

METODOLOGÍAS PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE RUIDO Y SU EVALUACIÓN. APLICACIÓN A LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA

Miguel Arana Burgui

UNED Tudela, Aula Universitaria de Milagro

I. INTRODUCCIÓN

Es razonable preguntarse por qué la Naturaleza, además de los párpados, no nos ha provisto de un mecanismo que pudiera cerrar el oído a los ruidos molestos o desagradables [Kurtze, 1972]. Para un ser animal, rodeado de enemigos, este mecanismo resultaría nefasto. Aunque para el hombre civilizado actual esta función ontogénica preventiva del oído es de menor importancia que para un ser animal que viva libre en la naturaleza, tampoco puede renunciar a ella si ha de oír el despertador o el llanto de un bebé. En algunos aspectos, nuestro sentido del oído está más capacitado que el de nuestro sentido de visión, al menos en su abertura angular y, desde luego, durante ocho horas diarias. Cabe preguntarse si en la primera frase existe redundancia ya que el *ruido* de por sí parece implicar molestia o desagrado. Sin embargo, esta cuestión no está exenta de subjetividad. Lo que para una persona puede resultar desagradable no lo es para otra. Incluso el mismo ruido nos molesta o no dependiendo de la actividad que estemos desarrollando.

Aunque simplista, una primera tentativa para clasificar los ruidos puede distinguir tres categorías. Una primera abarcaría los ruidos de gran intensidad, superiores a 85 fonios. Tales niveles se dan en múltiples actividades fabriles y una larga exposición a los mismos produce trastornos fisiológicos y pérdida auditiva. La actual legislación española [RD 286/2006] prohíbe tales exposiciones, aunque las admite con el uso de protectores auditivos. Una segunda categoría, más imprecisa, abarcaría los ruidos de intensidad entre 40 y 85 fonios. En esta clase se incluyen la mayoría de los ruidos ambientales (tráfico, maquinaria, voces humanas) y es imprecisa en el sentido de objetivar la molestia de tales niveles, ya que la misma depende de la actividad que estemos desarrollando. Aunque son pocas las esperanzas de reducir estos niveles por debajo de 40 fonios (al menos el debido al

tráfico) debiera extremarse su control en el interior de las viviendas y en los centros de trabajo que requieren una cierta concentración. Por supuesto, también en los centros docentes. Finalmente, la categoría de ruidos por debajo de 40 o 30 fonios produce fundamentalmente efectos psicológicos e interrupción del sueño o dificultades en el mismo.

Aun admitiendo una importante componente subjetiva (y que, a la postre, complica en gran manera tanto su medida y valoración como la adopción de medidas correctoras) es claro que la contaminación acústica es uno de los problemas medioambientales más importantes. Según la última encuesta del CIS al respecto [CIS, 2007] ocupa el cuarto lugar de los problemas medioambientales que nos afectan en nuestro día a día. Los efectos negativos del ruido en la **salud** (tanto auditivos como no auditivos) están siendo bien cuantificados en la múltiple bibliografía al respecto. Asimismo, los efectos económicos son también muy cuantiosos. Por ambas razones, la Comunidad Europea (y, por ende, sus estados miembros) iniciaron hace ya 30 años una serie de actuaciones legislativas y normativas para la reducción del ruido, tanto en centros de trabajo como en el medioambiente.

II. LEGISLACIÓN

Como antecedentes de la actual legislación contra el ruido, están datadas múltiples disposiciones desde la antigua Grecia y Roma. Así, en las antiguas metrópolis griegas se alejaban de los núcleos las herrerías para evitar la molestia de sus ruidos a la población. Era muy frecuente la sordera entre tales trabajadores. En la antigua Roma, se limitaba el paso de carruajes en horario nocturno, al igual que en muchas ciudades centroeuropeas en la Edad Media. En la segunda mitad del siglo pasado, fueron las administraciones municipales las que comenzaron a dictar normas y ordenanzas para regular las molestias causadas por el ruido, principalmente los ruidos comunitarios y de las actividades. Por supuesto, las limitaciones ya se elaboraban con criterios objetivos en cuanto a índices de medida y valores límites. A modo de ejemplo, las condiciones técnicas que deberán cumplir las actividades emisoras de ruidos o vibraciones en la Comunidad Foral de Navarra están reguladas por Decreto Foral [DF 135/1989].

