



**UNIVERSIDAD
DE BURGOS**

Departamento de Ingeniería Civil

**MODELO INTEGRADO DE APOYO EN LA TOMA DE
DECISIONES EN LA PLANIFICACIÓN URBANA. CASO
PARTICULAR DE LA VALORACIÓN DEL IMPACTO
POR RUIDO**

TESIS DOCTORAL

Autor:

Jose Luis Eguiguren García

Directores:

Dra. Dña. Karmele Herranz Pascual

Dr. D. Juan Manuel Manso Villalaín

2013

AGRADECIMIENTOS

Dicen que no importa tanto el llegar a la meta como el camino que recorres hasta conseguirlo. Reconozco que éste camino en concreto ha sido especialmente largo, no árido, pero sí largo. A punto de finalizar, el momento es el adecuado para recordar a todos aquellos que se fueron incorporando de un modo u otro a la historia.

Comenzaba los cursos de doctorado cuando el profesor Jose Luis Ramírez me ofreció la posibilidad de incorporarme como becario al Centro Tecnológico antiguamente conocido como LBEIN. Es evidente que sin ese primer eslabón no hubiese llegado a culminar la cadena.

Daba los primeros pasos ciertamente titubeantes, modificando periódica y radicalmente el objeto de la Tesis, cuando una charla con el profesor Bob Creig me descubrió el principal secreto para llevar a buen puerto el proyecto iniciado. Después de un par de cervezas me dijo: “La única condición necesaria para realizar una Tesis Doctoral es tener una motivación clara”. No lo voy a desvelar pero desde ese momento identifiqué un motivo suficientemente poderoso para sustentarme en el largo camino.

El profesor Javier Canales fue mi primer tutor y aguantó con paciencia “Jobiana” mi visita anual en la que me firmaba los papeles de la matrícula, y en la que le comentaba alternativas para desatascar lo que tenía visos de convertirse en misión imposible.

Hay una persona que es una constante en los agradecimientos de las Tesis de los últimos años desarrolladas en el entorno de Tecnalia. Y es que el profesor Tomás San José ha sido inspiración, apoyo y guía de muchas de ellas. En mi caso, recibí buenos consejos y buenas raciones de ánimo.

Me parece justo dejar constancia de mi agradecimiento a Tecnalia, y evidentemente de forma especial a mis compañeros, muchos de ellos amigos, que en las diferentes etapas de mi vida laboral, no perdieron la confianza en mi (o al menos no lo demostraron), y de los que sentí ánimo y apoyo en los múltiples ciclos de euforia-decaimiento que inevitablemente se dan en un proceso de esta naturaleza. Mis colegas “acústicos” fueron además ayuda inestimable con la aportación desinteresada de sus conocimientos y experiencia.

Los proyectos han sido la constante sobre la que ha pivotado mi carrera profesional hasta la fecha. En su desarrollo he ido aprendiendo mucho de lo que ha dado forma a esta Tesis. Me gustaría citar unos pocos en representación de todos ellos.

El embrión del Modelo de Evaluación de Impacto desarrollado procede del proyecto *“Indicador sintético de impacto de ruido basado en la descomposición de los factores primarios de origen social, económico, arquitectónico, medioambiental y urbano/territorial”*, que fue parcialmente subvencionado con fondos del Programa de Proyectos Innovadores de IHOBE, 2008. La financiación de IHOBE permitió profundizar en el conocimiento necesario para alcanzar el resultado final obtenido.

El Modelo de Priorización de Actuación presentado en el presente trabajo de Tesis Doctoral se ha desarrollado tomando como base parte de los trabajos incluidos en los proyectos: “Plan de lucha contra el ruido de las carreteras de la Red Foral de Bizkaia” realizado para el Departamento de Obras Públicas y Transporte de la Diputación Foral de Bizkaia entre los años 2004-2012, y el “Plan de Acción de Ruido de Bilbao” realizado para el Ayuntamiento de Bilbao en los años 2008-2009. Se agradece, tanto a la Diputación Foral de Bizkaia como al Ayuntamiento de Bilbao, el haber financiado ambos proyectos.

