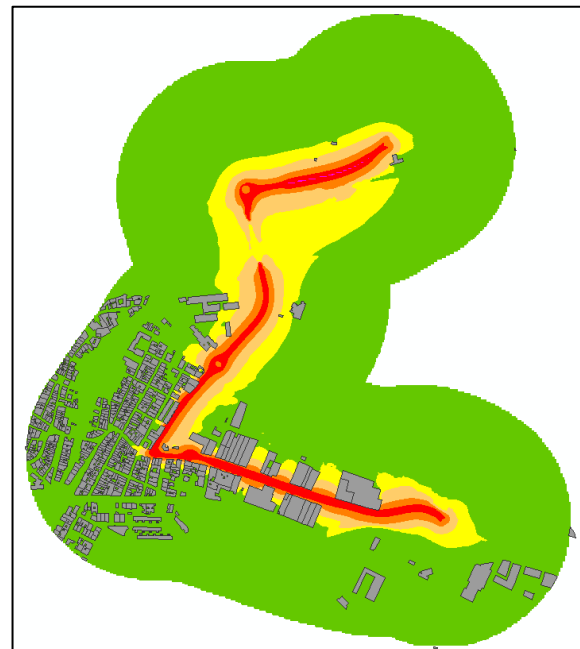


Figura 7: Resultado Lden CNA



Figura 8: Resultado Lden NM

4.2. Comparación mediante puntos de control

Se han establecido un total de 493 puntos de control, mediante una malla regular de 50x50 metros, en el dominio de cálculo.

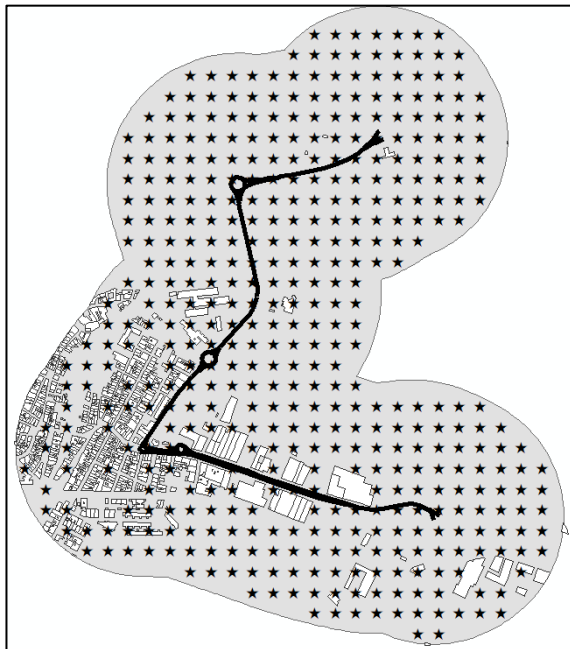


Figura 9: Puntos de control

A cada punto de control se le ha asignado el valor resultante del cálculo de Lden, en ambos softwares, obteniendo pares de datos en cada punto. No se han tenido en cuenta puntos coincidentes con edificaciones, ni puntos en el borde del dominio de cálculo, que pudieran desvirtuar el análisis.

La figura nº10 muestra la correlación lineal entre los resultados Lden de CNA y de NM, con un coeficiente de correlación r de Pearson superior a 0,97.

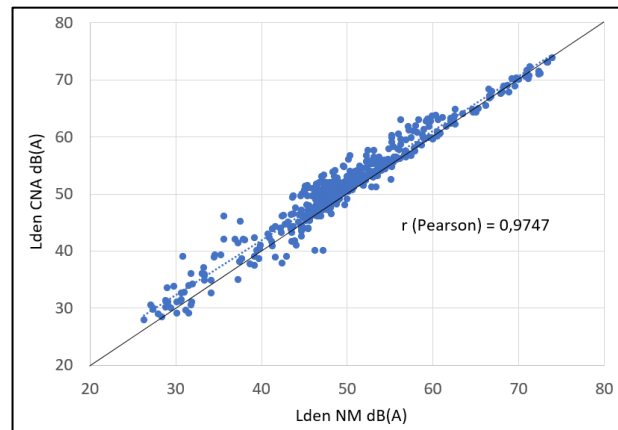


Figura 10: Correlación Lden CNA y NM en puntos de control

Se han estudiado también los estadísticos máximo, mínimo, media y desviación estándar para el caso de CNA, NM, y para la diferencia entre ambos (CNA-NM). Los valores de la tabla nº1 correspondientes a la diferencia (CNA-NM) se calculan a partir de una capa ráster resultante de restar a los niveles Lden obtenidos con CNA, los obtenidos con NM.

