



## RESTAURACIÓN Y REHABILITACIÓN ACÚSTICA EN LA ARQUITECTURA PATRIMONIAL (realidad o mito de los modelos)

Reference PACS: 43.55.Ka

**Daumal i Domènech, Francesc**

*Universidad Politécnica de Cataluña*  
Avda. Diagonal 649, 08028 BARCELONA, SPAIN  
[francesc.daumal@upc.edu](mailto:francesc.daumal@upc.edu)

### ABSTRACT

Virtual reality techniques, simulation, auralization, subjective and objective assessment methodology of real and virtual environments, are some of the words used while introducing this ISVA seminar.

If we combine them with the others such as predictive modeling, rendering, geographic information systems, strategic noise maps, room soundproofing, parameters of acoustic quality on rooms, both indoors and outdoors, including cities and territories, we can finally predict, see and hear the new project sound, as well as its application to restoration and rehabilitation of all assets.

But is it true? Is this lawful? Is that enough?

### RESUMEN

Técnicas de realidad virtual, simulación, auralización, metodologías de evaluación subjetiva y objetiva de entornos reales y virtuales, son algunas de las palabras utilizadas en la introducción del prospecto de este Seminario ISVA.

Si además las unimos con otras como modelos predictivos, renderización, sistemas de información geográfica, mapa estratégico de ruido, aislamiento entre locales, parámetros de calidad acústica de salas, tanto en espacios interiores como exteriores, incluso ciudades y territorios, finalmente podemos predecir, ver y escuchar la acústica de nueva planta, así como la aplicable a la restauración y rehabilitación de todo el patrimonio.

¿Es esto cierto? ¿Es esto lícito? ¿Es esto suficiente?

### 1. LA LEGISLACIÓN

En general, los programas adolecen de transparencia. Casi nunca se sabe exactamente cuáles son los algoritmos utilizados para cada paso. Ello puede incluso provocar cierta indefensión en el ámbito jurídico. En un recurso contencioso administrativo contra la administración que los utilice, la parte actora difícilmente pueda rebatir los argumentos de apertura de una nueva carretera o vía férrea, si esta se ha basado en un sistema predictivo informático hermético o cerrado.

Desde que la directiva 2002/49/CE obliga a los estados miembros de la Unión Europea a realizar estudios de acústica ambiental en los grandes ejes viarios cada estado, en estos se han diseñado y desarrollado su propia metodología de acuerdo con las directrices estatales, autonómicas y locales que han aparecido posteriormente.

A continuación se acompañan algunas leyes solamente para dar idea de la vorágine legislativa a la que nos hemos visto bombardeados (para la defensa de nuestro Medio Ambiente, por supuesto), pero algunas de ellas son repetitivas o con difícil lectura y concreción.

Para la evaluación ambiental, y la protección frente al ruido, en particular para Cataluña tenemos:

#### Legislación para la evaluación del impacto ambiental

##### a) *Ámbito europeo*

###### **Directiva 2001/42/CE**

*Directiva 2001/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de junio, relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.*

Publicada en el núm. 197 del Diario Oficial de las Comunidades Europeas de fecha 21 de julio de 2001 (páginas 30 – 37).

##### b) *Ámbito estatal*

###### **Ley 9/2006**

*Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.*

Publicada en el núm. 102 del Boletín Oficial del Estado de fecha 28 de abril de 2006 (páginas 16820 – 16830).

###### **Real Decreto Legislativo 1/2008**

*Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.*

Publicada en el núm. 23 del Boletín Oficial del Estado de fecha 26 de enero del 2008 (páginas 4986 – 5000).

###### **Ley 6/2010**

*Ley 6/2010, de 24 de marzo, de modificación del texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero.*

Publicada en el núm. 73 del Boletín Oficial del estado de 25 de marzo de 2010 (páginas 28590 – 28597).

##### c) *Ámbito autonómico*

###### **Decreto 114/1988**

*Decret 114/1988, de 7 d'abril, d'avaluació d'impacte ambiental. Publicado en el núm. 1000 del Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya de fecha 3 de junio de 1988 (páginas. 2357 – 2358).*

###### **Decreto 136/1999**

*Decret 136/1999, de 18 de maig pel qual s'aprova el Reglament General de Desplagament de la LLei 3/1998, de 27 de febrero, de la Intervenció Integral de l'Administració Ambiental, i se n'adapten els seus annexos.*

Publicado en el número 2894 del Diario Oficial de la Generalitat de Catalunya de fecha 21 de mayo de 1999 (página 6883).

###### **Ley 12/2006**

*Llei 12/2006, del 27 de juliol, de mesures en matèria de medi ambient.*

Publicada en el número 4690 del Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya de fecha 3 de agosto de 2006 (páginas 34423 – 34431).

###### **Ley 6/2009**

*Llei 6/2009, del 28 d'abril, d'avaluació ambiental de plans i programes.*

Publicada en el número 5374 del Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya de fecha 7 de mayo de 2009 (páginas 37154 – 37177).

###### **Ley 20/2009**

*Llei 20/2009, del 4 de desembre, de prevenció i control ambiental de les activitats.*

Publicada en el número 5524 del Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya de fecha 11 de noviembre de 2009 (páginas 93055 – 93114).

#### Legislación para la evaluación del ruido

##### a) *Ámbito europeo*

###### **Directiva 89/106/CEE**

*Directiva 89/106/CEE "Protección frente al ruido".*

Bruselas 23/07/2001

### **Directiva 2001/49/CE**

*Directiva 2001/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.*

Publicada en el núm. 189 del Diario Oficial de las Comunidades Europeas de fecha 18 de julio de 2002 (páginas 12 – 25).

### **Directiva 2002/49/CE**

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

Bruselas 10/03/2004

#### *b) Ámbito estatal*

### **Ley 37/2003**

*Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.*

Publicada en el núm. 276 del Boletín Oficial del Estado de fecha 18 de noviembre del 2003 (páginas 40494 – 40505).

### **Real Decreto 1513/2005**

*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.*

Publicado en el núm. 301 del Boletín Oficial del Estado de fecha 23 de octubre de 2005 (páginas 41356 – 41363).

### **Real Decreto 1367/2007**

*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.*

Publicado en el núm. 254 del Boletín Oficial del Estado de fecha 23 de octubre de 2007 (páginas 42952 – 42972).

#### *c) Ámbito autonómico*

### **Ordenanza Municipal tipo reguladora del ruido y las vibraciones**

*Ordenança Municipal "Tipus" reguladora del soroll i les vibracions.*

Publicada en el núm. 2126 del Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya en fecha de 10 de noviembre de 1995.

### **Ley 16/2002**

*Llei 16/2002, de 28 de juny, de protecció contra la contaminació acústica, publicada en el núm. 3675 del Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya de fecha 11 de julio de 2002 (páginas 12639 – 12649).*

### **Decreto 245/2005**

*Decret 245/2005, de 8 de novembre, pel qual es fixen els criteris per a l'elaboració dels mapes de capacitat acústica.*

Publicado en el núm. 4507 del Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya de fecha 10 de noviembre de 2005 (páginas 36205 – 36207).

### **Decreto 176/2009**

*Decret 176/2009, de 10 de novembre, pel qual s'aprova el Reglament de la Llei 16/2002, de 28 de juny, de protecció contra la contaminació acústica, i se n'adapten els annexos.*

Publicado en el núm. 5506 del Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya de fecha 16 de noviembre de 2009 (páginas 85734 – 85797).

#### *d) Ámbito local*

Respecto al ámbito local, remitimos a la ordenanza, bando, etc. de cada población específica.

## **2. NECESIDAD DE LOS MÉTODOS DE PREVISIÓN**

Debemos estar de acuerdo en que, desde el punto de vista Técnico, los métodos de previsión son muy versátiles, puesto que son capaces de determinar los niveles sonoros de fuentes conocidas, (como por ejemplo el tráfico) o incluso de otros simulados. Además sus menores costes y su mayor fiabilidad nos llevan a preferirlos a la hora de proceder a la evaluación del ruido del aislamiento acústico de los edificios y de la acústica de recintos. Han demostrado ser de gran utilidad y algunos de ellos se han aplicado en una amplia gama de situaciones extremas.

Los métodos de previsión basados en el cálculo, parten del conocimiento de las teorías de emisión y propagación del sonido, que, como ya sabemos, son sumamente debatidas en todos los foros nacionales e internacionales. Los programas comerciales, a su vez, permiten calcular muchos parámetros a través de la simulación de situaciones reales o predecibles mediante modelos. Algunos son llamados métodos de carácter semiempírico, ya que combinan resultados experimentales con fórmulas de cálculo.

### LOS MODELOS PREDICTIVOS INFORMATIVOS

Puede decirse que un modelo predictivo es una representación de una realidad compleja, que puede responder a un esquema teórico, y que se elabora para estudiar su comportamiento y anunciar o conjeturar lo que en determinadas condiciones ha de suceder.