En relación al modelo de evaluación de sostenibilidad es destacable el interés del Ministerio de Medio Ambiente al subvencionar el proyecto I+D+i SISPA-Local: *“Diseño*

y validación de un Sistema Integral para la mejora de la Sostenibilidad de Planes de Acción en el Ámbito Local desarrollado en colaboración con la Universidad de Vigo (501/2006/3-10.1 y A494/2007/2-10.1). También me gustaría nombrar al Concello de Vigo, y a los gestores y técnicos que participaron activamente en este trabajo aportando sus visiones e inquietudes.

Así mismo, es significativa la colaboración del equipo de trabajo de Tecnalía del proyecto MIVES IV: "Cuantificación de la sostenibilidad en Ingeniería de la Construcción con y sin incertidumbre. Aplicación y contraste en diferentes componentes y escalas constructivas". Referencia: BIA2010-20789-C04-03 (Proyecto de Investigación Fundamental no orientada), que ha servido de referencia metodológica en la definición del modelo de evaluación planteado, junto con la **financiación del Gobierno Vasco IT781-13**. De forma particular me gustaría destacar al profesor Jesus Cuadrado, siendo su conocimiento del concepto "MIVES" de un valor incalculable, y sus consejos, su ánimo y su apoyo en la recta final impagables.

He dejado para el final a mis directores de Tesis. La colaboración con mi colega, amiga y mentora "psicosocial", la Doctora Karnele Herranz fue el revulsivo que me permitió encarrilar de forma definitiva mis esfuerzos en un objetivo, como dicen los consultores: concreto, medible y acotado temporalmente. Es cierto que fuimos revisando en repetidas ocasiones el escenario temporal, pero en todas ellas Karnele puso la misma dedicación, ilusión y conocimiento infinito. El profesor Juan Manuel Manso fue el último actor en incorporarse a la obra. Sus aportaciones, experiencia y apoyo fueron fundamentales para el éxito final.

Mi más profundo agradecimiento a todos ellos.

Para mi Ama, porque simplemente se lo merece todo. En honor de mi Aita, de mi tía Mila y de mi tío Jose Luis, que en paz descansen, porque siempre estuvieron ahí. Para mis hermanos y sobrinos porque la familia es lo más grande. A todos ellos por su amor, por lo aprendido y por su apoyo incondicional.

Si supiese qué es lo que estoy haciendo, no le llamaría investigación, ¿verdad?

Albert Einstein

No basta dar pasos que un día puedan conducir hasta la meta, sino que cada paso ha de ser una meta, sin dejar de ser un paso

Johann P. Eckermann

Si quieres ser sabio, aprende a interrogar razonablemente, a escuchar con atención, a responder serenamente y a callar cuando no tengas nada que decir.