El ruido emitido por maquinaria y vehículos (considerados individualmente) ha sido objeto de múltiples directivas europeas. En su Resolución de 10 de junio de 1997 sobre el Libro Verde de la Comisión, el Parlamento Europeo respaldó dicho Libro Verde, insistió en la necesidad de

METODOLOGÍAS PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE RUIDO Y SU EVALUACIÓN.
APLICACIÓN A LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA

establecer medidas e iniciativas específicas en una Directiva sobre reducción del ruido ambiental y puso de manifiesto la falta de datos fidedignos y comparables sobre la situación con respecto a las distintas fuentes de ruido. Tomando conciencia del hecho que el ruido ambiental en su conjunto debe ser regulado y controlado (independientemente de que sus componentes individuales cumplan con los límites de emisión sonora) se aprobó la Directiva Europea sobre evaluación y gestión del ruido ambiental [Directive 2002/49/EC]. En ella se contemplan las propias infraestructuras (autovías, aeropuertos, líneas férreas e industria) como fuentes de ruido.

La directiva europea se traspuso al derecho español a través de la Ley del Ruido [LEY 37/2003] a la que se le dio el carácter de ley básica. Se han aprobado dos desarrollos de dicha Ley. En el segundo de ellos [REAL DECRETO 1367/2007] se establecen las normas necesarias para el desarrollo y ejecución de la citada Ley en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. La Ley (y la Directiva de la cual deriva) establecieron los requisitos y calendario para elaborar los denominados *mapas de ruido* y *planes de acción*, como las herramientas más potentes para la evaluación y gestión del ruido ambiental.

Los mapas de ruido son la presentación de datos sobre una situación acústica existente o pronosticada en función de un indicador de ruido, en la que se indicará el rebasamiento de cualquier valor límite pertinente vigente, el número de personas afectadas en una zona específica o el número de viviendas expuestas a determinados valores de un indicador de ruido en una zona específica. Los planes de acción son planes encaminados a afrontar las cuestiones relativas al ruido y a sus efectos, incluida la reducción del ruido si fuere necesario.

III. ELABORACIÓN DE MAPAS ACÚSTICOS

La elaboración de un mapa acústico consiste (a grandes rasgos) en la representación cartográfica de los niveles sonoros en una zona del territorio, originados por infraestructuras de transporte, industrias o cualesquiera otras fuentes de ruido. Para ello se usan métodos computacionales, dada la inmensa cantidad de cálculos requeridos. Partiendo de un modelo digital del terreno (MDT) se simula toda la edificación, viales, tipos de terreno, fuentes acústicas, etc., es decir, todos los elementos que puedan tener influencia en la generación, transmisión y recepción de las ondas acústicas. Como ejemplo, en la elaboración del mapa acústico de la Aglomeración de la Comarca de Pamplona, se simuló un MDT de 127 Km² de superficie, con más

de 8.000 edificios, 7.000 vías de tráfico y 1.270.000 receptores acústicos. A su vez, cada edificio posee múltiples receptores, cada vía posee múltiples variables para el tráfico que soporta y debe sustituirse por múltiples focos puntuales. Finalmente, en cada receptor se evalúan distintos índices acústicos.