### 3. LOS PARÁMETROS NECESARIOS EN EL TERRITORIO Y LA CIUDAD

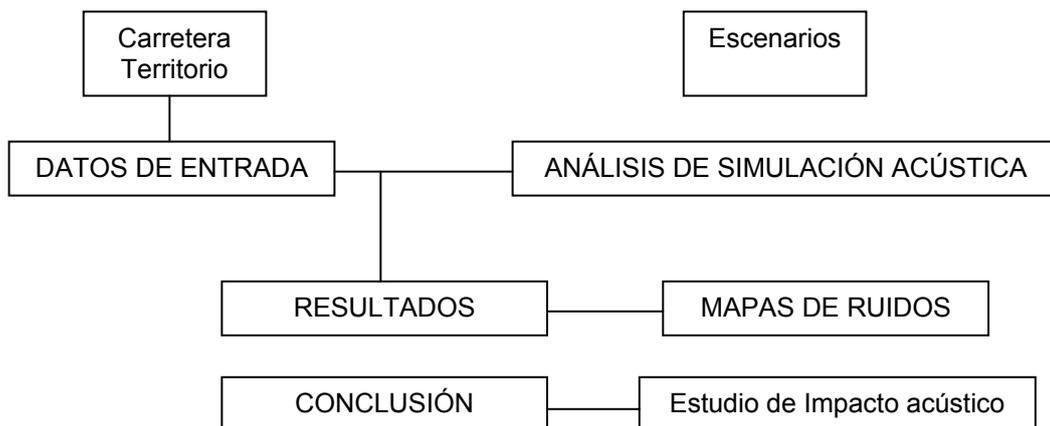
Los parámetros que se presentan como factores implicados en la simulación son la descripción topográfica del lugar, la definición de la carretera, las características de las fuentes y el análisis de difusión del sonido en su propagación.

Los conceptos acústicos generales que intervienen en la simulación son el entorno de la carretera, el efecto de los obstáculos, el tipo de pavimento, la anchura de la plataforma, el perfil longitudinal de la carretera, la sección transversal de la carretera, el trazado de la planta de la carretera, la velocidad media de tráfico, la intensidad de tráfico y el ruido de una carretera.

Y por último, las unidades estándares de medición de uso son los niveles equivalentes sonoros expresados en dB(A), relativos a la emisión y a la inmisión sonora de un objeto, y los periodos de estudio.

Como vemos, en el territorio y en la ciudad, debe realizarse una gran recopilación de los datos sobre el terreno, tanto de las fuentes de emisión como de los obstáculos existentes, completándolos y verificándolos con una campaña de campo iniciada a través de un reconocimiento in situ muy exhaustivo, y en épocas y horarios distintos. Posteriormente se introducen los datos obtenidos de acuerdo a las hipótesis simplificadoras, en un modelo de predicción acústico cuyos datos se explotan por medio de una herramienta GIS para obtener finalmente el conjunto de mapa de ruidos resultantes.

Un esquema inicial puede ser el siguiente:



Normalmente se predicen tres escenarios; inicial, futuro y el de variabilidad.

En el escenario inicial, los parámetros principales acostumbra a ser el Mapa de emisión Ldía, Mapa de emisión Lnoche, Mapa de inmisión Ldía y Mapa de inmisión Lnoche.

El escenario futuro, se repiten para presentar el Mapa de emisión Ldía, Mapa de emisión Lnoche, Mapa de inmisión Ldía y Mapa de inmisión Lnoche.

Y por último, para el Escenario variable, la variabilidad puede producirse en el propio escenario, territorio o ciudad, o bien en sus fuentes por acontecimientos puntuales como eventos (fiestas mayores, pirotecnias, etc) u otras causas incluso impredecibles. En este caso también se muestran los Mapas de emisión Ldía, Mapas de emisión Lnoche, Mapas de inmisión Ldía y Mapas de inmisión Lnoche.

A continuación se describen algunos de los programas utilizados para la simulación acústica en el territorio y la ciudad. Obviamente no vamos a enumerarlos a todos, ni para el territorio y ciudad, ni en el edificio, ni en el local, ni en sonorización, ni en arte sonoro, ni en ...

Como profesor advierto que si alguna casa comercial encuentra a faltar alguno de sus productos, le atenderé gustosamente para próximas conferencias (Los jamones bellota 5 jotas, gracias).

#### **PREDICTOR TYPE 7810**

Es un software de simulación acústica que cumple con los requisitos expresados en la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, y permite la evaluación y gestión del ruido ambiental. Sirve perfectamente para la predicción normalizada de niveles sonoros ambientales en exteriores y su modelización mediante la integración de los diversos datos referidos a fuentes de ruido existentes, receptores, características del terreno, modelización de obstáculos, etc.

#### **STANDARD XPS 31 – 133**

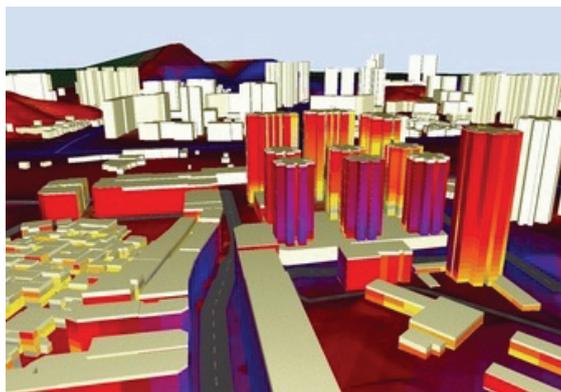
Para la simulación de la generación y propagación del Ruido de Tráfico Rodado, algunos estudios utilizan este método de cálculo, que cumple con:

- *Emission model: guide du Bruit des transports terrestres (Ministère des transports France, Novembre 1980)*
- *Propagation model: NMPB – Route – 96 French national computation method for the propagation of Road traffic Noise (SETRA, CERTU, LCPC, CSTB).*

#### **CadnaA**

El software DATAKUSTIK CadnaA permite la gestión de la inmisión de ruido de acuerdo con las normativas nacionales e internacionales, incluyendo los países que emplean los métodos recomendados por la Directiva 2002/49/CE (En España transpuesta en la Ley de Ruido 37/2003).

Con la utilización de CadnaA, se pueden modelizar todo tipo de emisores acústicos (industria, tráfico rodado, tráfico ferroviario, etc.), siendo una herramienta fundamental para proyectos urbanísticos y estudios de Impacto Ambiental (EIA), según Ley de Ruido 37/2003 y Decretos 1513/2005 y 1367/2007. Además, permite la realización de mapas estratégicos de ruido en aglomeraciones según las prescripciones de la Ley 37/2003 de Ruido Ambiental.



Para mapas acústicos de industrias, el CadnaA permite la introducción de datos de emisión y absorción de máquinas, aislamientos e instalaciones industriales completas. De esta forma, los datos de los fabricantes de maquinaria pueden ser importados a su base de datos global. Si no se disponen de datos de potencia, puede estimarse a partir de un nivel de presión sonora a una determinada distancia, o a partir de un nivel interior medido en un recinto industrial cerrado. A su vez permite la importación y exportación de más de 30 formatos diferentes y el intercambio de base de datos ODBC para importación de datos tales como: Ms-EXCEL, Ms-ACCESS, dBASE, Paradox, Visual Fox-Pro, SQL, etc.

Como vemos, es un software de predicción y evaluación del ruido ambiental, potente y sencillo de utilizar, que permite la elaboración de mapas de impacto acústico y mapas estratégicos.

El programa CadnaA (Computer Aided Design Noise Abatement) se comercializa por Datacustik GmbH Greifenberg, y en España por Alava Ingenieros. Siendo un simulador acústico (en realidad es un SIG limitado), que está capacitado para hacer interpolaciones acústicas sobre el terreno.

Este programa se utiliza para modelizar el territorio municipal y el nuevo recorrido de carreteras, instalaciones de transporte aéreo, etc., con el objetivo de conseguir simulaciones de ruido a lo largo de la zona afectada y poder llegar a hacer mediciones y comparaciones posteriores entre diferentes escenarios. Al parecer puede llegar a tratar todas la fachadas de hasta 16.000.000 de edificios en un mismo estudio, y pueden obtenerse fácilmente los valores estadísticos de impacto acústico en la población de acuerdo con la Directiva Europea 2002/49 CE, sin necesidad de introducir datos adicionales.

CadnaA está capacitado para recoger diferentes tipos de extensiones de archivos georeferenciados y permite la superposición entre ellos. Este tipo de estudios requiere de una gran cantidad de cartografía muy precisa y densa. Los archivos que se generan pueden ser exportados a una amplia gama de programas. En este aspecto este programa resulta ser muy completo puesto que es capaz de leer información de extensiones tipo Autocad, ArcView, Mapinfo, AtlasGIS, etc. Del mismo modo los diferentes programas señalados también son capaces de entender los resultados de este programa.

Obviamente, el programa requiere de información 3D para su simulación. Los cálculos que realiza son exclusivamente acústicos aunque su capacidad de desarrollar los mapas en cuando a calidad son limitados.

#### **EL ARCGIS**

Se utiliza el software ArcGIS versión 9 desarrollado por la empresa ESRI, porque incorpora numerosas herramientas para elaborar mapas con calidad y sobre todo porque es capaz de entender toda la información que desarrolla el programa Datakustic.

