

## REALIZACIÓN DE LOS MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO DE LAS CARRETERAS DE BIZKAIA CORRESPONDIENTES A LA 3º FASE

PACS no. 43.50.Rq

García Morales, Rubén<sup>1</sup>; Ausejo Prieto, Miguel<sup>1</sup>; Zabala Martín, Lander<sup>1</sup>; Simón Otegui, Laura<sup>1</sup>; Pereira Nieto, Javier<sup>1</sup>; Ruiz Larsson, Daniel<sup>2</sup>; Tijero Sanz, Félix<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> EUROCONTROL. Ingeniería Acústica  
Cronos 20, 4ª planta  
28037. Madrid

E-mail: [ing.acustica@eurocontrol.es](mailto:ing.acustica@eurocontrol.es)

<sup>2</sup> Diputación Foral de Bizkaia. Sección de Sostenibilidad Ambiental.

Ibáñez de Bilbao, 20

48009, Bilbao.

E-mail: [daniel.ruiz@bizkaia.eus](mailto:daniel.ruiz@bizkaia.eus)

**Palabras-clave:** mapa estratégico de ruido, 3ª fase, carreteras, infraestructuras viarias.

### ABSTRACT

This paper addresses the execution of the Strategic Noise Maps (third round) of the major roads owned by Diputación Foral de Bizkaia. Throughout this work we gather a detailed description of the methodology applied, how the data was collected, processed and integrated, calculation parameters and quality control of the whole process. Emphasis is placed on the validation process of data and results verification by means of which every stage of the analysis has been validated, the creation of specific traffic models on main road connections and the verification of the digital terrain model due to the complexity of the orography.

### RESUMEN

Este artículo trata sobre la realización de los mapas estratégicos de ruido (3ª fase) de las carreteras de la Diputación Foral de Bizkaia. Se detalla la metodología empleada, la obtención, procesado e integración de datos, parámetros de cálculo y control de calidad del proceso completo. Se incide en el proceso de validación de datos y comprobación de resultados, mediante el que se ha validado cada etapa de cálculo, así como el proceso de realización de modelos de tráfico en los grandes nudos y la especial comprobación del modelo digital del terreno debido a la complejidad orográfica de la zona.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el marco del Real Decreto 1513/2005 [1], de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003 [2], de 17 de noviembre, del Ruido, y la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002 [3], sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, se han desarrollado los Mapas Estratégicos de Ruido (MER) de la red de carreteras de competencia de la Diputación Foral de Bizkaia correspondientes a la tercera fase.

El desarrollo de dichos MER pretende, por un lado, dar cumplimiento a la normativa aplicable en materia de ruido [1,4,5] y por otro, constituir una herramienta básica en la gestión territorial del ruido, con el fin de conseguir una mejora de la calidad acústica del Territorio Histórico de Bizkaia.

La orografía de Bizkaia es esencialmente montañosa, presentando, no obstante, dos grandes vegas, la de Durango y la de Guernica. Existen dos cadenas montañosas principales, que delimitan la cuenca del río Ibaizábal por el norte y el sur.

En el norte aparecen los montes Arno, Kalamua, Oitz, Peñas de Lemona, Bizkargui y Berriaga, mientras que al sur se encuentran los montes Anbotu y Alluitz, Mugarra y Gorbea.

Desde estas cordilleras, y debido a la existencia de montes de menor elevación, surgen varios ríos y afluentes dando forma al paisaje accidentado con pequeños valles entre abruptos cortados, colinas y vegas. La costa de Bizkaia presenta escarpados acantilados entre los que se enclavan pequeñas rías.

Estas características topográficas suponen una importante complejidad de cara a la preparación de los modelos acústicos tridimensionales, por lo que resulta indispensable una exhaustiva preparación de estos modelos así como un estricto control de calidad de los mismos para conseguir unos resultados óptimos. A lo largo del presente artículo se detallan los procedimientos seguidos en este aspecto, así como en la obtención de datos brutos, su tratamiento e integración en los modelos y la validación y control de calidad de todos los procesos desde la obtención de datos al análisis y representación de los resultados.

