

## MODELIZACIÓN DEL CAMPO SONORO EN AMBIENTES URBANOS BAJO PREDICTOR V.6

PACS: 43.50.Yw

Salguero Monago, Miguel Ángel; Gómez Escobar, Valentín; Barrigón Morillas, Juan Miguel  
Universidad de Extremadura; Escuela Politécnica. Departamento de Física.

Avda. de la Universidad, s/n

10071 Cáceres, España.

Tel.: 34 927 257 195; Fax: 34 927 257 203.

salguero.miguelangel@gmail.com; valentin@unex.es; barrigon@unex.es

### ABSTRACT

Desde hace algunos años han aparecido en el mercado herramientas para el modelado acústico de entornos urbanos. Estas herramientas permiten crear una réplica informática del entorno con unas características físicas ajustables por el usuario. En este trabajo se presenta el modelado de una zona de la ciudad de Cáceres, elaborado con Predictor v.6. Se estudian los elementos del programa para poder obtener unas directrices o indicaciones que guíen al usuario a la hora de realizar una simulación de calidad. También se proporcionan datos sobre la incertidumbre y las variaciones en los tiempos de cálculo al modificar cada parámetro.

### RESUMEN

In recent years have appeared on the market many tools for acoustic modelling of urban environments. These tools make possible to create an informatic replica of the environment with user-adjustable physics characteristics. This paper presents the modelling of an area of the city of Cáceres, produced with Predictor v.6. It explores the elements of the program to get directions or guidelines to guide the user when performing a good simulation. It also provides data about uncertainty and changes in the processing time when each parameter gets modified.

### 1. INTRODUCCIÓN

Dentro de la preocupación por el ruido ambiental, la determinación de los niveles sonoros a los que está sometida la población se suele llevar a cabo mediante dos métodos diferenciados. Por un lado, la realización de medidas del entorno permite conocer de forma precisa el nivel sonoro en una determinada localización, durante un cierto periodo (el correspondiente a la medida); obviamente, la extensión de este conocimiento a otros lugares o a otros periodos implica un esfuerzo importante en equipamiento y recursos. Por otro lado, el desarrollo informático de las últimas décadas ha permitido que el uso de software de predicción sonora se presente como una alternativa a la realización de medidas. En este sentido, las herramientas de predicción sonoras suponen un paso adelante a la hora de la realización de mapas de ruido en entornos urbanos, mejorando, generalmente, los costes y los tiempos asociados.

La utilización de software de precisión debe basarse en una profunda formación acústica, ya que es preciso que éste sea capaz de elegir entre las diferentes opciones que el software permite. En este sentido, una adecuada selección de los diferentes parámetros de cálculo asociado al software de simulación puede implicar una optimización de los tiempos empleados en la elaboración y procesado de los modelos sin una variación relevante en los valores de los niveles obtenidos.

En este trabajo se pretenden analizar las diferentes opciones de modelado y cálculo de un determinado software de predicción (Programa Predictor™, en su versión 6.0, de la empresa Brüel & Kjaer) analizando la variaciones que se producen en los resultados y en el tiempo de cálculo.

Para la consecución del objetivo mencionado, se ha tomado una zona pequeña (1 km<sup>2</sup>) de la ciudad de Cáceres y se ha modelado en Predictor™ en dos modelos diferentes: uno bajo la normativa ISO 9613 1/2[1] y otro bajo NMPB-routes-96[2]. Se han establecido unas condiciones de referencia y, a partir de ellas, se han ido variando de forma progresiva cada uno de los parámetros que afectan a la simulación.