Mediante ArcMap se diseñan las salidas de los mapas resultantes de los valores acústicos con una buena calidad (en leyendas, norte, escalar, colores, símbolos, etc.). Por otro lado gracias al ArcMap se puede solapar información y valores acústicos con ortofotos que permiten acercarnos más al entendimiento del territorio y mejorar la calidad de los planos resultantes.

#### **MODELO DIGITAL DEL TERRENO**

Se utiliza la cartografía, a escala 1:10.000 y curvas de nivel cada 10 metros con la que se abarca por completo el ámbito de algunos estudios.

#### 4. LOS PARÁMETROS NECESARIOS EN EL EDIFICIO. EL CUMPLIMIENTO DEL DB-HR EN LA OBRA NUEVA, LA RESTAURACIÓN Y LA REHABILITACIÓN

Como comenta mi amigo David Casadevall:

Existen dos tipos de software: **los gratuitos y los de pago**. Los de pago existen de hace tiempo y una de los más completos es el **Acoubat-dBMat**. Permite un diseño geométrico del recinto o de las superficies que tenemos que calcular, tiene una base de datos de más de 400 materiales y lo más importante se puede ir actualizando.

Otro software de reconocido prestigio, es el que ofrece la marca **Cype**. El módulo de CYPE. Es una opción barata y que no hace falta tener los otros módulos de Cype.

Otro programa realizado en España, es el **Sonarchitect**.

**NoiseCad** de MC4Software, es otra opción. Calcula según la UNE 12354-1,2,3. Calcula en DB y no en DBA tal y como cita el CTE.

**INSUL** es otro programa de pago, que predice el aislamiento acústico de nuestros edificios. Ha sido desarrollado basándose en modelos teóricos simples, sólo requiere obtener información de la construcción.

El **dBKAisla 2.0** es un programa de cálculo de predicción de aislamiento acústico adaptado al CTE DB-HR. Ha sido realizado por la Ingeniería para el control del ruido, ubicada en Barcelona. Basado en predicciones teóricas, permite calcular fácilmente el aislamiento acústico mediante las vías de transmisión laterales.

**BASTIAN** es un programa muy conocido y de mucho prestigio, con lo que nos lleva a un precio elevado. Calcula la transmisión sonora aérea y de impacto, tanto en edificios como en espacios abiertos. Los cálculos están basados en las normativas europeas, ya que su origen es alemán.

Los softwares gratuitos están relacionados directamente con marcas comerciales. El aparejador **Josep Solé**, Director Técnico de Ursa Ibérica Aislantes y todo un referente en la comunidad acústica, ha colgado en su web dos programas para poder calcular a través de los dos métodos que nos propone el DB-HR. Son programas muy intuitivos y de fácil manejo

Yo debo decir que conozco personalmente a David, y su trabajo siempre me ha resultado de confianza.

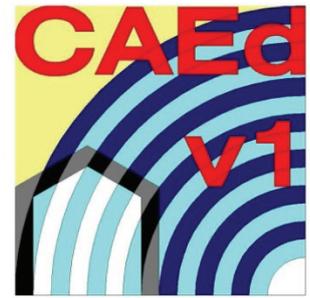
Otro programa gratuito es el que investigadores de la Universidad Politécnia de Gandía han creado para Chova. Se llama **ChovACUSTIC SOFT** y se está repartiendo a través del mail de su web. Sencillo y con un bonito resultado.

La empresa Saint Gobain Placo Ibérica proporciona en su página web una interesante herramienta online para la justificación de los requisitos de aislamiento acústico del Documento Básico DB-HR del Código Técnico de la Edificación. Su nombre es Placo DB HR y su uso es totalmente libre y gratuito, aunque requiere registro mediante una cuenta de correo electrónico. Se encuentra disponible en la siguiente dirección: <http://www.placo.es/placodbhr/>

#### ACOUBAT

En el año 2.008 realicé una serie de comentarios a este programa por encargo del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España (CSCAE), que transcribo ahora sin alterarlos

- No es meramente una serie de "fórmulas" preestablecidas en un Excel como el programa aportado inicialmente por el Ministerio de Fomento para el cumplimiento del DB-HR. Este puede ser manejado a través de los iconos que contiene la pantalla con funciones establecidas que se encuentran explicadas en el manual del programa.
- La base de datos está clasificada en:



**CAEd** – Cálculo Acústico de Edificios

Autores: João Mariz Graça  
Jorge Patrício  
Luis Santos Lopes

1. Forjados Unidireccionales, Reticulares y Losas de hormigón macizo.
  2. Recubrimientos de suelo, Moquetas y revestimientos plásticos, Baldosas, tarimas y parqués y Losas flotantes.
  3. Paredes de una hoja, Ladrillos huecos, Ladrillos gran formato, Ladrillos/bloques ligeros ( $<200 \text{ kg/m}^2$ ), Ladrillos/bloques pesados ( $>200 \text{ kg/m}^2$ ) y Muros de hormigón armado.
  4. Paredes de doble hoja.
  5. Paredes secas con Armazón simple y Armazón doble.
  6. Fachadas de doble hoja (sólo para ruido exterior).
  7. Trasdosados sobre paredes y Falsos techos aislantes.
  8. Equipamiento técnico como cajas de persianas y Entradas de aire.
  9. Puertas y ventanas.
- Estos diferentes elementos están basados en ensayos realizados en el laboratorio de calidad de edificación del Gobierno Vasco (LABEIN)
  - Se da la opción a insertar nuevos elementos y a este se le podrán hacer las modificaciones que se crean pertinentes. Este "nuevo elemento" debe ubicarse dentro de alguna de las categorías y subcategoría correspondiente. Para ello, se le asigna un código, una breve descripción, la masa superficial ( $\text{kg/m}^2$ ) y el espesor (m).
  - La geometría permitida es únicamente rectangular, la adyacencia debe ser total o parcial. Y se pueden modificar los recintos mientras se está realizando el análisis. Asimismo se le puede anexionar nuevas geometrías a un mismo proyecto.
  - Las definiciones de la geometría contemplan términos muy claros, como lo son la anchura, la profundidad y la altura.
  - Asimismo se pueden modificar las uniones y desplazarlas (para viviendas en calle con pendiente distinta a 0)
  - Se puede visualizar el proyecto en plantas, sección y/o en 3 dimensiones, al cual se le pueden hacer secciones.
  - Es posible la visualización en diferentes escalas, lo cual permitirá después hacer una impresión a cierta escala.
  - Los elementos constitutivos se pueden asociar por elementos verticales, horizontales, equipamientos técnicos y/o puertas y ventanas.
  - Al ir componiendo el modelo, asignándole revestimientos y trasdosados, el programa automáticamente calcula las mejoras que estas significan. Es decir, se va calculando la mejora a ruido aéreo y la mejora al ruido de impactos. Para el primer caso (ruido aéreo) se contempla que si el ensayo se ha realizado sobre un forjado/pared base incluido en la base de datos, el cálculo de mejora es automático. Si no existe este ensayo la mejora se realiza en base con el primer forjado pared base que encuentra. En el caso a ruido de impactos, realiza la mejora sobre el primer forjado base que encuentra.
  - Con la opción "puesta en obra" se puede elegir la ubicación de la banda elástica así como la dirección de los elementos unidireccionales que la componen, ya sea paralelos o perpendiculares, así como sus dimensiones.
  - En cualquier momento se pueden ir conociendo los resultados de cada uno de los elementos, para saber si es necesario realizar modificaciones al proyecto. Por ello resulta muy interactivo y agradable.
  - En el caso de las juntas, se puede seleccionar si esta es continua, con alineación exterior o interior o sin contacto. Asimismo es posible desplazar la unión entre dos recintos, por ejemplo si el forjado es de altura desigual en el recinto adyacente esta puede ser modificada, así como si la pared del recinto contiguo no continua.
  - Los cálculos siempre se hacen para el local receptor, y se pueden calcular, dependiendo del resultado del recinto que se quiere conocer, el  $D_n$  vertical, horizontal y/o diagonal (no necesaria para el HR),  $L_n$  vertical, horizontal y/o diagonal (idem) y el  $D_n$  de fachada. Estos resultados se van guardando y es posible visualizarlos cada vez que se quiera.
  - Los resultados pueden ser visualizados de manera general, en una hoja en donde se hace un resumen, así como en un documento en donde se den los detalles de la tabla y/o del gráfico. Asimismo estos resultados pueden ser exportados a otro programa para analizarlos o tenerlos de manera que puedan ser editados.
  - Los datos "institucionales" del estudio que se realiza se pueden integrar a las hojas de resultados. Esto implica también poder cambiar algunos parámetros, como el índice

- seleccionado por defecto; que puede ser aislamiento a ruido aéreo, a ruido aéreo exterior y el nivel de presión sonora a ruido de impactos.
- Para la auralización se puede configurar el "audio" que se le aplica al modelo, en cuanto al tiempo de reverberación, al tipo de sonido (conteniendo archivos de audio de aplausos, TV con partido de futbol, ruido de calle, etc) y al que se le pueden agregar nuevos archivos que se quieran aplicar para que el resultado sea lo más preciso posible y cercano a la realidad.
- Para la comprobación con el CTE se debe de ir al mismo, ya que el programa no comprueba los resultados obtenidos, ni tampoco los compara.