## 2. OBTENCIÓN DE DATOS

Tomando los Modelos Digitales del Terreno (MDT) a 1 metro, obtenidos del servicio de Infraestructura de Datos Espaciales de Euskadi, se han fusionado los archivos de tal modo que se eliminen las zonas superpuestas dando lugar a archivos de mayor tamaño con los que

poder optimizar los procesos de extracción de información de altitud. Se ha depurado la información correspondiente a la hoja 0037 del MTN50 sita en el portal GeoEuskadi, sustituyéndola por la correspondiente del Instituto Geográfico Nacional por errores presentes en la primera. A partir de estos archivos se han obtenido las curvas de nivel de toda la provincia de Bizkaia cada 2 metros distribuidas en 27 archivos de entre 75 km<sup>2</sup> y 125 km<sup>2</sup> de extensión espacial.

De la misma fuente se ha obtenido información digital de edificaciones, que se ha comparado con la información de la Diputación Foral de Bizkaia (DFB) correspondiente a la segunda fase de los Mapas Estratégicos de Ruido. Para el cálculo de alturas de los edificios se ha realizado una interpolación entre el MDT y el Modelo Digital de Elevaciones (MDE), al que luego se ha realizado un control de calidad mediante herramientas visuales. La asignación de población a los edificios se ha realizado partiendo de los datos facilitados por el Instituto Vasco de Estadística, divididos tanto por distritos como por secciones censales, en función del volumen y uso de los edificios, tal como se describe en la memoria del proyecto [6].

En relación al tráfico rodado, los ejes de las carreteras y pantallas acústicas asociadas, cuyos datos han sido facilitados por la DFB, se han actualizado, añadiendo los nuevos tramos y eliminando otros en función del reparto de competencias entre la DFB y los distintos municipios y en función de los nuevos desarrollos viarios. A nivel geoespacial, los ejes no presentaban continuidad en sus tramos, existiendo múltiples tramos aislados del resto de la red o discontinuidades recurrentes como la separación en las conexiones de las carreteras y glorietas. Se ha llevado a cabo un control de calidad de estos ejes, uniendo todos los tramos con objeto de aproximar los resultados a la realidad acústica de la zona.

Los datos relativos a Intensidad Media Diaria (IMD) y Horaria (IMH), así como velocidades y anchuras de tramos y porcentajes de vehículos pesados se han extraído a partir de uniones de las respectivas tablas facilitadas por la DFB con las tablas alfanuméricas asociadas a las capas geoespaciales de los ejes viarios. Para la validación de dichas uniones se han llevado a cabo una serie de verificaciones y controles de calidad que se detallan posteriormente.

### 3. METODOLOGÍA EMPLEADA

La metodología utilizada para la obtención de los niveles de ruido originados por cada Unidad de Mapa Estratégico (UME) se basa en el empleo de métodos de cálculo que consideran por un lado la emisión sonora y por otro su propagación. De acuerdo con la Directiva 2002/49/CE [3], el método utilizado ha sido el Método Francés, NMPB – Routes – 96 (SETRA-CERTULCPC-CSTB), establecido como método de referencia para tráfico rodado en España por el Anexo II del RD 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas [1].

A nivel operativo, la metodología empleada en la preparación de los modelos de cálculo se ha iniciado con la selección de los tramos con una IMD mayor de 3 millones de vehículos al año, tal como se indica en la normativa de referencia y las instrucciones para la entrega de los MER de tercera fase [7]. Para ello, una vez seleccionados los tramos principales, se han llevado a cabo micro-modelos y modelos de tráfico en aquellos tramos secundarios o intersecciones de vías donde no se contaba con datos. El desarrollo de estos modelos se expone en un apartado específico.

Tras la selección de los tramos que constituyen cada UME, se ha definido un área de proyecto y área de cálculo en función de la IMD de cada tramo, de cara a optimizar los tiempos de cálculo. Esa área de proyecto se ha utilizado como plantilla de recorte para las curvas de nivel, pantallas acústicas existentes y edificios circundantes.