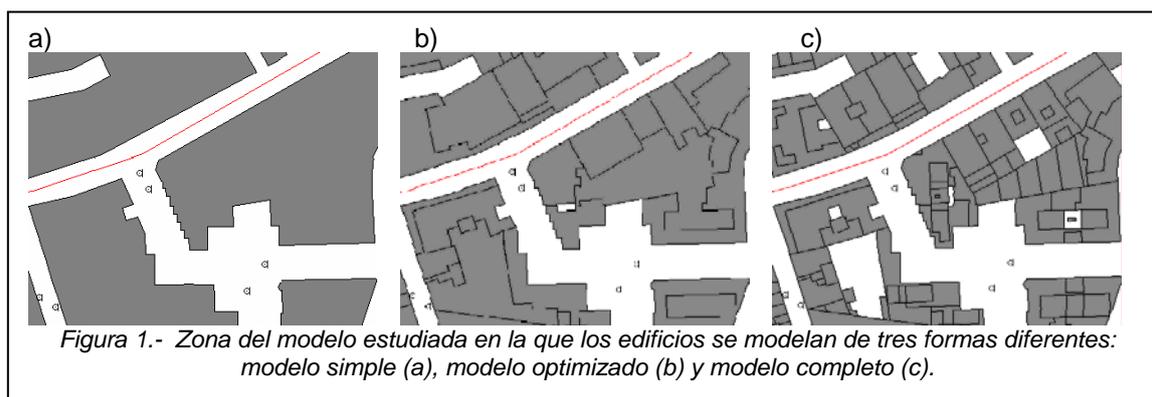
## 2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

La cartografía inicial de la ciudad fue transformada a un formato adecuado para su importación por el programa Predictor™. Una vez hecho esto, se procedió a la importación de los diferentes elementos del modelo. Así, se procesó la información de terreno (curvas de nivel y cotas), zonas verdes, edificios y, finalmente, calles. Los datos de tráfico de las calles (tipo de vehículos y caudal de los mismos) se obtuvieron de datos previos del Laboratorio de Acústica.

Una primera decisión que se debe abordar es el grado de detalle que deseamos tener en los elementos del modelo. En este sentido el nivel de detalle en las curvas de nivel, cotas, edificios, etc. podría ser relevante en los resultados y tiempos de cálculos de la simulación. En este trabajo se optó por incluir el detalle de los edificios como uno de los factores en estudio y, así, se realizaron, respecto a los edificios, tres alternativas diferentes:

- ☒ **MODELO SIMPLE:** Se representan los contornos exteriores de los grupos de edificios con una altura que será el promedio de las alturas de ese bloque concreto. Es el más simple y el que menos polígonos tendrá.
- ☒ **MODELO OPTIMIZADO:** Trata de representar los edificios con la mayor fidelidad posible pero reduciendo al mínimo el número de polígonos. Se utiliza fielmente la cartografía y sólo se eliminan los segmentos que separan zonas que tienen la misma altura sobre el suelo (número de plantas) y los huecos (patios interiores), con ello, se reduce el número de polígonos sin afectar demasiado a la acústica de los edificios.
- ☒ **MODELO COMPLETO:** Es el modelo más fiel a la realidad, puesto que es una copia idéntica de la cartografía empleada.

En la figura 1, se muestra una determinada zona del modelo estudiado, en la que los edificios se han representado con cada una de las tres alternativas mencionadas.



En la figura 2, se presenta toda la zona de la Ciudad de Cáceres que se ha analizado en este trabajo (modelo simple), indicando en la misma los diferentes receptores que se han seleccionado para el estudio.