#### OTROS COMENTARIOS al programa

El programa parece mejor que la herramienta de cálculo del HR, ya que este es un programa y no una serie de pasos y/o fórmulas del Excel.

Sin embargo, lo que le falta al Acoubat (advierto que me estoy refiriendo a la versión que me pasaron el 2008) es que compare el resultado con lo establecido por el DB HR, ya que de esta manera será de utilidad en cualquier despacho, y no será necesaria la interpretación de los datos obtenidos. La comprobación con el documento HR debería ser automática.

Asimismo se desconocen las fórmulas con las que realiza el cálculo. Algunas formulaciones aparecen cuando la hoja final debe imprimirse.

La base de datos cuenta con los ensayos de algunos fabricantes específicos. Al dar la opción de agregar nuevos elementos se podrá abastecer de nuevos fabricantes, en los cuales habrá que confiar, ya que son los que proporcionarán sus resultados (y pueden haberse realizado en un laboratorio distinto del laboratorio origen del programa). No se conoce la fórmula con la que realizan las operaciones del nuevo elemento ingresado por el usuario.

Al igual que en la herramienta del DB HR, falta incluir balcones, miradores, etc. Sin embargo aquí se contemplan ventanas, aireadores y puertas con mediciones de laboratorio.

La búsqueda de cada elemento a asignar resulta un tanto engorrosa ya que al abrir cada una de las opciones aparece un listado interminable.

En este caso, es un acierto que no se puedan modificar los materiales que tiene el programa por *default*.

No se contempla el cálculo de la reverberación, se calcula, ya que se requiere para realizar otras operaciones, sin embargo no es un resultado que se proporcione para conocimiento del proyectista, faltando el cálculo específico para salas donde se requieren justificación según HR como las aulas y salones comedor de restaurantes.

Llegado a este punto, me atrevo, dado que estoy hablando de programas comerciales, a presentar mi programa.

Señoras y señores, les presento el programa que hemos desarrollado el Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la UPC (es decir yo), con la empresa QSAI, S.L., y que permite resolver la opción simplificada del DB-HR del Código Técnico, basándose escrupulosamente en la misma. (Aquí no existe misterio)

#### QSAI-HR



Es un software de ayuda al proyectista para comprobar y justificar documentalmente que el edificio cumple las exigencias básicas de protección frente al ruido según las especificaciones del documento básico "CTE-DB HR Protección Frente al Ruido", opción simplificada.

## CYPE

Claro que ahora ya encontramos versiones para la opción general, como la de CYPE, lo cual es cómodo si se trabaja con otros programas del mismo grupo. Ahora estamos acostumbrados a ver que inclusive los fabricantes de placas de yeso laminado nos ofrecen sus programa de aislamiento.

## Programa del DB-HR

Ahora bien, ¿Sabes lo que pensé al aplicar por primera vez ciertos “Excels” (ya que no puede llamarse de programa) que se presentaron inicialmente como instrumento de cálculo del Código Técnico de la Edificación, Documento Básico Habitabilidad Ruido (DB – HR)?



Debo decir que al realizar con dicho programa un ejemplo de cálculo de un caso real en el que tenía una ventana en esquina, resultó que no me cumplía el aislamiento de la fachada, y el Excel me insinuó que si con dos ventanas no daba, que proyectara con sólo una.

Me pregunté ¿Nos hemos quedado sin la ventana en esquina?

Los años de Coderch estudiando este caso arquitectónico se van al garete debido a un “programa” del que el ministerio no dió (por suerte) el nombre de sus autores! Me pregunté si eran proyectistas. Seguramente los conozca de los congresos del Tecniacústica, donde alguna vez (demasiado pocas por lo que veo) vamos algunos arquitectos. Acto de contrición. El error no es suyo. El error es del CSCAE por no dedicar mayor esfuerzo? ...

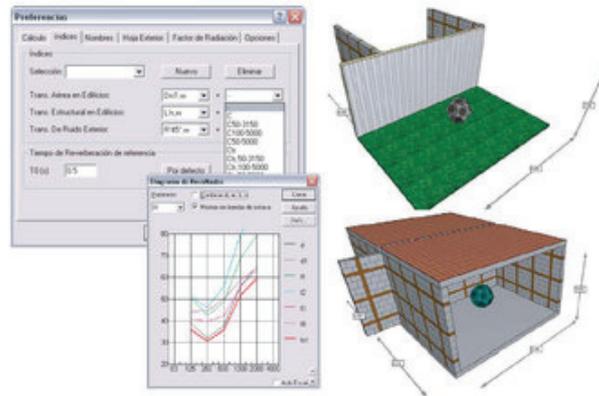
## INSUL

El software MARSHALL DAY INSUL se basa en modelos teóricos que requieren escasa información constructiva. Permite modelizar materiales empleando la Ley de la Masa y la frecuencia crítica de los materiales, permitiendo correcciones por efectos de paneles gruesos.

Además, realiza estimaciones de las pérdidas de transmisión (TL) en 1/3 de octava, índice de reducción sonora (STC y  $R_w$ ) y aislamiento a ruido de impactos ( $L_n$ ,  $w$ ).

## BASTIAN

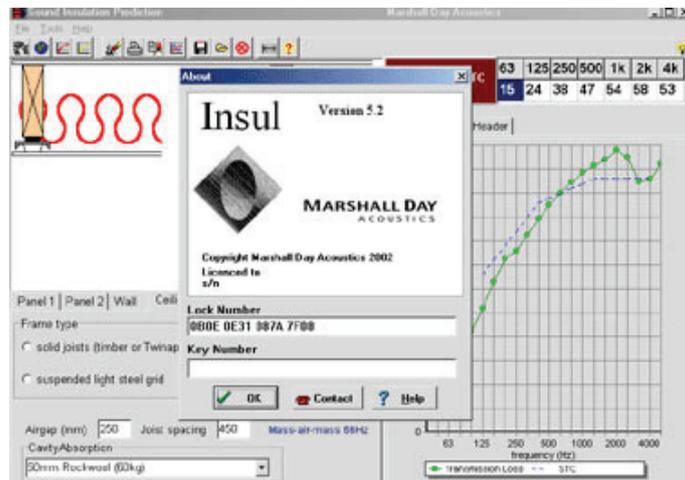
El software BASTIAN de la firma DATAKUSTIK, es un programa avanzado para el cálculo de la transmisión de ruido aéreo y de impacto entre estancias de un edificio, así como la transmisión de ruido aéreo desde el exterior, según las normativas EN-12354 e ISO-717.



El cálculo de la transmisión con BASTIAN considera todos los elementos y sistemas que son relevantes para la transmisión en situaciones entre estancias contiguas. Aparte de los paramentos principales, pueden insertarse puertas y ventanas como parte de la construcción principal. Por último, pueden ser también tenidos en cuenta elementos de unión y otros sistemas de transmisión de ruido aéreo, como por ejemplo conductos de ventilación.

## INSUL

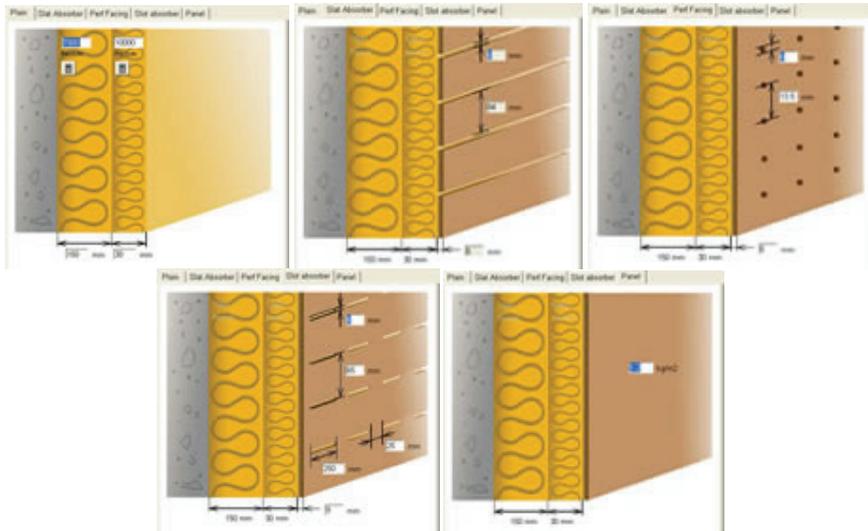
INSUL predice el aislamiento acústico de paredes, techos, suelos y ventanas. Ha sido desarrollado basándose en modelos teóricos simples, sólo requiere obtener información de la construcción. El programa puede efectuar estimaciones razonables de la pérdida de transmisión (TL) y clases de transmisión del sonido (STC) para calcular la transferencia de ruido.