Una vez extraídos todos los datos necesarios, se ha preparado el modelo tridimensional para el cálculo acústico. Inicialmente se ha generado la topografía tridimensional y se ha revisado en busca de errores o modificaciones. Una vez establecida la base tridimensional del modelo se han incorporado los ejes viarios que forman parte de la UME, ajustando dichos tramos a la realidad tridimensional del modelo mediante la revisión de tramos subterráneos, tramos elevados y plataformas viarias, prestando especial atención a las pendientes de los tramos y al ajuste geoespacial de los nudos. Del mismo modo se han incluido los edificios y las pantallas acústicas ajustando dichos elementos en función del relieve para obtener un modelo acorde con la realidad. Este modelo ha sido revisado en sus distintas fases verificando el desarrollo espacial del modelo de carreteras, los datos alfanuméricos asociados a las emisiones acústicas, las alturas y geometrías de los edificios y la ubicación y comportamiento acústico de las pantallas existentes.

Una vez preparado el modelo, se han lanzado las simulaciones y se han recogido los resultados gráficos y numéricos de isófonas y población expuesta. Estos datos han sido revisados llevando a cabo un método de control de calidad que se expone en un apartado específico. Una vez validados los resultados, se han elaborado las diferentes series de mapas por cada UME utilizando las escalas más adecuadas en función de la extensión del área de cálculo, estableciéndose tres escalas de representación: 1:5.000, 1:10.000 y 1:20.000, atendiendo a lo establecido en las instrucciones de entrega de los MER [7] y suponiendo una mejora sobre la escala recomendada. Así mismo se han elaborado tablas de población expuesta en unidades, correspondientes a la población afectada en toda la UME y en las zonas fuera de las aglomeraciones. Estos datos, calculados según el indicador de la Directiva 49/2002/CE, han sido posteriormente recalculados en centenas para su presentación tal como establece la normativa aplicable.

#### 4. CREACIÓN DE MODELOS DE TRÁFICO

Dada la falta de datos específicos en las zonas de intersección de las vías, ha sido necesaria la creación de micro-modelos, que en muchos casos presentan un desarrollo de gran extensión y complejidad constituyendo modelos de tráfico completos que, tal como recogen trabajos anteriores [8], reducen las zonas de incertidumbre y aumentan la fiabilidad del mapa de ruido. Inicialmente se han introducido los datos de IMD proporcionados por la DFB y establecidos a partir de estaciones de aforo en los tramos que contaban con dichos datos disponibles. Este proceso se ha llevado a cabo mediante uniones de tablas de las estaciones de aforo con las tablas de atributos de las capas geoespaciales de carreteras. Dichas capas presentaban un campo en el que se detallaba la estación de aforo asociada a cada tramo. A lo largo de esta capa se ha comprobado que existen tramos cuya estación de aforo se ha extrapolado, no siendo su posición acorde con la ubicación de la estación. Esto sucede en todos los nudos de carreteras, así como en tramos que discurren paralelos y a escasa distancia de tramos con estación de aforo. Así mismo, aquellas zonas de nuevo desarrollo o que no cuentan con estaciones de aforo, tienen códigos genéricos de estación cuyos valores de IMD han sido calculados según la categoría de la vía, y por tanto presentan diferencias, considerables en algunos casos, con la realidad de la zona.

Para solventar esto, se han estudiado todos estos casos de manera individual, generando soluciones específicas para cada caso. En aquellos tramos con código de estación ficticia, se ha llevado a cabo un profundo estudio de las características específicas del tramo. Este estudio ha incluido el análisis de la IMD e IMH de las vías aledañas y que desembocan en el tramo de estudio así como la evolución histórica del tráfico en estas vías y como esta ha podido influir en el tramo en cuestión, pudiendo haber variado la IMD de este tramo de forma directamente proporcional al del resto de vías, inversamente proporcional, o siguiendo otros patrones en función de la interrelación existente entre los tramos. Así mismo se ha estudiado la IMD asociada a este tramo en fases anteriores del MER haciendo hincapié en el análisis del modo en el que se asoció la IMD al tramo en estas fases, pudiendo haberse basado en estaciones de aforo existentes en el pasado, en interpolaciones de vías con características similares o en asignaciones en función de vías adyacentes. La solución propuesta en estos casos ha sido contrastada con expertos en tráfico de la DFB y recogida en un documento de incidencias para su posterior consulta en caso necesario.