Johann Kaspar Lavater (1741-1801) Filósofo, poeta y teólogo suizo

INDICE

INDICE	9
LISTA DE ILUSTRACIONES	12
LISTA DE TABLAS	16
1. CAPITULO I.....	23
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	23
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
1.3 RESUMEN DE OBJETIVOS	26
1.4 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.....	26
2. CAPITULO II.....	31
2.1 INTRODUCCIÓN	31
2.2 ESTRUCTURA DEL CAPÍTULO.....	37
2.3 PROCEDIMIENTOS DE TOMA DE DECISIONES	38
2.3.1 Estado del arte del concepto de Participación.....	38
2.3.2 Estado del Arte de Métodos de Decisión	40
2.4 EL RUIDO COMO FACTOR DE PLANEAMIENTO URBANO.....	43
2.5 EL RUIDO AMBIENTAL URBANO.....	45
2.5.1 Situación.....	45
2.5.2 Normativa y Legislación	47
2.5.3 Conceptos generales	52
2.5.4 Fuentes de ruido ambiental. El medio urbano	53
2.5.5 Indicadores descriptores de ruido.....	55
2.6 EFECTOS DEL RUIDO SOBRE EL SER HUMANO	58
2.6.1 Impacto del ruido en la salud y bienestar social	58
2.6.2 Informe “Burden of disease from environmental noise” (WHO, 2011).....	63
2.7 METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN	64
2.7.1 Metodologías de evaluación objetiva	64
2.7.2 Metodologías de evaluación subjetiva.....	74
2.7.3 Caso particular del análisis de Paisaje Sonoro	77
2.8 POLITICAS DE GESTIÓN	79
2.8.1 Mapas de ruido.....	79
2.8.2 Mapas Estratégicos de Ruido: Directiva EGRA (Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental)	83
2.8.3 Proyecto Harmonoise-Imagine	90
2.8.4 Proyecto CNOSSOS.....	96
2.8.5 Procedimientos de priorización	103
2.8.6 Planes de acción. Medidas correctoras.....	106
2.8.7 Sistemas de gestión de ruido	123
3. CAPÍTULO III	127
3.1 DEFINICIÓN DEL MODELO INTEGRADO DE APOYO EN LA TOMA DE DECISIONES EN LA PLANIFICACIÓN URBANA. CASO PARTICULAR DE LA VALORACIÓN DEL IMPACTO POR RUIDO	127
3.1.1 Contexto y Justificación.....	127
3.1.2 Componentes y Estructura del Modelo.....	134
3.2 A MODO DE CONCLUSIÓN	138
4. CAPÍTULO IV.....	143
4.1 CONCEPCIÓN DEL MODELO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO ACÚSTICO.....	143
4.1.1 Resumen del Modelo	143
4.1.2 Antecedentes e innovación en el concepto.....	143
4.1.3 Ámbito de aplicación	144
4.2 DESARROLLO DEL MODELO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO ACÚSTICO	144
4.2.1 Estructura del modelo	144

4.2.2	Relación de subíndices y abreviaturas empleados en el modelo	147
4.2.3	Definición de la Unidad de Análisis.....	148
4.2.4	Selección de los métodos de cálculo de apoyo al indicador	151
4.2.5	Determinación de la componente objetiva del indicador.....	160
4.2.6	Determinación de la componente subjetiva del indicador para la Unidad de Análisis (UA)	177
4.2.7	Índice de Evaluación de Impacto Acústico (IEIA)	185
4.3	A MODO DE CONCLUSIÓN	186
5.	CAPÍTULO V.....	191
5.1	CONCEPCIÓN DEL MODELO DE PRIORIZACIÓN DE ACTUACIÓN	191
5.1.1	Introducción	191
5.1.2	Antecedentes e innovación en el concepto.....	192
5.2	METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL MODELO DE PRIORIZACIÓN DE ACTUACIÓN.....	194
5.2.1	Modelo Conceptual	194
5.2.2	Modelo de Evaluación	196
5.2.3	Modelo de participación.....	200
5.3	RESULTADO: MODELO DE PRIORIZACIÓN DE ACTUACIÓN	203
5.3.1	Modelo conceptual.....	203
5.3.2	Modelo de evaluación	208
5.4	A MODO DE CONCLUSIÓN	228
6.	CAPÍTULO VI.....	233
6.1	CONCEPCIÓN DEL MODELO DE EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE UN PLAN DE ACCIÓN DE RUIDO	233
6.1.1	Introducción	233
6.1.2	Antecedentes, contexto y justificación.....	234
6.2	METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL MODELO DE EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE UN PLAN DE ACCIÓN DE RUIDO	238
6.2.1	Modelo Conceptual	238
6.2.2	Modelo de Evaluación	239
6.2.3	Modelo de participación.....	239
6.3	RESULTADO: MODELO DE EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE PLANES DE ACCIÓN DE RUIDO	240
6.3.1	Modelo conceptual.....	241
6.3.2	Procesos claves del sistema	244
6.3.3	Modelo de Evaluación	252
6.4	A MODO DE CONCLUSIÓN	268
6.5	CASO DE APLICACIÓN	269
7.	CAPÍTULO VII	275
7.1	OBJETIVO	275
7.2	PRESENTACIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO	275
7.3	IMPACTO ACÚSTICO.....	277
7.3.1	Aplicación del modelo de impacto	277
7.3.2	Valoración de impacto: Mapa de Ruido.....	299
7.3.3	Valoración de impacto: Estudio psicosocial	302
7.3.4	Comparación.....	304
7.3.5	Sensibilidad del modelo.....	305
7.4	PROCESO DE PRIORIZACIÓN	309
7.4.1	Definición de posibles medidas correctoras contra el ruido	310
7.4.2	Análisis de sensibilidad (“Juego de Rol”).....	310
7.5	ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD	311
7.5.1	Presentación de las medidas correctoras propuestas	312
7.5.2	Análisis de sensibilidad (“Juego de Rol”).....	313
8.	CAPÍTULO VIII	317
8.1	CONCLUSIONES	317

