CONAMA 2026 · COMUNICACIÓN TÉCNICA · PANEL

MEDIDAS MITIGADORAS DE RUIDO EN INFRAESTRUCTURAS LINEALES: DECISIÓN MULTICRITERIO MEDIANTE PYTHON Y QGIS

Una herramienta abierta basada en CNOSSOS-EU para el anteproyecto de ferrocarriles y carreteras

Juan Casteres Cortiñas · Rodrigo Ladrón de Guevara Solera
Grado en Ingeniería Civil y Territorial · ETSI de Caminos, Canales y Puertos · Universidad Politécnica de Madrid

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID · ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

¿Qué medida contra el ruido conviene en este tramo, a cuánta población protege, cuánto cuesta y **qué seguridad ofrece esa recomendación**? El programa lleva el método oficial de cálculo hasta la decisión, con datos abiertos y antes de encargar el estudio acústico de detalle.

1 EL PROBLEMA

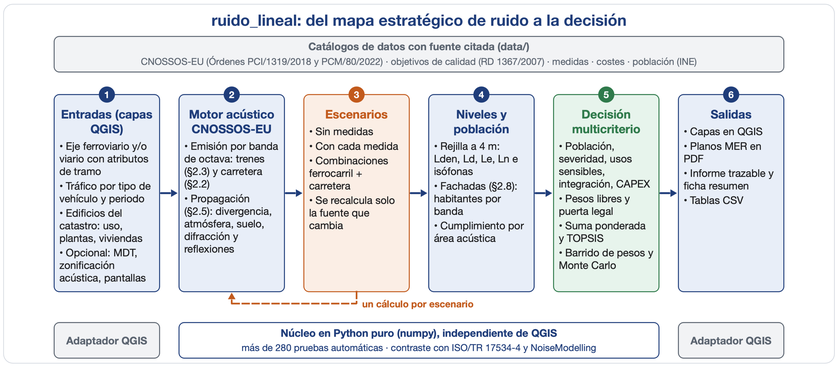
El ruido del transporte causa en Europa unas **12 000 muertes prematuras** al año. El ferrocarril expone a **22 millones** de personas a un Lden de 55 dB o más y la carretera, a **113 millones** (EEA, 2020).

En las fases iniciales de un proyecto, el ingeniero rara vez dispone del programa comercial y del tiempo que exige un estudio completo. Además, **la mejor medida acústica no siempre es la mejor solución**: el rechazo municipal a las pantallas proyectadas entre València y Castelló obligó a redefinir el proyecto.

La decisión es multicriterio: población protegida, integración urbana y coste.

2 LA HERRAMIENTA Y EL OBJETIVO

- **Método oficial.** CNOSSOS-EU vigente en España (RD 1513/2005, Órdenes PCI/1319/2018 y PCM/80/2022). Índices Lden, Ld, Le y Ln en bandas de octava.
- **Población y cumplimiento.** Habitantes por fachada, objetivos del RD 1367/2007 y frontera del límite legal.
- **Medidas modelizadas físicamente,** sin radios fijos: pantallas, vía, flota, velocidad, pavimento y suelo. También combinaciones y pantallas acotadas a un lado y a una longitud.
- **Trazabilidad.** Cada cifra remite a su dato, su fórmula y su fuente.
- **Objetivo.** Proporcionar al proyectista la opción idónea para cada tramo de obra lineal



Flujo de cálculo. El núcleo (etapas 2 a 5) es Python puro y no depende de QGIS, que solo lee las capas y presenta los resultados. Cada escenario se calcula con el mismo motor acústico.