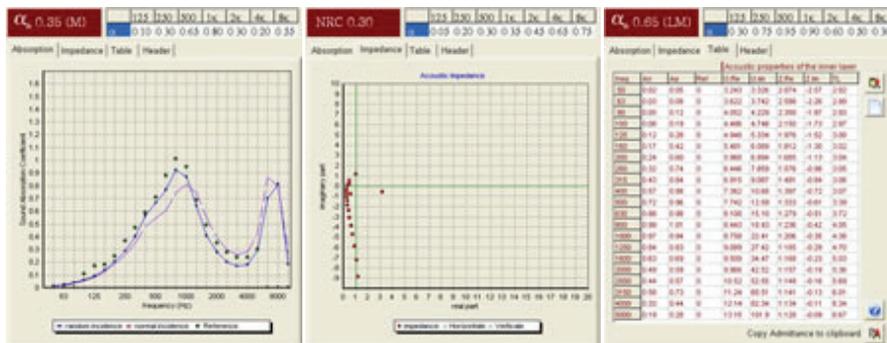
## ZORBA

El nuevo software Zorba desarrollado por Marshall Day Acoustic es una herramienta rápida para predecir el rendimiento de la absorción de los sistemas de revestimientos porosos con caras perforadas. Esta herramienta es ideal para la investigación de salas acústicamente críticas, tales como estudios, salas de conciertos, sala de clase, salas de conferencias y otros. ZORBA ha sido desarrollado en colaboración con los consultores acústicos para asegurar características de uso fácil (generadores de informes, exportación de datos). Esto hace que el software sea conveniente y práctico.

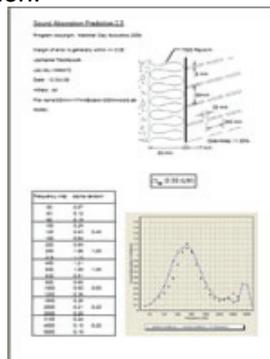
El modelo es construido por la elección de las diferentes pestañas. La primera pestaña permite al usuario definir las características del absorbente poroso (espesor, el flujo de la resistividad). Y las otras fichas corresponden a los diferentes tipos de revestimiento



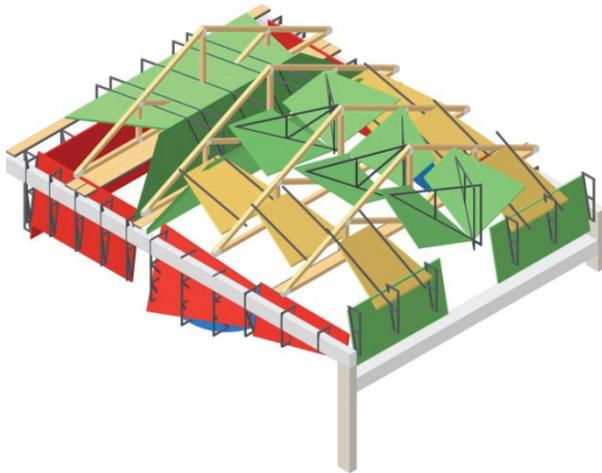
Todos los resultados se dan en la banda de tercio de octava. El acceso a estos resultados también se hace a través de pestañas, que permiten al usuario elegir entre una representación gráfica del coeficiente de absorción (incidencia normal o aleatorio), una imagen en el plano complejo de la impedancia específica del sistema, o una tabla que presenta los valores de la absorción del sistema, y la impedancia específica, el coeficiente de propagación y la pérdida de transmisión de la primera capa de material poroso.



ZORBA ofrece formas elegantes para exportar los resultados de los cálculos. El usuario puede generar una página de resumen de los cálculos y, o bien imprimir o crear un archivo PDF con él. También es posible copiar los resultados de absorción al portapapeles para que puedan transferirse a otros programas (Excel, Word, etc). Con el fin de poder comparar los resultados del diseño y la absorción de algunos datos requeridos, es posible importar un espectro de referencia en la gráfica de la absorción.



## 5. LOS PARÁMETROS NECESARIOS EN EL LOCAL/SALA. EL ACONDICIONAMIENTO Y LA RESTAURACIÓN/ REHABILITACIÓN

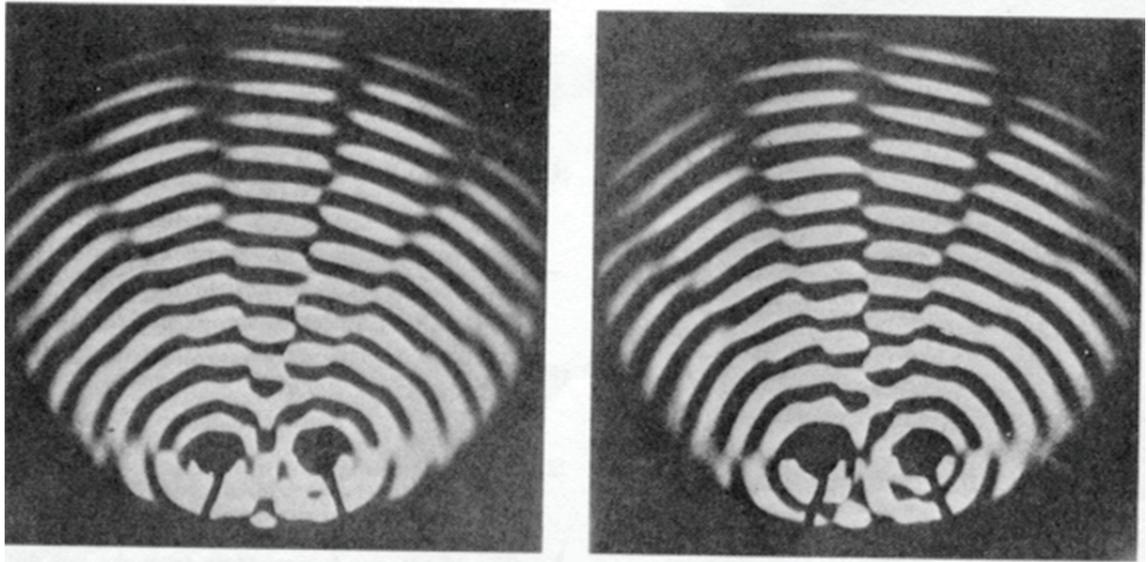


### MÉTODOS ÓPTICOS

Resulta muy interesante utilizar la luz en sustitución del sonido en los estudios con modelos reducidos ya que las longitudes de onda de los rayos lumínicos son muy pequeñas (de 360 a 760 nanómetros), y en comparación con las dimensiones del modelo, aunque este sea reducido, estas longitudes continúan siendo pequeñas.

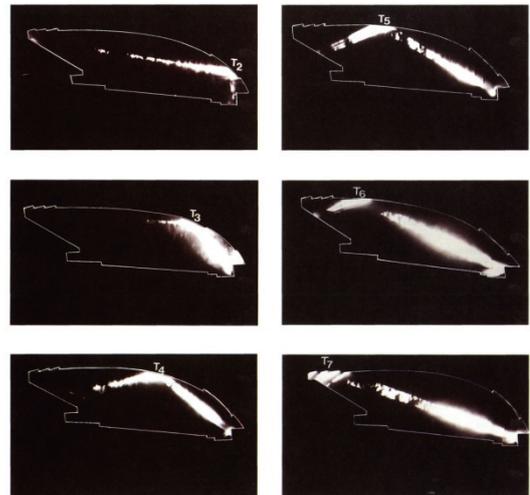
Los métodos utilizados son el de la cubeta de agua y el Light Tracing. El primero de ellos tiene el inconveniente de trabajar solamente en un plano en planta o en sección, y precisa un contenedor estanco con fondo transparente, y un proyector de luz potente (tipo proyector de diapositivas) que consiga presentar bien el efecto, directamente o por proyección en una pantalla. No obstante las dificultades, el método de trabajar con agua es muy didáctico para observar fenómenos como el de la difracción de los frentes de ondas. Actualmente muchos artistas que trabajan con el arte sonoro aprovechan el agua excitada por el sonido para sus instalaciones.

Con Higiní Arau, durante el curso 1986/1987, impartimos la asignatura de doctorado Estudio y Modelos para la Acústica Arquitectónica de Grandes Salas, donde estudiamos en laboratorio las ventajas y desventajas del método de Light Tracing respecto al de la cubeta de agua.