Se han desarrollado modelos para las fuentes de ruido, principalmente para los tráficos viarios, ferroviarios y aéreos. Igualmente, se han desarrollado programas de cálculo [Cadna, SoundPLAN, por ejemplo] que permiten llevar a cabo las simulaciones de forma computacional. Aun así, la ingente cantidad de datos, variables y metodologías hace que la elaboración de un mapa acústico sea un tema complejo. Más bien cabría decir que es sumamente compleja la elaboración de un mapa acústico que reproduzca fielmente los niveles sonoros reales. Una vez asumida la fiabilidad de las predicciones, la potencialidad de la herramienta es enorme. Podrá simularse el efecto de cualquier modificación en el escenario (alejamiento de una vía de tráfico, reducción de la velocidad, colocación de barreras acústicas, et.) en los niveles sonoros del entorno.

IV. VARIABLES Y METODOLOGIA

Como se puede intuir del apartado anterior, son muchas las variables a controlar en la simulación para elaborar un mapa acústico, cada una de ellas con su influencia en la incertidumbre de los resultados. Podemos citar como más importantes las siguientes:

1. Variables asociadas al MDT
 - 1.1 Precisión en las coordenadas (principalmente, altura) del terreno
 - 1.2 Propiedades absorbentes de cada tipo de terreno
2. Variables asociadas a la fuente
 - 2.1 Tipo de asfalto
 - 2.2 Intensidades de tráfico
 - 2.3 Composición y velocidad del tráfico
 - 2.4 Discretización en fuentes puntuales
3. Variables asociadas a la propagación
 - 3.1 Condiciones meteorológicas
 - 3.2 Radios de búsqueda
 - 3.3 Orden de reflexión
 - 3.4 Tipo de difracción

4. Variables asociadas a la recepción.
 - 4.1 Ubicación de receptores
 - 4.2 Asignación de población a receptores

Obviamente, la Directiva no enumera (excepto alguna básica) ni las variables a tener en cuenta ni, consecuentemente, el grado de precisión o influencia de las mismas. La Comisión Europea conformó un grupo de trabajo para asesorar a los Estados Miembros en la elaboración de los mapas acústicos. El documento elaborado [WG-AEN, 2006] no constituye un manual para la elaboración de mapas acústicos pero asesora adecuadamente sobre múltiples cuestiones específicas que fueron inicialmente planteadas por los Estados Miembros.

V. CONTRIBUCIONES

El primer mapa acústico de Pamplona se elaboró en el año 1989. Por supuesto, se elaboró de forma experimental, midiendo el ruido continuo en 164 estaciones de medida [Arana et al., 1990]. El estudio no se limitó únicamente a la determinación de los niveles sonoros ambientales sino que analizó en detalle los efectos sobre la percepción y molestias que el ruido origina en los residentes [Arana et al. 1998]. También se realizaron comparativas entre diferentes metodologías de elaboración de mapas acústicos utilizadas en diferentes ciudades [Arana et al. 1996] [Arana et al. 1997].

El segundo mapa acústico de Pamplona se elaboró en 1999, es decir, con intervalo de diez años respecto del primer mapa acústico. El aspecto más destacable fue que se utilizó la misma metodología (estaciones y periodos de medida, índices utilizados, etc.). Este hecho fue crucial para poder evaluar la evolución temporal del ruido, ya que el último mapa elaborado, en el año 2008 (además de incluir ya la metodología computacional) incluyó también mediciones en las mismas estaciones de medida. De hecho, uno de los resultados más importantes de la investigación llevada a cabo a lo largo de los últimos 25 años se refiere a la evolución temporal de la contaminación acústica en nuestras ciudades [Arana, 2010.a]. Se concluyó que, tras analizar los niveles de contaminación sonora en dos ciudades españolas (Pamplona y Madrid) a lo largo de extensos periodos de tiempo, los niveles de contaminación acústica se han visto reducidos, con fiabilidad estadística para la conclusión.