< 0,1 dB
de diferencia frente a NoiseModelling 6.0 y a los casos de ISO/TR 17534-4 comparables

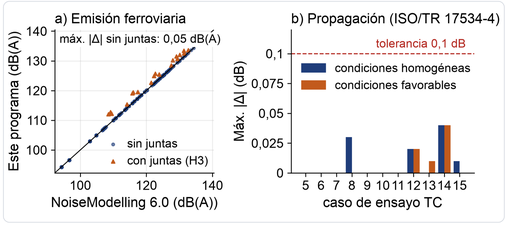
280+
pruebas automáticas que cubren el núcleo de cálculo y de decisión

10 000
muestras de Monte Carlo para medir la estabilidad de cada recomendación

100 %
datos abiertos: OpenStreetMap, horarios GTFS, Catastro INSPIRE e INE

3 VERIFICACIÓN

La emisión ferroviaria se comparó con NoiseModelling en **720 combinaciones** de vía, vehículo, velocidad y fuente. La propagación reproduce los casos TC01 a TC15 de ISO/TR 17534-4 con **0,04 dB de diferencia máxima**.



a) Emisión ferroviaria frente a NoiseModelling 6.0.0. b) Diferencia máxima en los casos de difracción de ISO/TR 17534-4.

4 DECISIÓN MULTICRITERIO

- **Pesos libres** por criterio: población sobre el objetivo, severidad del exceso, usos sensibles, integración urbana y coste de inversión.
- **Dos métodos:** suma ponderada y TOPSIS, para ver si el orden cambia.
- **Puerta legal visible:** las medidas que incumplen se excluyen o se penalizan, a elección del proyectista.
- **Sensibilidad:** barrido de cada peso y Monte Carlo sobre pesos (±20 %), niveles (±2 dB) y costes.

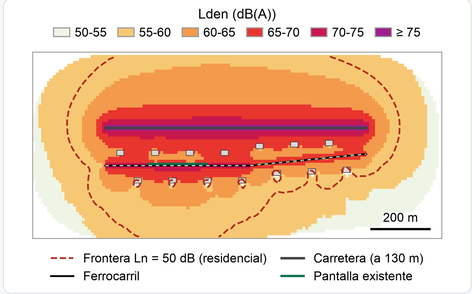
El coste entra por su valor real, como coste unitario con fuente por medición, y no por una nota asignada.

CÁLCULO MÁS RÁPIDO, CON EL MISMO RESULTADO

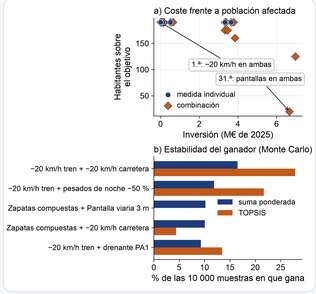
Las medidas que solo cambian la emisión se evalúan en una única pasada de propagación y los receptores se reparten entre los núcleos del procesador. El resultado **coincide exactamente** con el del cálculo secuencial.

CASO SINTÉTICO DE VERIFICACIÓN

5 FERROCARRIL Y CARRETERA EN PARALELO: NINGUNA MEDIDA AISLADA BASTA



Mapa estratégico de ruido (Lden) sin medidas y frontera del límite legal nocturno.



a) Coste frente a población afectada. b) Muestras del Monte Carlo en que gana cada alternativa.

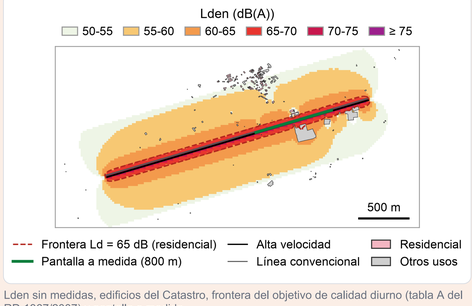
Se evaluaron 13 medidas y 35 combinaciones. La mejor medida aislada, una pantalla ferroviaria de 3 m, reduce Ln en **4,1 dB**, pero la carretera aporta una energía comparable. Solo las pantallas en ambas infraestructuras **superan los 9 dB** y sacan a 10 edificios de la superación.