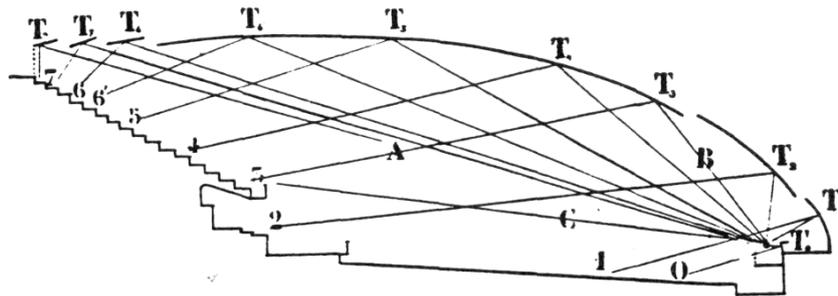
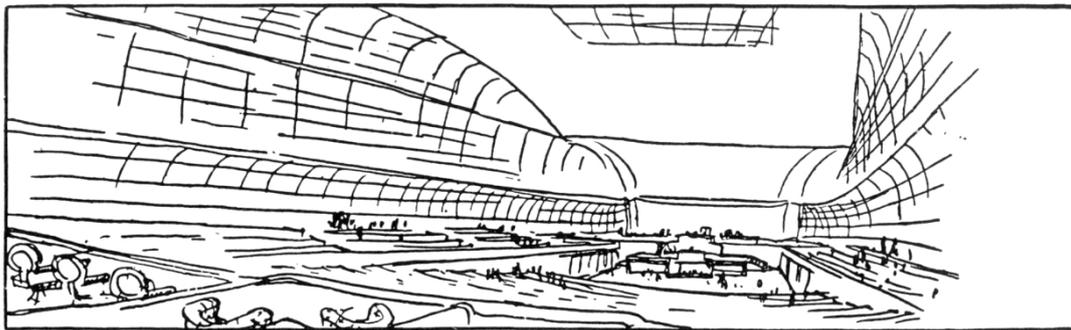
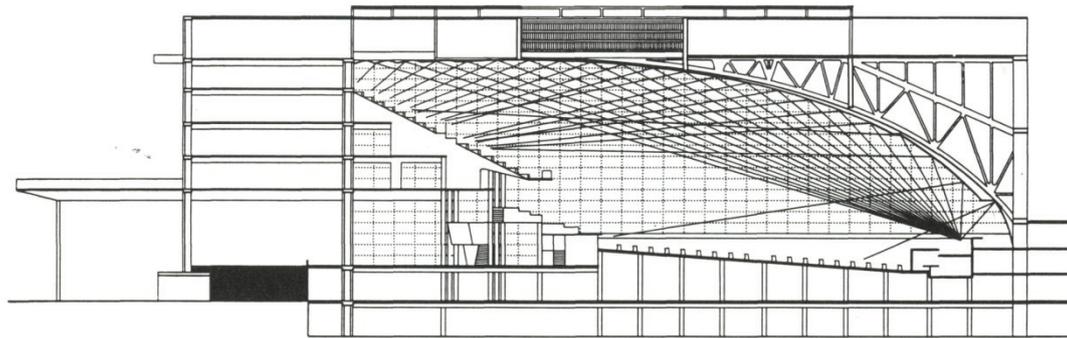


*Difracción del sonido en cubeta de agua.*

Los modelos sencillos se trabajan en planta o sección, como en el estudio realizado por este autor para la Sala de Asambleas del proyecto ganador del concurso para Palacio de las naciones de Ginebra, de Le Corbusier (no realizado por motivos de controversia con la Academia) y el de los teatros en Ciudad Badia no realizados por motivos económicos.



*Ciudad Badia*



En el modelo a escala, se precisa que los coeficientes de absorción lumínicos de los acabados sean parecidos a los de los acabados de la sala real. Esto es fácilmente realizable pintando de negro o pegando papel negro o tejido negro en las áreas altamente absorbentes, llegando hasta el blanco aplicado en las zonas más reflectantes. Asimismo, hay que utilizar superficies muy pulidas de metal, plástico o espejo para la reflexión especular, y de acabado mate para la reflexión difusa.

En general los modelos ópticos permiten ver lo que sucede en estado de régimen de la distribución de energía dentro del local, es decir, que concentraciones o focalizaciones aparecen y cuáles son las superficies importantes y las poco colaboradoras.

Así puede determinarse a un nivel suficiente de aproximación, aquellas partes de las paredes, techos, etc. responsables de ciertos defectos o cualidades.

Además, la planta puede variarse fácilmente, por lo que es un método muy didáctico dado que los propios alumnos pueden diseñar y construir sus propias formas y acabados arquitectónicos con muy bajo coste.

### MÉTODO DE ULTRASONIDOS

En este caso, la visualización de los efectos ya no es posible, puesto que se utilizan sonidos inaudibles, pero presenta la ventaja de continuar trabajando con sonido.

La primera consideración consiste en que las velocidades de desplazamiento en la sala real i en el modelo son coincidentes. En efecto, el ultrasonido se desplaza a la misma velocidad que el sonido normal, razón por la cual obtenemos gran simplificación en las formulaciones.

De forma similar al caso lumínico, la absorción de los materiales de acabado del modelo (en este caso la absorción acústica), debe relacionarse con la de los materiales de acabado de la sala real, lo cual puede resultar en algunos casos poco fiable, ya que no todos los “sistemas constructivos conjuntamente con los materiales de acabado tienen un comportamiento similar.

## MÉTODOS INFORMÁTICOS

Ahora existen multitud de programas en acústica de salas, desde los más sencillos a los de alta gama.

Veamos que opina un usuario

*Estos programas permiten visualizar, y en algunos casos oír, simulaciones acústicas de un determinado equipo de sonido en cualquier recinto.*

*Hoy día existen numerosos programas de ordenador capaces de realizar predicciones de la acústica de un recinto, los más conocidos son EASE que distribuye Renkus Heinz ([www.renkus-heinz.com](http://www.renkus-heinz.com)) y ODEON ([www.odeon.dk](http://www.odeon.dk)) distribuido por Brüel & Kjær ([www.bksv.com](http://www.bksv.com)), aunque podemos mencionar otros como CATT Acoustic, Bose Modeler, Epidaure...*

*Estos programas necesitan ciertos conocimientos en física y acústica para aprovechar al máximo su funcionamiento.*

*Empezaron a desarrollarse a mediados de los años ochenta, aunque hasta el año 1990 no empezaron a crearse como tal.*

*Estos programas permiten visualizar, y en algunos casos oír, simulaciones acústicas de un determinado equipo de sonido en cualquier recinto.*

*Tenemos que saber que para realizar simulaciones los datos que tenemos que introducir en el programa deberán ser los más numerosos posible, para obtener resultados lo más cercanos a la realidad. De ahí la complejidad de la simulación, ya que debemos conocer todas las dimensiones del recinto, así como el de los obstáculos existentes en él.*

*También el material y formas existentes en el local, para tener en cuenta su coeficiente de absorción.*

*O sea que si tuviéramos que entrar el máximo de datos para hacer la predicción, sería muy difícil usar este tipo de programas para hacer giras de cualquier artista, ya que, como mucho, en algunas ocasiones lo único que tenemos es una referencia del lugar donde se realiza la actuación, en otras el organizador nos puede facilitar planos informáticos en formato DXF, que es el original de AUTOCAD.*

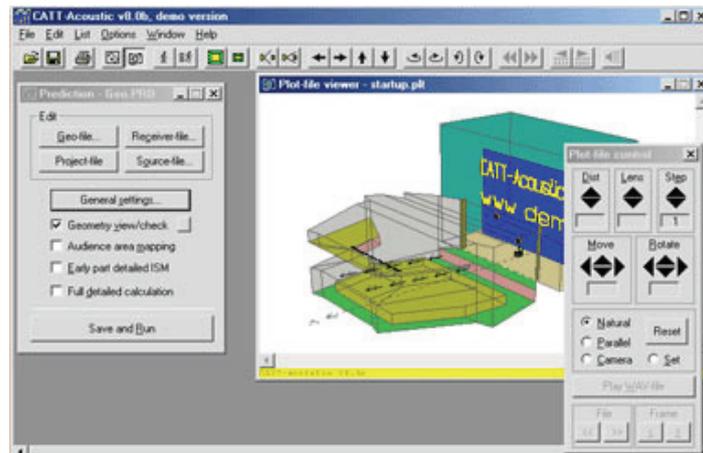
*Como curiosidad mencionar que existe una opción en Internet, el programa MIREM que es una base de datos de los recintos escénicos en España, donde tenemos desde planos en formato AUTOCAD, fotos, equipo técnico y mucha información sobre todos los recintos.*

*Esto lo podemos visualizar en la página [www.sgae.es](http://www.sgae.es), o ir directamente a [www.artenetsgae.com/mire/index.htm](http://www.artenetsgae.com/mire/index.htm), perteneciente a la Sociedad General de Autores de España.*

*Comentar que personalmente he realizado predicciones con algún plano descargado del MIREM, y al llegar al recinto he observado como existía alguna pequeña variación con respecto a éste.*

## CATT ACOUSTIC

El programa CATT acoustic es un simulador acústico que permite el diseño de salas (pueden ser importadas de CAD) y su posterior análisis. Permite estudiar virtualmente el comportamiento acústico de la sala a futuro, antes de construirla. Permite reproducir sonidos en la sala y ver el comportamiento de los mismos en la pantalla.



## ODEON

ODEON es un software de simulación y cálculo de acústica de salas desarrollado por investigadores de acústica de la Universidad Técnica de Dinamarca. En la actualidad, investigación y desarrollo del software continúan en la compañía independiente Odeon A/S. puede manejar, en un mismo modelo, la acústica de una sala, la instalación de altavoces y, en cierta medida, la transmisión del sonido. Se extraen resultados en forma de parámetros acústicos, mapeo de sonido, animaciones gif y auralización de sonido envolvente o binaural que permite analizar los resultados por medio de auriculares o presentar el entorno de sonido de una futura sala a los clientes.