En el periodo comprendido entre la elaboración del segundo y tercer mapa acústico de Pamplona (1999-2009) se comenzaron a desarrollar los modelos de predicción y programas de cálculo para la elaboración de mapas acústicos [Arana, 2001]. Dos fueron las razones que llevaron a priorizar esta metodología. En primer lugar, la realización de mapas experimentales es muy costosa, tanto en tiempo como en medios materiales y humanos. En segundo lugar, el interés práctico de estos estudios consiste en que resulten preventivos a nivel de medidas correctoras y de mitigación de las molestias originadas, Las soluciones resultan muy costosas (si no inviábiles) una vez se ha construido la infraestructura o la actuación urbanística. Es en la fase de diseño urbano cuando se deben tomar las soluciones con menor impacto. Lógicamente, ello requiere la fiabilidad de la predicción en los modelos y programas de cálculo. El impulso definitivo para este cambio de estrategia vino de la mano de la Directiva Europea 2002/49/CE.

Nuestro grupo de trabajo fue requerido para colaborar en los proyectos de elaboración de los **"Mapas de Ruidos Estratégicos de las Carreteras de Navarra"** y la **"Elaboración del Mapa de Ruidos de la Aglomeración de la Comarca de Pamplona y Mapas Estratégicos de sus Rondas"**. Ambos Proyectos fueron solicitados por el Dpto. de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente (actual Dpto. de Desarrollo Rural, Industria, Empleo y Medio Ambiente) del Gobierno de Navarra, a fin de dar cumplimiento a la Directiva Europea 2002/49/CE, así como a la Ley 37/2003 (Ley del Ruido) y reglamentos de desarrollo.

El trabajo requerido para la elaboración de los citados mapas ya resultaba de por sí un tanto novedoso (primera petición oficial de mapas computacionales) como enormemente arduo (recopilación de múltiples bases de datos con todas las variables influyentes: modelo digital del terreno, elevación de edificación, densidades de tráficos, características acústicas del terreno, etc. A pesar de ello (y desde un primer momento) se planteó el trabajo más como un trabajo de investigación sobre la influencia que las múltiples variables a considerar tendrían sobre los resultados, así como en la precisión que diferentes metodologías tendrían en la evaluación del porcentaje de personas afectadas.

Como ya se ha citado, la Directiva Europea 2002/49/EC establece los aspectos generales para la elaboración de los mapas acústicos: índices, modelos, presentación de resultados, etc. pero (como es obvio) no precisa todos los detalles de cálculo que se deben contemplar. Entre ellos podemos citar: influencia de la metodología utilizada para la discretización (fragmentación) de las fuentes lineales, influencia de la precisión en el modelo digital del terreno, influencia de la profundidad y del orden de

METODOLOGÍAS PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE RUIDO Y SU EVALUACIÓN.
APLICACIÓN A LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA

reflexión utilizado, las diferentes metodologías para evaluar el porcentaje de personas afectadas por el ruido, etc.

Algunas de las variables tienen una (en principio) reducida influencia. Tal es el caso del método utilizado para la fragmentación de las fuentes, si se sigue (como ha de ser) las exigencias de la norma correspondiente [ISO 9613-2, 1996]. No obstante, puesto que los algoritmos no trabajan de forma independiente (para este caso, por ejemplo, se puede utilizar un algoritmo de visibilidad de la fuente, previo a la discretización) los errores pueden resultar inaceptables cuando se tienen configuraciones de líneas acústicas complejas, tal como carreteras con túneles o fuertemente apantalladas. Para otro tipo de variables los errores pueden ser, de por sí, considerables. En definitiva, pueden obtenerse resultados de predicciones acústicas con diferencias superiores en 10 dB (decibelios) en los niveles sonoros. Esto resulta, a todas luces, inaceptable. Es más, no se pueden plantear medidas correctoras (en general, muy costosas) con tales grados de imprecisión.

Nos propusimos, por tanto, una evaluación sistemática de los grados de incertidumbre que las diferentes variables contempladas en el cálculo inducían en los resultados predichos. Por ende, pretendimos evaluar la versatilidad y las diferencias entre los dos programas más utilizados en los países de la Comunidad Europea (SoundPLAN y Cadna). Fueron analizadas las diferencias asociadas a las variables más influyentes, exceptuando aquellas cuya respuesta resulta obvia por consideraciones teóricas.