Tabla 1: Comparación de estadísticos de Lden en los puntos de control.

	CNA (dBA)	NM (dBA)	CNA-NM (dB)
Máximo	73,92	73,82	7,22
Mínimo	26,27	27,78	-10,27
Media	49,43	50,91	-1,48
Desv. STD	9,11	8,94	2,03

En la figura 11 se representan las diferencias entre CNA y NM. Los valores negativos (paleta de color de azul a amarillo), indican las áreas donde NM arroja resultados superiores a CNA. Los valores positivos (paleta de color de naranja a rojo), indican las áreas donde CNA arroja valores superiores.

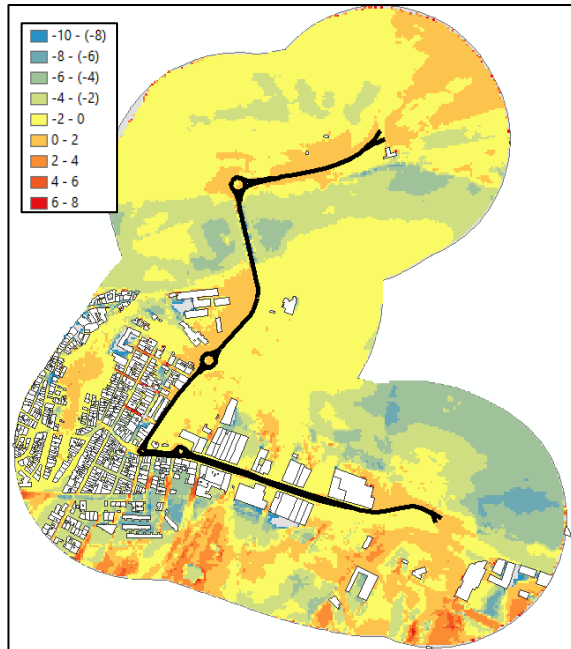


Figura 11: Mapa de diferencia CNA-NM en dB

Se observa que en la mayoría de las zonas (amarillo y naranja), las diferencias son inferiores a 2 dB en valor absoluto.

4.3. Comparación de resultados en receptores de fachada

La figura nº12 muestra la correlación lineal entre los resultados Lden en receptores de fachada de CNA y de NM, con un coeficiente de correlación r de Pearson también superior a 0,97.

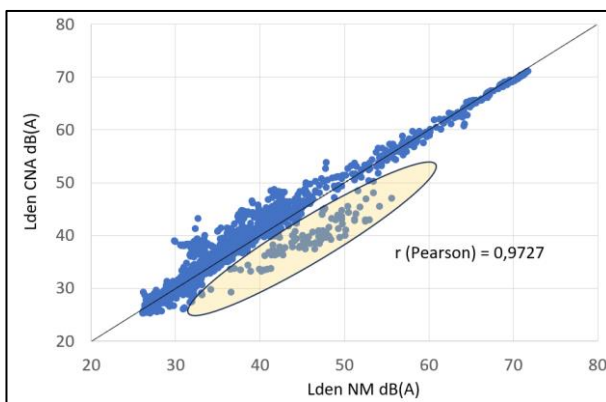


Figura 12: Correlación Lden CNA y NM en receptores de fachada

En este caso, se observa una dispersión algo mayor a la de los puntos de control (figura 10), con un grupo de pares de datos claramente desplazado hacia el eje de NM, que evidencia receptores de fachada a los que NM asigna un nivel

de ruido superior. Estos receptores suponen menos del 5% del total (166 de 3702).

Al igual que en el caso de los puntos de control, se han estudiado los estadísticos máximo, mínimo, media y desviación estándar para los receptores de fachada de CNA, NM, y la diferencia entre ambos (CNA-NM).

El valor CNA-NM corresponde a los estadísticos receptor a receptor.

Tabla 2: Comparación de estadísticos de Lden en los receptores de fachada.

	CNA (dBA)	NM (dBA)	CNA-NM (dB)
Máximo	71,80	71,01	10,16
Mínimo	26,10	25,21	-10,46
Media	37,10	37,46	-0,35
Desv. STD	9,15	9,15	2,13

La mayor parte de los receptores presentan diferencias inferiores a 2 dB en Lden. Las diferencias máximas y mínimas son del orden de 10 dB. Los receptores que presentan las mayores diferencias suponen una proporción pequeña del conjunto y se localizan mayoritariamente en segunda fila de los edificios, apantallados, o en zonas con elevado número de reflexiones (figura nº13).