8.2	PROPUESTAS DE DESARROLLO FUTURAS	320
9.	CAPÍTULO IX.....	325
9.1	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	325
1.	ANEXO I	341
1.1	SELECCIÓN DE LOS MÉTODOS DE CÁLCULO DE APOYO AL INDICADOR	341
1.1.1	Definición de la emisión acústica de los focos de ruido.....	341
1.1.2	Emisión acústica de los focos de ruido de industria.....	343
1.1.3	Emisión acústica de los focos de ruido de tráfico rodado	345
1.1.4	Emisión acústica de los focos de ruido de ferrocarril	348
1.1.5	Definición del proceso de propagación.....	352
2.	ANEXO II	361
2.1	MÉTODO DE ANÁLISIS: ÁRBOL DE REQUERIMIENTOS	361
2.1.1	Analytic Network Process (ANP) y Analytic Hierarchy Process (AHP)	361
3.	ANEXO III.....	371
3.1	MODELO DE PARTICIPACIÓN	371
3.2	ASPECTOS PRÁCTICOS DEL PROCESO PARTICIPATIVO PROPUESTO	375
3.2.1	Constitución del Grupo de Participación.....	375
3.2.2	Taller 1. Modelo Conceptual	375
3.2.3	Taller 2. Modelo de Evaluación	376
3.2.4	Taller 3. Aplicación práctica del modelo	377
4.	ANEXO IV	381
4.1	RELACIONES ENTRE LOS ELEMENTOS DEL MODELO CONCEPTUAL	381
4.1.1	Relaciones de primer nivel (INTRA).....	381
4.1.2	Relaciones de segundo nivel	383
4.1.3	Relaciones de tercer nivel: entre factores globales de ciudad.....	385
5.	ANEXO V	391
5.1	FUNCIÓN DE VALOR	391
5.1.1	Gestión y Administración.....	391
5.1.2	Estructura Urbana.....	394
5.1.3	Dinámica Territorial.....	398
5.1.4	Dinamismo Económico.....	401
5.1.5	Movilidad	405
5.1.6	Entorno Natural y Cultural	410
5.1.7	Calidad de Vida.....	413
6.	ANEXO VI	421
6.1	REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS PUNTOS DE EVALUACIÓN.....	421
7.	ANEXO VII	431
7.1	OBJETIVO	431
7.2	DATOS DE APLICACIÓN DEL MÉTODO DE PRIORIZACIÓN DE ACTUACIÓN	431
7.2.1	Asignación de pesos o preferencias	431
7.2.2	Valoración de indicadores	437
8.	ANEXO VIII.....	443
8.1	OBJETIVO	443
8.2	DATOS DE APLICACIÓN DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD DE PLANES DE ACCIÓN DE RUIDO.....	443
8.2.1	Asignación de pesos	443
8.2.2	Valoración de indicadores	449
8.3	HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD SISPA-L50.....	461

MODELO INTEGRADO DE APOYO EN LA TOMA DE
DECISIONES EN LA PLANIFICACIÓN URBANA. CASO
PARTICULAR DE LA VALORACIÓN DEL IMPACTO POR
RUIDO

Capítulo I

OBJETIVOS Y ALCANCE

“Para quien tiene miedo, todo son ruidos”

Sófocles