El análisis de las diferencias a que inducen las incertidumbres de las variables se realizó de forma estadística, siempre para amplias áreas de cálculo, generalmente en la zona incluida en la Aglomeración de la Comarca de Pamplona, aunque también se llevó a cabo en áreas de cálculo afectadas por grandes ejes viarios. El procedimiento era, esencialmente, el siguiente. Se llevaban a cabo las modelizaciones computacionales para las mismas configuraciones del terreno y variables, con la única modificación de la variable a analizar. Pongamos un ejemplo. Para la misma configuración del fichero digital del terreno y características acústicas del mismo (edificación, fuentes acústicas, etc.), se realizaban todos los cálculos haciendo variar únicamente una de las variables, por ejemplo, el orden de reflexión. Ello requería varios cálculos, desde orden de reflexión 0 hasta, por ejemplo, orden de reflexión 5. Algunos cálculos duraban horas (reflexión 0) pero otros requerían días o semanas (reflexión 5). Posteriormente, las diferencias eran analizadas mediante software específico de información geográfica (ArcGIS). La representación gráfica de las diferencias aporta información clara sobre la influencia de la incertidumbre en una variable en función de las

características de la configuración, tanto del terreno como urbanística, del área de cálculo.

Para el problema concreto del cálculo del porcentaje de población afectada por el ruido (el cual es, sin duda, el indicador más importante de las molestias que produce el ruido y el más valioso para la toma de decisiones en los Planes de Acción) diseñamos una metodología de evaluación que mejora apreciablemente la planteada por la Directiva Europea.

Expondremos a continuación un resumen de los resultados de mayor interés.

Todo programa utilizado para los cálculos computacionales requiere, como paso previo, un algoritmo de discretización de fuentes; principalmente, las fuentes lineales. Estas pueden ser vías de tráfico rodado, ferroviario o trayectorias de vuelo en despegues y aterrizajes. Existen dos alternativas básicas. La primera consiste en trazar líneas (desde el receptor) con paso angular constante y sustituir los tramos interseccionados de la vía por fuentes puntuales. Es el denominado '*Método de paso angular constante*'. La segunda consiste en dividir la línea de tráfico en sucesivos tramos, de forma que cada tramo no supere un porcentaje de la distancia entre el receptor y el tramo considerado. Es el denominado '*Método Raster*', caracterizado por el citado porcentaje. La investigación realizada para diferentes factores *raster* (entre 0,125 y 0,5) y diferentes pasos angulares (entre 1º y 10º) mostraron que el método del factor raster (con factor de 0,5) es el preferible cuando se desean conjugar simultáneamente precisión de resultados y tiempos de cálculo [Arana et al. 2006].

Uno de los parámetros que influyen notablemente en el nivel sonoro es el número de reflexiones a considerar, cuestión mucho más relevante en áreas urbanas. Obviamente, incrementar el número de reflexiones a considerar incrementa la precisión del cálculo pero, por el contrario, incrementa el tiempo de cálculo en forma casi exponencial. Los estudios llevados a cabo con dos programas diferentes y para diferentes órdenes de reflexión, mostraron que, si bien en general, un orden de reflexión 2 puede resultar suficientemente preciso, determinadas configuraciones urbanas requieren de mayor orden y, por el contrario, para situaciones interurbanas puede ser suficiente ninguna o, a lo sumo, una reflexión para obtener suficiente precisión en los resultados [Aramendia et al. 2007]. Es deseable una selección previa del orden de reflexión en función de las características de la zona de cálculo.