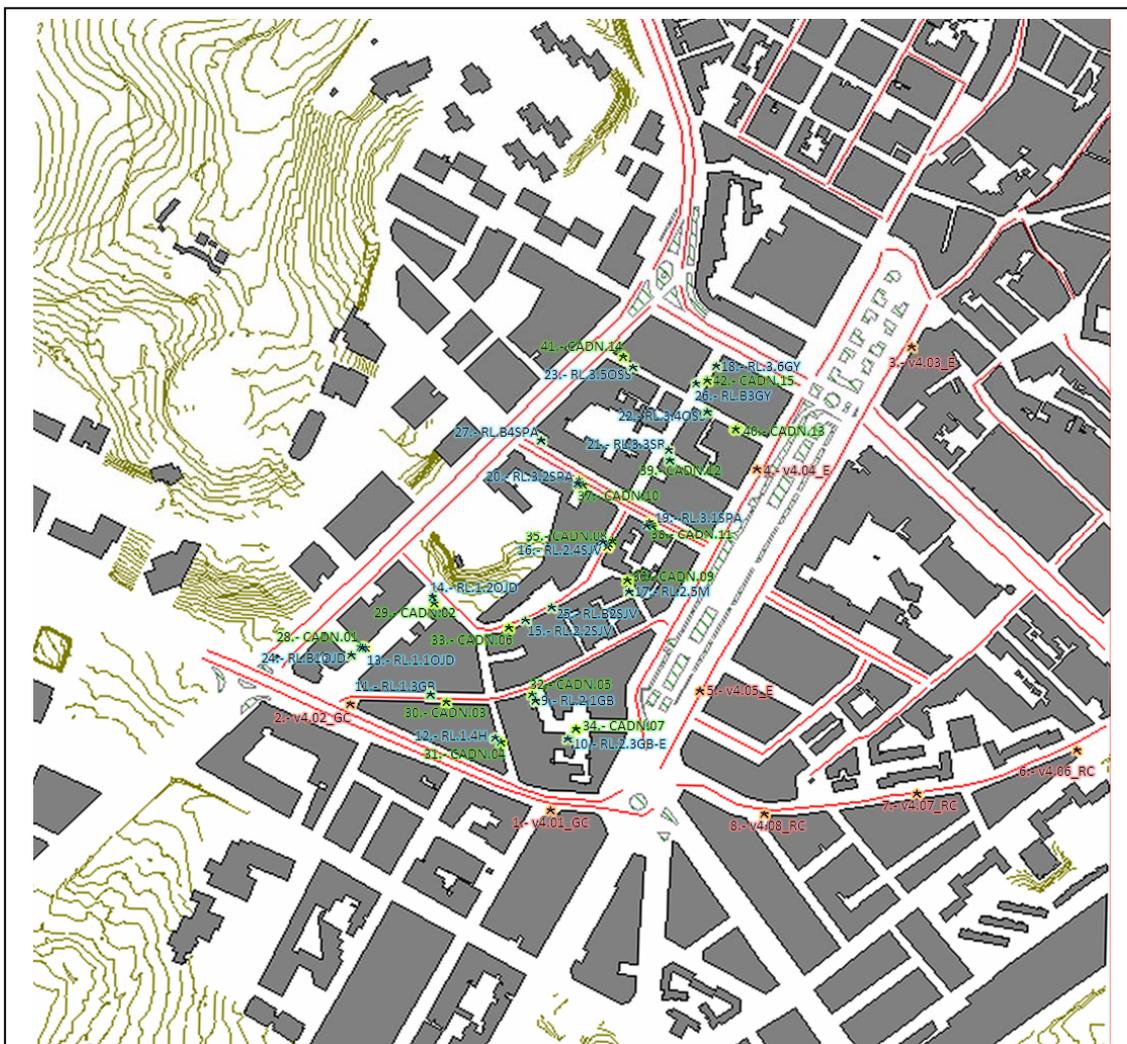


Figura 2.- Modelo (simple) de la zona centro de Cáceres que se ha estudiado con los distintos receptores analizados.

### 3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Sobre los tres modelos creados (simple, optimizado y completo) se han realizado diferentes simulaciones variando diferentes parámetros configurables en el cálculo. Para analizar los resultados se han distribuido por el modelo diferentes puntos receptores individuales (representados en la figura 2).

La modelización sonora del entorno se ha llevado a cabo mediante dos normas diferentes:

- ✓ Bajo la denominación XPS 31-133, el programa predictor aplica la norma francesa XP S31-133 (Bruit des infrastructures de transports terrestres) [3] y el método computacional nacional francés para la propagación del ruido generado por el tráfico rodado (NMPB96) [2]. En adelante, este método se denominará *norma NMPB*.

- ✓ Bajo la denominación ISO 9613 1/2 carreteras, que en adelante denominaremos simplemente *norma ISO*, el programa realiza los cálculos de propagación sonora de acuerdo a la normas ISO 9613.1 e ISO 9613.2, mientras los cálculos de emisión de la fuente (la carretera) se hacen de acuerdo a la norma holandesa de carreteras (RMV.SRM2: Standard rekenmethode 2 van het Reken en Meetvoorschrift Verkeerslawaaai)

La modelización bajo la norma ISO no permite modificar el número de reflexiones del modelo (está establecido en una), mientras que la norma NMPB permite variar este número de reflexiones y éste se incluyó entre los parámetros a estudiar (si bien, la variación se limitó sólo a una o dos reflexiones, pues más reflexiones elevaban excesivamente el tiempo de cálculo).