El caso más habitual que se ha encontrado en el desarrollo de este proyecto ha sido la asignación de IMD de grandes ejes viarios a ramales de estos ejes, incorporaciones, salidas y nudos en general relacionados con estos grandes ejes. Al igual que en el caso anterior, estos casos han sido tratados de manera individual. El caso más sencillo ha sido el inicio/ fin de una vía a partir de otra que continúa, existiendo IMD en función de estaciones de aforo existentes para en tramo posterior y anterior de la vía que continúa e IMD en el tramo inicial de la vía que enlaza. En estos casos ha habido que calcular la IMD de los ramales de entrada y de salida a cada vía. Para ello se ha calculado la diferencia de IMD en la vía que continúa y se ha dividido por el número de ramales de entrada y salida a vía adyacente (generalmente 4, entrada y salida desde un sentido y entrada y salida desde el otro sentido). Paralelamente se ha dividido la IMD de la vía adyacente entre el mismo número de ramales. A partir de aquí se le ha asignado a cada ramal la suma o resta de los números obtenidos, en función de si entraba o

salía de una vía cuya IMD aumentaba o disminuía. El caso que se expone a continuación sigue esta dinámica si bien algo más compleja al no distribuirse la IMD equitativamente entre ambos sentidos.



Ilustración 1. Ejemplo de resolución de nudo N-637/AP-8

La existencia de nudos cada vez más complejos y la falta de datos de tráfico en estos nudos ha tenido como resultado la generación de modelos de tráfico de alta complejidad. Si bien cambios mínimos en la IMD de tramos de alta afluencia han demostrado no generar cambios en los resultados acústicos obtenidos, se ha procurado solventar los modelos detallando hasta el nivel de las unidades para obtener resultados fiables y extrapolables a otras aplicaciones.



Ilustración 2. Ejemplo de resolución de nudo A-8/BI-636/BI-3736

## 5. GENERACIÓN DEL MODELO DIGITAL TRIDIMENSIONAL

La accidentada orografía de la provincia de Bizkaia y la falta de datos actualizados de relieve ha supuesto un escollo a salvar en el desarrollo de este proyecto. Para la modelización del terreno se han extraído las curvas de nivel cada 2 metros a partir del MDT a 1 metro del vuelo LIDAR realizado en 2012. Esto ha supuesto que en algunos casos se ha tenido que remodelar el terreno manualmente debido a obras de soterramiento o acopio de materiales. Este ha sido el caso de la A-8 a su paso por las inmediaciones de San Mamés (barrios de Lezeaga y Bentazarra), que ha sido soterrada modificando completamente el relieve de la zona. A partir de la información facilitada por la DFB así como visitas a la zona y el estudio comparativo a través de visores web, se ha modificado el terreno hasta adaptarlo a la realidad actual de la zona.