METODOLOGÍAS PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE RUIDO Y SU EVALUACIÓN.
APLICACIÓN A LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA

Uno de los resultados más interesantes de los obtenidos con este Proyecto es el relativo a la metodología empleada para evaluar el número de personas afectadas por el ruido. La evaluación requiere de muy detallada información, tanto en lo relativo al mapeado acústico como en los datos digitales de la edificación y el catastro. La respuesta '*exacta*' e la evaluación se obtendría con un detallado mapa acústico de fachadas y un conocimiento muy preciso de los habitantes por vivienda y fachada de cada una de tales viviendas. Dado que ni lo uno ni lo otro (el primero por el enorme tiempo de cálculo requerido para grandes áreas urbanas; el segundo por la, todavía, insuficiente información disponible) es todavía posible, la Directiva Europea simplifica la evaluación tomando como valor de afección el de la fachada más expuesta. Esta metodología está bien pensada para zonas urbanas con edificación unifamiliar de una o dos alturas, dado que los mapas se evalúan a 4 metros de altura. Sin embargo para configuraciones urbanas de grandes bloques de viviendas, las evaluaciones pueden ser altamente erróneas. Nuestra investigación consistió en evaluar el número de personas afectadas (para un distrito de la ciudad de Pamplona del que se disponía de información muy detallada) usando tres diferentes métodos: estimación '*exacta*' (mediante mapa de fachadas), estimación '*aproximada*' (mediante mapa estratégico de ruido) y estimación según Directiva Europea (*END*). Los resultados [Arana et al. 2009] mostraron que la evaluación según la Directiva (*END*) resulta muy deficiente para este tipo de configuraciones urbanas y que la estimación aproximada (se detalla la metodología en la referencia citada) es una mucho mejor aproximación a la evaluación exacta. Además, la evaluación aproximada solo requiere del mapa estratégico, exigible por ley, según la Directiva Europea.

Relacionado con este resultado, un importante resultado [Arana, 2010.a] fue la posibilidad de cuantificar la mejora obtenida en el medioambiente acústico a lo largo de los últimos 20 años en la ciudad de Pamplona debido tanto a políticas encaminadas en este sentido (construcción de rondas de circunvalación, peatonalización, etc.). Se puede expresar tanto en reducción de energía acústica en el medioambiente (reducción del 41% entre los años 1999 a 2009) como en la reducción del porcentaje de personas expuestas a niveles sonoros elevados (reducción del 29% al 11%, entre el mismo periodo de tiempo, para el porcentaje de personas expuestas a niveles superiores a 65 dB en el índice Ld).

Otra de las variables analizadas en nuestro Proyecto fue la precisión del modelo digital del terreno (MDT) y su influencia en los resultados del mapeado acústico. Las múltiples modelizaciones llevadas a cabo (para un área de cálculo que contiene tanto zonas urbanas como rústicas, con múltiples tipologías de vías urbanas e interurbanas) con diferentes

precisiones del terreno, mostraron [Arana et al. 2010.b] que la precisión de 0,5 metros, en coordenada z, es suficiente para las simulaciones acústicas, además de resultar una precisión asequible con las técnicas de geodetección actualmente disponibles. Por el contrario, una precisión de 5 metros en altura es claramente insuficiente, obteniéndose imprecisiones superiores a 3 dB en el 2% de los puntos del mapeado acústico. Tales imprecisiones afectan claramente a la precisión del porcentaje de personas afectadas y (lo que es más importante) no garantizan la fiabilidad de las medidas adoptadas en un posible plan de acción. Por cierto, una gran parte de los mapas acústicos realizados lo fueron con una precisión de 5 metros en el DTM. Ello puede explicar el porqué (además de razones económicas) de la usencia de medidas correctoras en los planes de acción que se han elaborado o se están elaborando.