Con un 25 % del peso en el coste y otro 25 % en la integración urbana, **gana la reducción de velocidad**, que no exige inversión. La combinación de pantallas, la más eficaz, cae al **puesto 31** por sus **6,7 millones de euros**. Pasa a ser la preferida cuando la población afectada pesa más del **35-40 %**.

La herramienta no impone una respuesta: muestra a partir de qué valoración cambia la decisión.

CASO REAL CON DATOS ABIERTOS

6 LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-ZARAGOZA A SU PASO POR TERRER (ZARAGOZA)



Lden sin medidas, edificios del Catastro, frontera del objetivo de calidad diurno (tabla A del RD 1367/2007) y pantalla a medida.

Dos vías de alta velocidad y dos convencionales en 2,8 km. Eje de OpenStreetMap, trenes de un día laborable contados en los horarios publicados y 147 edificios del Catastro.

Sin medidas, **53 de los 202 habitantes** evaluados están expuestos a $L_{den} \geq 55$ dB y dos edificios residenciales (57,5 habitantes) superan el objetivo diurno de 65 dB, con **excesos de 2,0 y 0,7 dB**. Es un caso límite: el exceso es del orden de la incertidumbre de la emisión (±2 dB). No hay trenes de viajeros de noche.

Medida	ΔL_{den} (dB)	Edificios sobre objetivo	Inversión
Pantalla de 3 m, 800 m, un lado	−5,7	0	1,5 M€
Pantalla baja de 0,75 m, 800 m, dos vías	−2,9	0	3,2 M€
Reducción de velocidad de 20 km/h	−0,8	1	0
Franja vegetal · amolado acústico del carril	−0,1 a −0,2	2	< 0,2 M€

Solo las dos pantallas a medida cumplen. Empatan por suma ponderada (0,75): la de 3 m cuesta menos de la mitad y la baja se integra mejor. **TOPSIS prefiere la de 3 m** (0,66 frente a 0,34). En el Monte Carlo cada pantalla gana en un **33 %** de los escenarios, y en el tercio restante basta una medida de bajo coste.

7 CONCLUSIONES

- Es posible llevar el método oficial hasta la decisión con **software abierto y datos públicos**, en cualquier punto de España.
- En corredores con varias fuentes, evaluar las medidas de una en una lleva a **conclusiones engañosas**, las **medidas deben evaluarse combinadas**.
- El orden de las medidas **depende de los pesos** tanto como de la acústica. Mostrar su estabilidad es tan importante como mostrar el ganador.
- No sustituye al estudio acústico de detalle: ofrece un primer tanteo rápido, **trazable y reproducible**.

8 LIMITACIONES Y PRÓXIMOS PASOS

- Contrastar con un **mapa estratégico oficial y con mediciones**. El caso real demuestra que funciona, pero no la valida.
- Incorporar las **mercancías nocturnas** y las series reales de material rodante.
- **Optimización automática por secciones:** que el programa elija en cada sección del trazado la medida de menor coste que cumple y no actúe donde no hace falta.
- Evaluar **niveles máximos de paso**, además de los promedios que exige la normativa.

Origen del trabajo. Nace de una asignatura del grado, gracias a la iniciativa de un grupo de estudiantes que no se dedican profesionalmente a la acústica. Se trata de una herramienta con potencial para evolucionar hacia un uso técnico profesional con más tiempo, datos reales y recursos.

Fuentes. EEA (2020), *Environmental noise in Europe*. RD 1513/2005 y RD 1367/2007. Orden PCM/80/2022. ISO/TR 17534-4. NoiseModelling 6.0 (Université Gustave Eiffel). © colaboradores de OpenStreetMap. Catastro INSPIRE. Renfe (GTFS). En el desarrollo se ha utilizado un asistente de inteligencia artificial bajo la dirección y revisión de los autores.

Comunicación técnica: «Medidas mitigadoras de ruido en infraestructuras lineales: decisión multicriterio mediante Python y QGIS»