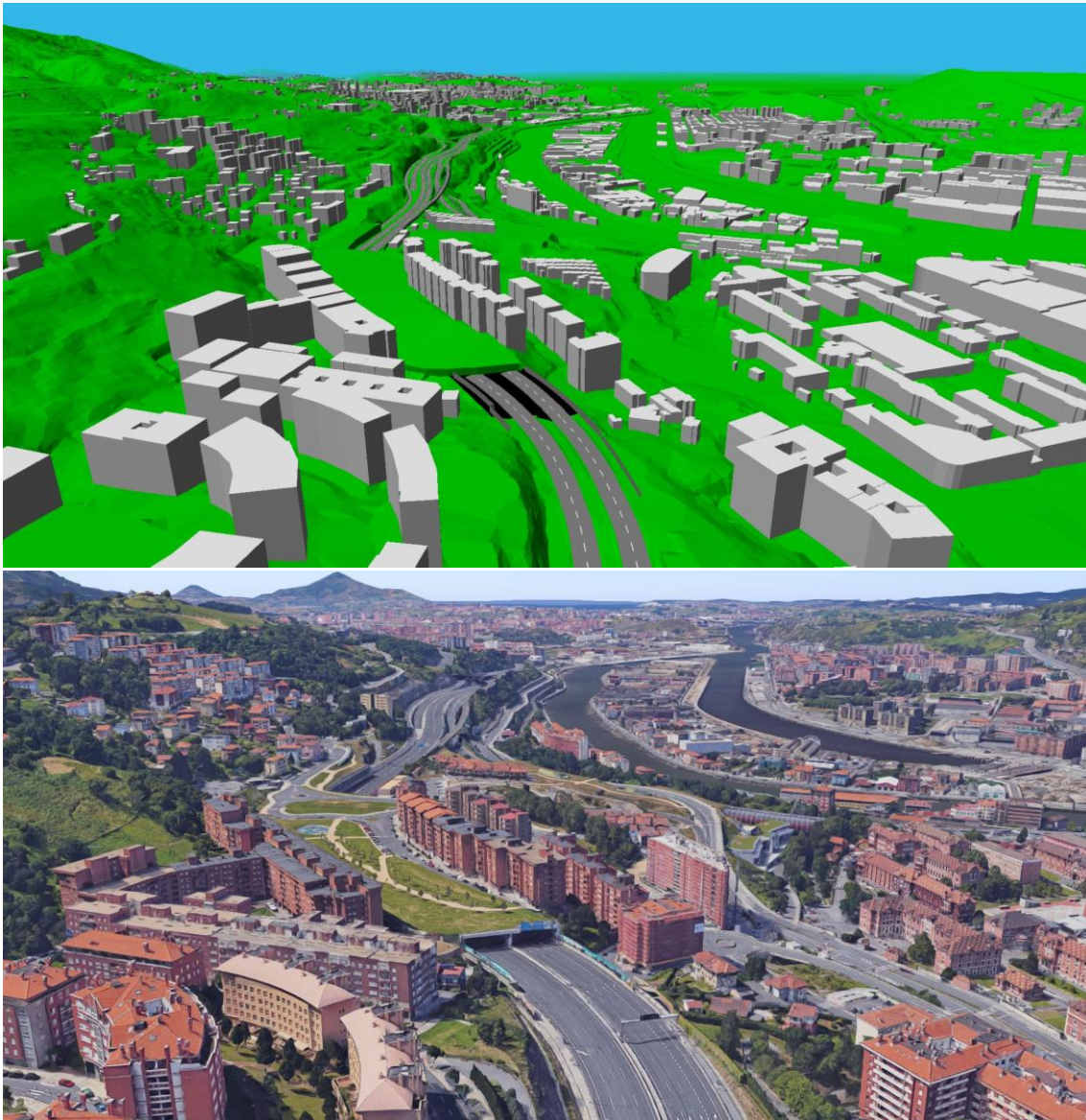


Ilustración 3. Ejemplo de generación del modelo tridimensional: A-8

Así mismo, la existencia de peculiaridades en la zona de estudio, como rotondas elevadas sobre puentes o nudos de carreteras en los que se cruzan diversos puentes a distintas alturas y pantallas acústicas sobre puentes con pendiente, ha supuesto un reto en el diseño del modelo tridimensional de cara a obtener resultados acústicos fiables. A continuación presentamos algún ejemplo de resolución de casos de este tipo.