Otro de los análisis realizados en nuestro Proyecto fue el de llevar a cabo una comparativa entre los dos programas más utilizados en los países de la CE. La práctica totalidad de los mapas estratégicos de ruido han sido realizados con alguno de estos programas. Al recomendar la Directiva Europea un método normalizado [ISO 9613-2, 1996] para la evaluación de la atenuación sonora en su propagación en exteriores, podría pensarse que todos los programas comerciales lo implementan en forma idéntica ofreciendo, en definitiva, los mismos resultados. La realidad, sin embargo, no es esta. El citado método normalizado establece los criterios pero no los algoritmos, imprescindibles estos para llevar a cabo el cálculo computacional. En nuestro proyecto nos propusimos analizar las diferencias encontradas en los resultados usando estos dos populares software. El análisis se hizo para una amplia zona de cálculo de 60 km². Los resultados mostraron [Arana et al. 2010.c] significativas diferencias. Una primera conclusión fue que las configuraciones de cálculo, aunque similares, no resultan siempre idénticas, ni tampoco admiten la versatilidad que se debe exigir a los programas de predicción. Respecto de los resultados, si bien en el 95% de los puntos la diferencia en el nivel sonoro predicho resultó inferior a 3 dB, tal resultado estadístico general esconde notables e importantes diferencias. Tales diferencias son debidas a los diferentes algoritmos usados. Las diferencias más importantes surgen bien en los receptores fuertemente apantallados, bien en los receptores alejados de las fuentes. En el primer caso, es conveniente un algoritmo previo de visibilidad de las fuentes (como utiliza uno de los programas) y en el segundo caso, las diferencias son debidas a la diferente implementación de la propagación bajo condiciones homogéneas o favorables.

VI. CONCLUSIONES

El trabajo desarrollado por nuestro grupo a lo largo de los últimos 25 años sobre la contaminación acústica y elaboración de mapas acústicos nos ha permitido conocer y desarrollar las técnicas y metodologías utilizadas en este campo, con gran proyección futura, así como contribuir a su desarrollo con algunas modestas contribuciones.

Los resultados de los mapas acústicos, tanto de la Aglomeración de la Comarca de Pamplona como de los Grandes Ejes Viarios de Navarra, fueron remitidos a la Comunidad Europea (vía Ministerio de Medio Ambiente) recibiendo su visto bueno sin ninguna alegación. Es más, Pamplona ha sido una de las dos Aglomeraciones del Estado que ha realizado su mapa acústico como tal, a pesar de ser varias las que debieran haberlo realizado. Como valor añadido a estos trabajos se realizaron dos importantes estudios. En primer lugar, una validación de los resultados con campañas de medidas "in situ" y una evaluación de incertidumbre, al utilizar dos diferentes programas en los cálculos llevados a cabo.

Finalmente, estimamos de interés destacar que desde el comienzo del Proyecto, nuestro Grupo ha venido desarrollando ciertas estrategias e intervenciones en materia educativa, tanto con realizaciones físicas como en páginas web. Ello ha estado motivado por la convicción de que la mejor estrategia a largo plazo para la reducción del ruido ambiental lo constituye la concienciación y educación. Con tal fin, diseñamos y equipamos el '*Aula de Acústica*' en el Museo medioambiental San Pedro de Pamplona, dependiente del Ayuntamiento de Pamplona [Pag. Web_1]. Asimismo, se creó una página web [Pag. Web_2] dentro de la página principal de la UPNA, con fines didácticos y de concienciación. Varias publicaciones [Arana et al., 2007] [Aramendía et al., 2005] han recogido estas implementaciones.

VII. REFERENCIAS

Kurtze, G. Física y Técnica de la lucha contra el ruido. Ed. URMO. Bilbao. (1972)

REAL DECRETO 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. BOE n. 60, 12 de marzo de 2006, pp: 9842-9848. (2006)

CIS. Ecología y medioambiente (III). Estudio nº 2682. Marzo-2007. (2007)

Decreto Foral 135/1989. BON n. 76, de 19 de junio de 1989. Condiciones técnicas que deberán cumplir las actividades emisoras de ruidos o vibraciones. (1998)

Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise. (2002)

LEY 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. BOE n. 276 del 18 de noviembre de 2003. pp: 40494- 40505