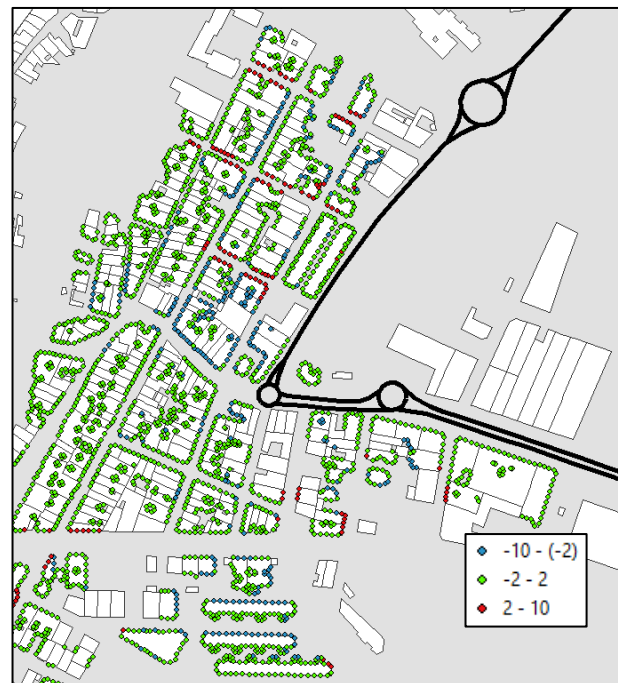


Figura 13: Diferencias en receptores de fachada. Lden

Las diferencias observadas, en el caso de los receptores de fachada, pueden deberse al tratamiento diferencial de las reflexiones, así como de las difracciones en elementos horizontales y verticales del escenario acústico.

4.4. Cálculo de población expuesta

La tabla n°3 muestra las diferencias en el cálculo de la población expuestas, obtenida a partir de los valores de Lden en receptores de fachada.

Tabla 3: Comparación de resultados de población expuesta.

dB(A)	Población		
	CNA	NM	CNA-NM
<55	1665	1660	5
55-59	45	46	-1
60-64	33	31	2
65-69	74	80	-6
70-74	19	12	6
>75	0	0	0

Se observa que la población expuesta a niveles altos de ruido (>65 dBA Lden) es de 93 personas en el caso de CNA, y 92 personas en el caso de NM. Los resultados en los intervalos menores a 65 dB(A) son prácticamente idénticos en ambos softwares.

5. DISCUSIÓN

En el ámbito de la acústica ambiental existe un interés permanente en la comparación de los resultados de distintas alternativas de software disponibles [6], así como de los distintos métodos de cálculo existentes [7], [8].

Por otro lado, es generalizado el interés en la comunidad técnica y científica por el desarrollo de herramientas de software libre de forma colaborativa, con ejemplos tan relevantes como QGIS, o el propio Noise Modelling, en el ámbito del ruido ambiental. Este interés se extiende también a la administración pública, con el objeto de avanzar en el uso eficiente de los recursos públicos.

Aunque los softwares de ruido disponibles declaren cumplir con los criterios de comprobación de la norma ISO 17534, existen aspectos de la programación que pueden interferir en los resultados, como son los algoritmos de triangulación de la malla, la posición de los receptores considerados [9], o los algoritmos de curvado y rasterización del mapa de ruido [10], [11].

Existen otras diferencias que pueden afectar al resultado de un mapa de ruido, incluso considerando los mismos parámetros en diferentes softwares, como son los formatos de entrada de los datos y las diferentes operaciones que el software realiza a partir de ellos [12]–[14].

Todo ello puede dar lugar a pequeñas desviaciones en el resultado de los mapas y en el cálculo de la población expuesta cuando se aplican distintos softwares al mismo modelo, sin que ello implique que se pueda considerar uno más preciso que otro. Esta disquisición requeriría de estudios mucho más profundos que el presente.

Las diferencias en los resultados del cálculo del mismo modelo con CNA y NM obtenidas en el presente estudio se encuentran dentro del rango de lo razonable, teniendo en cuenta otros estudios similares, y el diferente comportamiento que presentan ambos softwares en cuanto al tratamiento del modelo digital del terreno, el mallado y la generación de receptores.

En este sentido, la comparación realizada en las tablas 1 y 2 indica diferencias globalmente bajas en los resultados obtenidos por CNA y NM, con una diferencia media de -1,48 dB en el mapa del índice Lden, y de -0,35 dB en receptores de fachada. Sin embargo, existen diferencias puntuales de hasta 10 dB en algunas zonas del mapa, que merecerían un estudio más pormenorizado.

6. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que este estudio se ha realizado en una única fuente de ruido (carreteras), y un único escenario acústico, no se pueden obtener conclusiones generales.