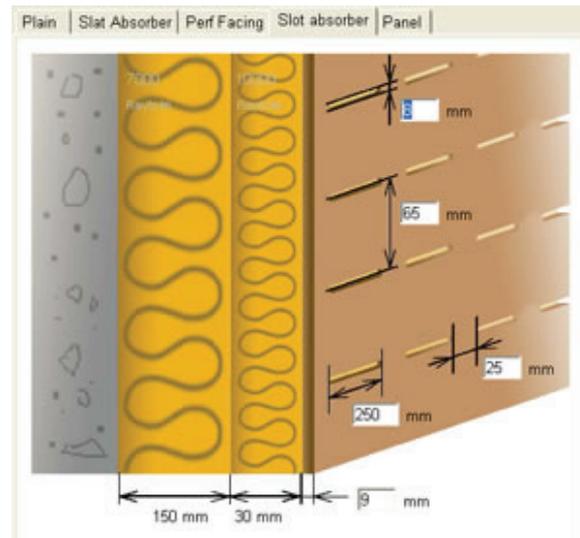
La simulación acústica de una sala que se realiza con ODEON equivale a predecir su respuesta impulsiva en un modelo 3D desde el origen hasta el receptor. El modelo de la sala se puede importar desde SketchUp u otro software CAD. También es posible derivar parámetros acústicos como el tiempo de reverberación T30, T20, EDT, SPL, STI, Claridad, etc., diseñar la acústica de una sala controlando las reflexiones, la absorción del sonido y las propiedades de dispersión del sonido en las superficies con el fin de lograr la acústica deseada y una reducción adecuada de ruidos para discursos, conciertos, etc., como software de predicción acústica, ODEON maneja correctamente el diseño de la acústica de una sala y los sistemas de amplificación para público para:

- Salas de concierto y ópera, cines, templos, estadios deportivos, oficinas abiertas, vestíbulos, restaurantes, estudios de música, metros, terminales aeroportuarias, entornos industriales. Además, es posible utilizar ODEON para zonas al aire libre con alguna superficie reflectante, como estaciones de trenes, plazas y parques, o incluso plataformas de petrolíferas.

ODEON es excelente para crear auralizaciones en diferentes entornos acústicos con una o varias fuentes. También permite simular una orquesta completa en una sala de conciertos de manera virtual o diseñar simulaciones de sonido para instalaciones futuras o para entornos antiguos con fines arqueológicos. También permite ver casos reales, escuchar auralizaciones, obtener descargas gratuitas o adquirir alguna de las ediciones de software: Industrial, Auditorio o Combinada.

## ZORBA

El software ZORBA de la firma MARSHALL DAY, es una herramienta rápida y eficaz para predecir la absorción acústica de sistemas porosos con revestimientos perforados.



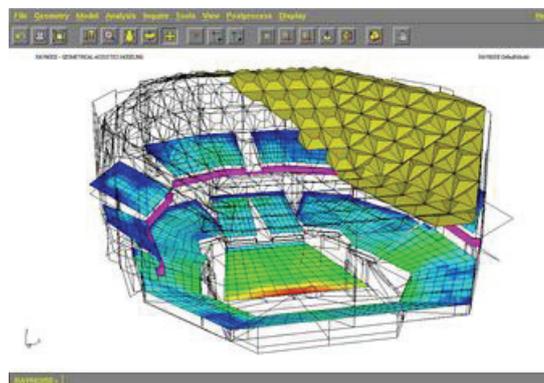
Así, ZORBA es ideal para la investigación de diferentes recintos sonoros que requieren un tratamiento especial, tales como: estudios, salas de conciertos, salas de clases, auditorios y otros.

El software ha sido desarrollado en colaboración con consultores acústicos experimentados, para garantizar sus características de uso fácil (Generador de informes, facilidad en la exportación de datos, interface amigable, etc.), lo que hace que a MARSHALL DAY ZORBA un software práctico y eficaz.

## RAYNOISE

El software raynoise de la firma LMS es la herramienta más completa para el diseño y análisis de sistemas de acústica arquitectónica al utilizar avanzados métodos de trazado de rayos para predecir campos acústicos producidos por múltiples fuentes localizadas en cualquier parte del interior de un espacio 3D y en el campo lejano en el exterior.

Automatiza interacciones complejas, tales como las reflexiones múltiples de diferentes superficies y muestra los resultados en una variedad amplia de formas, desde espectros de 1/3 de octavas, ecogramas, mapas en color con niveles de presión acústica, reproducción binaural y diferentes parámetros de calidad de sonido.



Algunas de las aplicaciones del **software LMS RAYNOISE** son el Diseño acústico de salas (claridad, espaciosidad, etc.), Determinación del tiempo de reverberación, Realización de mapas acústicos en salas, Inteligibilidad de la palabra en edificios, Control del ruido industrial, Postprocesamiento binaural, etc.

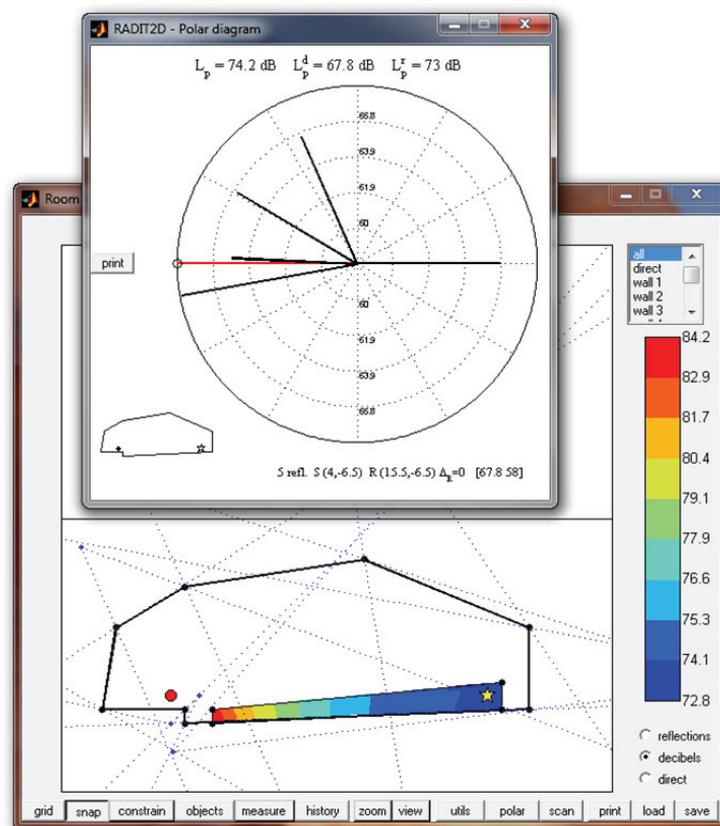
## EASE

Los programas EASE Focus y EASE 4.2, ambos desarrollados por la empresa alemana Software Design Ahnert (SDA), permiten visualizar e incluso escuchar un determinado equipo de audio en un recinto (Los patrocina la empresa D.A.S. Audio para sus proyectos). EASE Focus es un programa de simulación y predicción acústica en 2D orientado a los line arrays (disposición de altavoces a ambos lados del escenario en conciertos de gran envergadura). EASE 4.2 trata el espacio en 3D, y sirve para el caso anterior ampliado a sistemas de audio convencionales, permitiendo no solo resultados del nivel de presión sonora SPL sino también el RASTI, %ALCoS, etc. precisos para conocer la inteligibilidad de la palabra.

## RADIT 2D

El programa Room Acoustic Desing with the Image Theory (RADIT), es muy sencillo, y trabaja eso sí, en dos dimensiones, lo cual es preferible en los primeros estadios del diseño de salas, plazas públicas, etc.

A diferencia de casi todos, se trata de un software gratuito. Está escrito en Matlab y fue diseñado para estudiar la primera reflexión dentro de un recinto.



Su premisa es la facilidad del uso y ser una herramienta didáctica más que una fuente de precisión a la hora de estimar el valor de los niveles de un campo sonoro.

Una cosa destacable es que se puede bajar su manual en español, que viene bastante bien explicado. Yo lo he utilizado en alguna ocasión, y debo felicitar a uno de sus creativos, Benoit Beckers, con el que colaboré en ciertos momentos, por la idoneidad de este programa.

## OTROS CASOS

Desde el aspecto arquitectónico, debe indicarse que los parámetros son distintos si existe o no la sala.

Cuando no existe el local, todo proviene del proyecto, que en sí mismo ya representa cierto modelo, dado que el detalle en el que se ejecutan los planos viene en relación con la escala en la que se realizará la presentación y/o edición. Ahora, con el CAD se puede introducir incluso el nivel de detalle de una escala 1:1 o natural, pero debe tenerse cuidado si ese contenido se reproducirá luego en un formato de escala superior, como por ejemplo 1:100, ya que puede distorsionarse la calidad de la edición (por exceso de información) y la facilidad de su lectura.

Pero si la sala o local ya existe, entonces se presentan unos materiales y sistemas constructivos de los que desconocemos su exacto comportamiento acústico tanto a la absorción como a la difracción. Ciertamente, a nadie se le ocurre probar en laboratorio los datos acústicos de soluciones arquitectónicas actuales o antiguas si no existe una vinculación de los resultados con el ámbito comercial o el de la investigación para un doctorado. Poca salida tiene ensayar un pavimento mezcla de losas de piedra hostionera de Cádiz con otras partes realizadas mediante cantos rodados a sardinela. Realmente poco sabemos de la acústica de muchos "sistemas constructivos" del pasado, y también poco de su acabado superficial.