#### 4. RESULTADOS

Como referencia para el estudio que se presenta se ha calculado en los receptores analizados el valor del nivel día-tarde-noche ( $L_{den}$ ) [4-5]. Para cada variación del parámetro estudiado, se ha medido el tiempo de cálculo y se presenta en las tablas como el porcentaje del tiempo respecto a las condiciones de referencia. Además se presenta, respecto al valor de  $L_{den}$  de referencia, la diferencia media obtenida y la diferencia máxima encontrada.

En primer lugar, en la tabla 1, se presentan los resultados obtenidos de las simulaciones en las que se varió el modelo de edificios. Se ha tomado como referencia el modelo completo, al ser el que presenta más complejidad.

Complejidad del modelo de edificios	Norma	Diferencia media [dBA]	Diferencia máxima [dBA]	Tiempo del modelo de referencia (hh:mm)	Tiempo cálculo
Modelo optimizado	ISO	0,68	2,10	1:01	62%
	NMPB (1 reflexión)	0,27	1,00	0:06	50%
	NMPB (2 reflexiones)	0,25	1,10	0:49	35%
Modelo simple	ISO	0,77	2,13	1:01	15%
	NMPB (1 reflexión)	0,45	1,20	0:06	17%
	NMPB (2 reflexiones)	0,51	2,24	0:49	4%

Tabla 1 – Resultado del estudio de la complejidad en el modelado de los edificios.

Como se aprecia, el modelo optimizado presenta un ahorro entre el 35y el 62% en el tiempo de cálculo, según el modelo de cálculo utilizado, con variaciones promedios inferiores a 0,3 dBA para la norma NMPB y con un valor superior para lo norma ISO. Respecto al modelo simple, las reducciones en tiempo son superiores (mayores al 80% en todos los casos), con valores promedios en la diferencia del  $L_{den}$  respecto al valor de referencia inferiores en todos los casos a 0,8 dBA. No obstante, es importante precisar que, a pesar de la mejora en el tiempo de cálculo, en algunos receptores se han encontrado diferencias superiores a 2 dBA, como se aprecia en la tabla 1.

En segundo lugar, usando el modelo optimizado, se ha analizado como influye en los resultados la simplificación que el programa utiliza (se establecen tres niveles: mínima, normal y agresiva). En la Tabla 2 se muestran los resultados:

Simplificación del programa	Norma	Diferencia media [dBA]	Diferencia máxima [dBA]	Tiempo cálculo
Mínima	ISO	0,08	0,22	100%
	NMPB (1 reflexión)	0,00	0,02	100%
	NMPB (2 reflexiones)	0,00	0,01	100%

Normal	ISO	0,09	0,25	97%
	NMPB (1 reflexión)	0,00	0,04	100%
	NMPB (2 reflexiones)	0,01	0,30	94%
Agresiva	ISO	0,13	0,55	89%
	NMPB (1 reflexión)	0,06	0,62	100%
	NMPB (2 reflexiones)	0,07	0,47	76%

Tabla 2 – Resultado del estudio de la simplificación del programa en el modelo optimizado.

Como se puede apreciar en la Tabla 2, se puede lograr una reducción significativa del tiempo de cálculo (hasta del 24%) realizando la opción de simplificación que permite el programa, sin diferencias medias grandes y con diferencias máximas que nunca superaron el decibelio.

El siguiente parámetro que se estudió fue el número de reflexiones. Para este estudio se utilizó el modelo simple. Los resultados se muestran en la Tabla 3, en la que se ha tomado como referencia el valor y el tiempo obtenidos para un factor de reflexión 4 (el tiempo de cálculo para este modelo de referencia fue de 3 horas y 12 minutos). Como se indicó antes, el orden de reflexión sólo se puede modificar bajo norma NMPB.

Número de reflexiones	Norma	Diferencia media [dBA]	Diferencia máxima [dBA]	Tiempo cálculo
3	NMPB	0,20	0,66	4,69%
2	NMPB	0,56	1,81	1,04%
1	NMPB	1,31	3,38	0,52%

Tabla 3 – Resultado de reducir el número de reflexiones respecto a un orden de reflexión 4.