No obstante, circunscribiéndonos al ámbito de estudio, se puede indicar que los resultados de ambos softwares son similares y que el estudio se podría haber realizado indistintamente con cualquiera de los dos.

Las mayores diferencias, localizadas en la zona del viaducto, se deben a que el elemento puente no ha sido implementado en NM.

Se puede concluir que, por el momento, NM no sería adecuado para el estudio de detalle de zonas en las que se requiera conocer con precisión los niveles de ruido en las inmediaciones de un viaducto, o estructura similar.

A nivel estratégico, NM puede ser una alternativa adecuada para la realización de mapas estratégicos de ruido similares al caso de estudio del presente trabajo, sin perjuicio de que estudios de mayor nivel de detalle puedan requerir herramientas con un nivel de desarrollo más avanzado.

7. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Pierre Aumond y Nicolas Fortin (Université Gustave Eiffel, CEREMA, UMRAE), su disposición para la aclaración de dudas, y resolución de problemas, en la aplicación del software Noise Modelling.

8. REFERENCIAS

- [1] ISO/TR 17534-4, “Software for the calculation of sound outdoors — Part 4: Recommendations for a quality assured implementation of the Commission Directive (EU) 2015/996 in software according to ISO 17534-1,” *Serie de normas ISO de la Organización Mundial de Estandarización*. 2020.

- [2] E. Bocher, G. Guillaume, J. Picaut, G. Petit, and N. Fortin, "NoiseModelling: An Open Source GIS Based Tool to Produce Environmental Noise Maps," *ISPRS Int J Geoinf*, vol. 8, no. 3, p. 130, Mar. 2019, doi: 10.3390/ijgi8030130.
- [3] UMRAE - Lab-STICC, "Noise Modelling software Scientific production," 2022. https://noisemodelling.readthedocs.io/en/latest/Scientific_production.html (accessed Aug. 24, 2023).
- [4] P. Aumond *et al.*, "Strategic noise mapping in France to 2023: Coupling a national database with the open-source software NoiseModelling," Aug. 2022.
- [5] A. Tévar, M. Ausejo, L. Simón Otegui, and R. Morales, "Benchmark tests to decide the best technology to be applied in large strategic noise mapping," Aug. 2019.
- [6] A. Balderrama, D. Arztmann, and J. Schulz, "Review of commercial software tools for facade acoustics," *ce/papers*, vol. 4, no. 6, pp. 465–472, Dec. 2021, doi: 10.1002/cepa.1646.
- [7] S. Curcuruto *et al.*, "A comparison of noise simulation models," in *17th International Congress on Sound and Vibration 2010, ICSV 2010*, Aug. 2010.
- [8] M. Fallah-Shorshani, X. Yin, R. McConnell, S. Fruin, and M. Franklin, "Estimating traffic noise over a large urban area: An evaluation of methods," *Environ Int*, vol. 170, p. 107583, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.envint.2022.107583.
- [9] I. Soto Molina, F. Segué Echezarreta, and R. Arce Ruiz, "Análisis de sensibilidad en el cálculo de población expuesta en los mapas estratégicos de ruido de la cuarta fase, en función de los métodos propuestos por la directiva delegada (UE) 2021/1226 para la distribución de población en receptores.," Madrid (España): CONAMA 2022.
- [10] C. Asensio, M. Ruiz, I. Pavón, M. Ausejo, and M. Recuero, "Uncertainty in Noise Maps Isolines: The Effect of the Sampling Grid," *ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA*, Vol. 97, 237 – 242, vol. 97, Aug. 2011, doi: 10.3813/AAA.918403.
- [11] C. Asensio, M. Recuero, M. Ruiz, M. Ausejo, and I. Pavón, "Self-adaptive grids for noise mapping refinement," *Applied Acoustics*, vol. 72, Aug. 2011, doi: 10.1016/j.apacoust.2010.12.007.
- [12] P. Aumond, A. Can, V. Mallet, B. Gauvreau, and G. Guillaume, "Global sensitivity analysis for road traffic noise modelling," *Applied Acoustics*, vol. 176, p. 107899, May 2021, doi: 10.1016/j.apacoust.2020.107899.
- [13] M. Ausejo, M. Recuero, C. Asensio, I. Pavón, and R. Pagán Muñoz, "Study of Uncertainty in Noise Mapping," in *39th International Congress on Noise Control Engineering 2010, INTER-NOISE 2010*, Aug. 2010.
- [14] S. Shilton, N. Jones, A. Stimac, and M. Ausejo, "Improving consistency through quality control with a large strategic noise mapping project," in *Internoise 2013. Innsbruck, Austria*.