Los parámetros parecen conocidos; como los objetivos y subjetivos usuales, la intimidad, el efecto lateral, el tiempo de reverberación a frecuencias medias, el calor, la claridad, la brillantez, etc.

Preguntenmelo a mí, o a mis amigos Arana, Giménez, Sendra, Zamarreño, Vera, etc. de las universidades de Cataluña, Navarra, Andalucía y València, con los que intentamos, en un proyecto coordinado de investigación del Ministerio, encontrar un nuevo parámetro de acústica de salas.

Pues no!

Los parámetros no son solamente físicos, sino que también son musicales, psicológicos, arquitectónicos, culturales, etc.

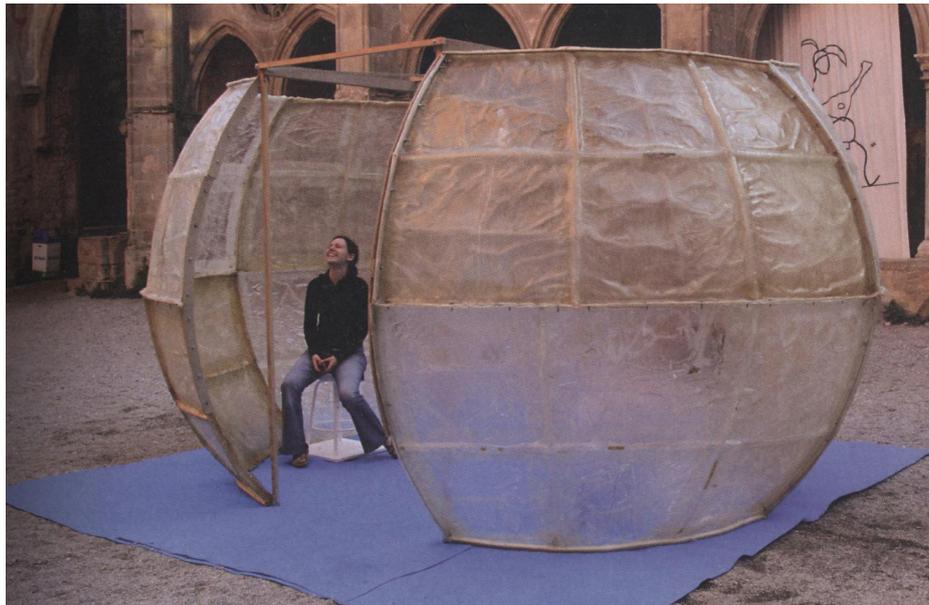
Estamos hablando de un evento que se mantiene entre el intérprete (Orador: conferenciante, profesor, locutor, traductor, etc, el Músico: cantante, solista, coro, orquesta, director, organista, etc., y el Auditor: melómano, aficionado, invitado, etc.

Es una comunicación sonora que debe romper el hielo inicial y en el que todo juega, y donde el aspecto acústico también, pero no solo de forma exclusiva como algunos pretenden.

## **6. LOS PARÁMETROS NECESARIOS EN EL DISEÑO / RESTAURACIÓN / REHABILITACIÓN DE ESCULTURAS SONORAS**

La simulación realizada por nuestros compañeros de Valencia, para esta escultura o arquitectura acústica denominada "instrumento músico" en honor de un verso de Luís Cernuda, dentro del Mapapoètic para el FORUM 2004 de Barcelona, nos da idea de la dificultad de los programas de auralización en el caso de volúmenes especiales como en este caso (elipsoide)

Me imagino la comparación de la auralización de una palmada en el Panteón de Roma, respecto lo que viví en persona dentro del mismo. Alicia Giménez Pérez sabe que no me gusta la auralización, pero quizás dentro de poco deba quedarme en casa escuchando un concierto, y el sistema de reproducción doméstico me permita virtualizar como si me sentara en la butaca nº 56 del Palau de la Música de Valencia, o en la 84 del Palau de la Música de Barcelona. No solo deberán representarme las virtudes acústicas de ambos espacios, sino que espero sepan infundirme el carácter del espacio de García de Paredes o de Domènech i Montaner, respectivamente, es decir de la arquitectura con A mayúscula.



## 7. REFLEXIONES FINALES

Dejo unas reflexiones finales de un trabajo presentado en un congreso y que he encontrado en internet. No voy a citar la fuente, pero con el ejemplo práctico que seguía se ilustran estas conclusiones:

- Los parámetros a estudiar en la emisión de las fuentes de ruido de una ciudad no son sencillos; fuentes fijas y móviles, y fuentes asimilables a emisores puntuales o lineales. A su vez, la direccionalidad de las fuentes, el medio de propagación, la rugosidad de la superficie de éste, los eventuales obstáculos en el camino de propagación, son algunos de los factores a tener en cuenta (algunos de ellos son extremadamente complejos para ser incluidos de un modo simple en modelos predictivos explícitos).
- Es preciso considerar por lo menos el número total de vehículos que circulan y la composición del tráfico, aunque también inciden otros factores como la velocidad de circulación, ruido de rodadura, etc.
- Respecto la propagación, las variables son: la distancia del emisor al receptor, el ancho de calzada y aceras, el tipo de pavimento, el ancho de la calle, la altura de edificación a cada lado de la calle, la presencia o no de semáforos o pasos cebras, la pendiente aproximada de la calzada, el sentido ascendente o descendente de la circulación, etc.

### Modelo Urbano:

Una de las fórmulas complejas ampliadas:

$$Leq = 53,2 + 6,00 \log V + 11,17 \log (L + 6M + 10H) - 4,50 \log d - 0,0107 S$$

Siendo:

- V Velocidad media en km/h
  - L Número de vehículos livianos por hora
  - M Número de vehículos medianos por hora
  - H Número de vehículos pesados por hora
  - d Ancho de la calzada en m
  - S Distancia a un punto singular de la calle (semáforo, rotonda, etc.)
  - D Retiro frontal detrás del sonómetro (m)
- } L + M + H = Q

### Modelo Suburbano:

$$Leq = 56,5 - 6,53 \log V + 11,6 \log Q + 0,172 P - 6,48 F - 0,0098 S - 2,47 \log N$$

Siendo:

- V Velocidad media en km/h
- Q Tráfico medio total (veh./hora)
- P Porcentaje de vehículos medianos y pesados
- F Distancia entre el punto de medida y la fachada más distante (m)

- N Distancia entre el punto de medida y la fachada más cercana (m)
- S Distancia a un punto singular de la calle (semáforos, rotonda, etc.)

**Método simplificado:**

En este caso la fórmula es más sencilla.

$$Leq = A + B \log Q$$

Siendo:

- Q Tránsito horario total

Para el caso de ruido urbano se tiene  $Leq = f(A, M, O, C, d)$ :

Siendo:

- A, M, O, C Número de automóviles, motos, ómnibus y camionetas por hora
- d Distancia entre la fuente y el receptor

las conclusiones a las que llega aquel autor son:

- Los modelos predictivos obtenidos en diferentes ciudades dan resultados considerablemente diferentes, aún cuando sean válidos para los rangos de densidad de tránsito a la que se aplican.
- Existe un fuerte condicionamiento entre las ecuaciones predictivas y las características geográficas y fisiológicas de la ciudad, que si bien no aparece en forma explícita en la ecuación, puede inviabilizar su transferencia y aplicación a otra realidad.
- Las predicciones realizadas permiten obtener valores dentro de un rango de  $\pm 3$  dBA. Las reducciones que auguraban los modelos ante la modificación de tránsito en estudio fluctuaban sobre 5,3 dBA, y en ningún caso los valores de la predicción de esos mismos modelos una vez retirados los ómnibus lograron mantenerse en el rango de  $\pm 3$  dBA en relación a los valores reales que luego se constataron.

**Fijémonos que si el estudio predictivo abierto de los niveles de ruido de una población, de la que se conocen muchos de sus parámetros físicos, urbanísticos y sus fuentes, poco tiene que ver con los resultados medidos, ¿cómo podremos fiarnos de los métodos comerciales herméticos?**

**8. BIBLIOGRAFÍA DEL AUTOR REFERENCIADA:**

LA ACÚSTICA DE LA SALA DE ASAMBLEAS DEL PALACIO DE LAS NACIONES DE GINEBRA, DE LE CORBUSIER. (Daumal, F. et al) <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>

PROGRAMA QSAI DB-HR (Daumal, F, y QSAI) <http://www.qsai.es/LANG-ES/QSAI-CTE-DB-HR.asp>

ARQUITECTURA ACÚSTICA: POÉTICA Y DISEÑO (Daumal, F) <http://www.upc.edu/sostenible2015/documents/mapa-de-la-sostenibilitat/daumal-domenech-francesc-de-paula/>

ESTUDI DE MODELS PER A L'ACÚSTICA ARQUITECTÒNICA DE GRANS SALES (Daumal, F y Arau, H) 1986-87, ETSAB, BARCELONA