REAL DECRETO 1367/2007, BOE n. 254, del 23 octubre 2007. pp: 42952-42973

SoundPLAN, Technical Acoustics in SoundPLAN. <http://www.soundplan.eu/>

Cadna/A, DataKustik. <http://www.datakustik.com/en/products/cadnaa>

WG-AEN, European Commission Working Group. Assessment of Exposure to Noise. Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure. Position Paper. Version 2. 13th Jan. 2006 (2006)

Arana, M.;García, A.; *Estudio del Ruido Ambiental en Pamplona*, Revista de Acústica. Vol XXI, pp: 57-62, ISSN: 0210-3680. (1990)

Arana, M.; García, A.; *A Social Survey on the Effects of Environmental Noise on the residents of Pamplona, Spain*, Applied Acoustics **53**, pp:245-253, ISSN 0003-682X (1998)

METODOLOGÍAS PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE RUIDO Y SU EVALUACIÓN.
APLICACIÓN A LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA

Arana, M.; *Urban Noise Prediction in Pamplona (Spain)*, Proceedings of the Institute of Acoustics (UK) Vol. **6** (ISBN 1 873082 90 8) pp: 3109-3112 (1996)

Arana, M.; García, A.; *A Comparison Between the Noise Surveys Carried Out in Two Spanish Cities (Valencia and Pamplona)*, Proceedings of the Hungarian Institute of Acoustics. Vol. **2** (ISBN 963 8241 64 0) pp: 819-822 (1997)

M. Arana, *Are urban noise pollution levels decreasing?*, J. Acoust. Soc. Am. 127(4) pp: 2107-2109 (2010.a).

ISO 9613-2. Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2: General method of calculation (1996)

Miguel Arana and Emilio Aramendia, "Comparison between Raster factor and constant angular step in noise mapping," *Proceedings of EURO-NOISE 06*, paper SS32-274. Tempere (Finland) (2006)

Emilio Aramendia, Iñaki Nagore, David Pérez, Ricardo San Martín, M.L. San Martín and Miguel Arana; *How many reflections must be considered in urban noise mapping?*, InterNoise 2007 Paper in07_010 (Session ENVMM_M1). Estambul (Turquía) (2007)

Miguel Arana, Ricardo San Martín, Iñaki Nagore, David Pérez, *Using Noise Mapping to Evaluate the Percentage of People Affected by Noise*, Acta Acustica united with Acustica 95 (3), pp: 550-554, ISSN: 1610-1928 (2009)

Miguel Arana, Ricardo San Martín, Iñaki Nagore, David Pérez; *What precision in the Digital Terrain Model is required for noise mapping?*, Applied Acoustics 72, pp: 522-426 ISSN: 0003-682X (2010.b)

M. Arana, R. San Martín, M. L. San Martín, E. Aramendía; *Strategic noise map of a major road carried out with two environmental prediction software packages*, Environmental Monitoring and Assessment, 163(4), pp: 503-513, ISSN 0167-6369. (2010.c)

Arana, M.; *Prediction of Urban Noise*, pp: 149-181, Environmental Urban Noise. Ed. WITT PRESS, Southampton (UK). ISBN: 1-85312-752-3, (2001)

Arana Burgui, M.; Aramendia Santamaría, E. y San Martín Murugarren, R.; *Plataforma de e-learning en Acústica. Una primera evaluación. Revista*

MIGUEL ARANA BURGUI

Latinoamericana de Tecnología Educativa Relatec . Vol. 6 (2) (2007), pp. 139-152, ISSN: 1695-288X, (2007)

Aramendia, E.; San Martín, R.; Arana, M.; *Computer Tools to Simulate Acoustic Phenomena*, Learning in Science Group. (Editors: Z. C. Zacharia and C. P. Constantinou). pp: 158-166 ISBN 9963-607-63-2 Zilina (Eslovakia) (2005)

http://www.museoambientalpamplona.com/index.php?mod=aula_acustica&subm=acustica&pad=16 [Pag. Web_1]

<http://www.unavarra.es/organiza/acustica/index.htm> [Pag. Web_2].