Ilustración 4. Ejemplo de generación del modelo tridimensional: A-8

## 6. CONTROL DE CALIDAD

De cara a validar los datos de entrada y verificar los cálculos y la representación de los resultados, se ha seguido un estricto control de calidad cuyo desarrollo se ha basado en proyectos de envergadura y extensamente probados [9]. Inicialmente todos los viales que forman parte del presente proyecto se han contrastado con las ortofotografías más actualizadas de la zona para asegurar el correcto trazado de las vías y, como se ha expuesto anteriormente, la unión de todos los tramos inconexos. Por otro lado, los datos de IMD han sido aportados por la DFB y en los casos en que no existían datos, se han contrastado los

micro-modelos y modelos de tráfico generados con los expertos en tráfico de la DFB para posteriormente ser analizados secuencialmente por un total de 3 técnicos especializados en modelización acústica y el supervisor del proyecto.

La definición de las áreas de cálculo y de proyecto se ha realizado en base a sucesivas pruebas de dispersión del sonido en campo abierto simulando las características propias de la orografía y construcciones de la zona. Así pues, se han establecido unos límites de estas áreas en función de la IMD de los tramos a estudiar y las pendientes existentes según la zona. Todos los procedimientos de cálculo han sido diseñados por el equipo de trabajo y validados uno a uno por el supervisor del proyecto.

Tanto el proceso de creación del modelo tridimensional como los resultados acústicos obtenidos y la representación de los mismos se ha realizado siempre siguiendo el criterio de la triple revisión. Por un lado el equipo de trabajo que ha llevado a cabo el modelo ha realizado una revisión, posteriormente se ha llevado a cabo una revisión conjunta con otro técnico, en la que se ha hecho hincapié en el saneado de elementos tridimensionales inexistentes arrastrados desde los datos originales del MDT y por último el director del proyecto y el técnico encargado del modelo han llevado a cabo un análisis del comportamiento acústico del modelo previo al lanzamiento de los cálculos y un análisis de los resultados posteriores.

Todas estas etapas de desarrollo, revisión y aprobación han sido gestionadas en una plantilla compartida en la que se han ido actualizando los campos a medida que se llevan a cabo las distintas tareas para todas las UME's que forman parte del MER de Carreteras de la Diputación Foral de Bizkaia. Entre los apartados contenidos en esta plantilla se recoge la UME a la que se hace referencia, el estado de los datos de entrada (IMD completa, nudos sin IMD asignada, etc), el tamaño de la UME (de cara a la estimación de tiempo de preparación y de cálculo), la fecha de simulación acústica y fecha de re-simulación en caso necesario, la exportación y preparación de los distintos elementos como isófonas y tablas de población expuesta, la maquetación de los planos y la actualización de datos en la Memoria. Todas estas fases llevan asociado un campo de revisión de cada fase, siendo indispensable que una fase haya sido revisada para poder seguir con la siguiente. De este modo se asegura el proceso completo de validación de todas las fases, una vez obtenidos y representados los resultados.

## 7. REFERENCIAS

[1] Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

[2] Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.

[3] Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.

[4] Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

[5] Decreto 213/2012, de 16 de octubre, de contaminación acústica de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

[6] Memoria Resumen de los Mapas Estratégicos de Ruido de la Red de Carreteras de la Diputación Foral de Bizkaia, 2017.

[7] Instrucciones para la Entrega de los Datos Asociados a los Mapas Estratégicos de Ruido y Planes de Acción Contra el Ruido de la Tercera Fase. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015.

[http://sicaweb.cedex.es/docs/documentacion/Instrucciones-3FASE\\_Abril2015.pdf](http://sicaweb.cedex.es/docs/documentacion/Instrucciones-3FASE_Abril2015.pdf)

Disponible online (última visualización, Septiembre 2017).

[8] Ausejo, M.; Recuero, M.; Asensio, C.; Pavón, I. Reduction in calculated uncertainty of a noise map by improving the traffic model data through two phases. Acta Acustica United with Acustica, Vol. 97 (2011), 761-768.

[9] Shilton, Simon; Jones, Nigel; Hepworth, Peter; Stimac, Alan; Ausejo, Miguel. GESTIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE GRANDES MAPAS DE RUIDO. TECNIACUSTICA 2013, Valladolid, España.