Como puede apreciarse, la reducción de los tiempos cálculo es muy importante (95% y 99%, respectivamente, si usamos un orden de reflexión 3 o 1 en lugar de 4). Es importante precisar que, respecto a un orden de reflexión 4, al usar un orden de reflexión 1, que es el que está establecido por defecto, se encuentran importantes diferencias puntuales (la diferencia máxima entre los valores de  $L_{den}$  fue mayor de 3 dBA) y una diferencia promedio apreciable (1,3 dBA, como se ha mostrado en la Tabla 3)

En la tabla 4 se muestra la influencia de la variación del radio de búsqueda de fuentes. Dado que se han utilizado muchas opciones, se indica el rango de estudio. Hay que indicar que las conclusiones que se puedan extraer de los resultados de este parámetro deben estar, necesariamente, muy limitadas por el tamaño del modelo que se ha utilizado.

Radio de Búsqueda	Rango de estudio	Norma	Diferencia media [dBA]	Diferencia máxima [dBA]	Tiempo cálculo	Nº de reflex
ISO	1000-100	ISO	0,03	0,16	22%	1
NMPB	1000-100	NMPB	0,55	1,96	50%	2

Tabla 4 – Influencia del radio de búsqueda sobre los resultados y tiempos de cálculo.

Por último, se han analizado otros parámetros de la configuración del programa que si bien no influyen de forma importante en el tiempo de cálculo, la variación en sus valores puede afectar de forma importante a los valores obtenidos de  $L_{den}$ . Algunas variaciones relevantes se muestran en la Tabla 5.

Otros parámetros	Rango de estudio	Norma	Diferencia media [dBA]	Diferencia máxima [dBA]	Nº de reflex.
Absorción de edificios	0-1	ISO	3,27	8,37	1
		NMPB	2,69	6,26	1

Absorción general del terreno	0-1	ISO	4,69	6,34	1
		NMPB	2,18	4,75	1
Absorción de zonas verdes	0-1	ISO	0,04	0,27	1
		NMPB	0,03	0,13	1
Corrección por gradiente	0 - 8%	ISO	3,00	3,00	1
Pendiente (Método 1)	<2% - >6%	NMPB	1,80	2,07	2
Pendiente (Método 2)	H, asc, desc	NMPB	2,57	2,98	2
Tipo de vía (Método 1)	3 tipos	NMPB	1,60	1,95	2
Tipo de vía (Método 2)	4 tipos	NMPB	5,43	7,25	2
Corrección meteorológica	0 - 10	ISO	2,51	7,58	1

Tabla 5 – Influencia de otros parámetros.

Como puede apreciarse, en algunos de los parámetros, las diferencias en ciertos receptores son importantes. Incluso, en algunos casos, es muy relevante la diferencia promedio encontrada.

## 5. CONCLUSIONES

Del estudio que se presenta y con las limitaciones que presenta tanto en el tamaño, como en otras características de modelo estudiado (normas de cálculo empleada, tipo de fuentes sonoras, etc.), se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- ✓ Se puede realizar un trabajo previo a la simulación mediante el cual se simplifiquen las geometrías de los edificios de forma que, con una importante reducción en los tiempos de cálculos, no se produzcan importantes variaciones en los valores de los niveles sonoros calculados.
- ✓ El número de reflexiones empleadas afecta de forma importante tanto a los tiempos de cálculo como a los valores sonoros calculados en los receptores.
- ✓ Existen otros parámetros con un cierto rango de variación en los que en función del valor que se asigne, los resultados de los valores sonoros pueden variar de forma importante.

Como conclusión final nos gustaría indicar que, en el modelo empleado, queda clara la importancia de los valores que sean asignados a los parámetros del modelo informático tanto en los resultados que se obtienen en la predicción como en los tiempos de cálculos. Se pueden lograr importantes reducciones en los tiempos de cálculo sin pérdidas relevantes de calidad en los resultados obtenidos.

## Referencias

- [1] ISO 9613-1 (1993) y ISO 9613-2 (1996). "Acoustics-Attenuation of sound during propagation outdoors". "Part 1: calculation of the absorption of sound by the atmosphere". "Part 2: General method of calculation".
- [2] NMPB-Routes-96. "Bruit des infrastructures routières. Méthode de calcul incluant les effets météorologiques".
- [3] XP S31-133 (Bruit des infrastructures de transports terrestres) (AFNOR France, abril 2001)
- [4] Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental (Diario Oficial de la Comunidades Europeas de 18 de julio de 2002).
- [5] Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.