

# ***Perspectiva histórica de la Acústica***

## **A la búsqueda de los orígenes**

La exploración científica de nuestro entorno sonoro es empresa relativamente reciente, pero el hecho de que hayamos comenzado seriamente a considerar el arduo problema de la contaminación sonora como una situación a la que debemos, forzosamente, hacer frente, es un claro indicio de la importancia del tema en una civilización tecnológica en la que estamos indiscutiblemente inmersos.

Puede parecer exagerado y hasta difícilmente demostrable afirmar que el ruido representa una de las principales amenazas para nuestra salud, por lo menos a nivel somático, no tanto a nivel psicológico, de ahí su dificultad y riesgo imperceptible. Pero desde luego es una de las mayores plagas de la sociedad post-industrial, en el sentido que aunque los fenómenos acústicos sean una de las principales fuentes de información propias de la naturaleza, se puede decir que el habitat urbano actual está infra-dimensionado en cuanto a capacidad de aislamiento frente a eventos sonoros cuya razón de ser es la sociedad de consumo -tecnológica-. Como defensa de la arquitectura podríamos poner el ejemplo siguiente:

Vamos a imaginar un cubículo de dimensiones y forma similar a cualquier piso medio de los que se construyen actualmente, con el mismo tipo de materiales, acabados y carpintería exterior. Si esta vivienda la separamos del resto del edificio donde está insertada y la ubicamos adosada a otras similares en primera línea de playa, por elegir un lugar propio de ruido 'natural' continuo de más de 65 dBA, encontraremos que dicha vivienda resulta acústicamente confortable tanto de día como de noche, no existen sobresaltos molestos, si hay mar calma y el ruido de fondo baja, se distinguen entre el ruido rítmico de las olas las voces de las conversaciones a lo lejos, da sensación de relajación. Si en cambio el mar se embravece, lo domina todo, se hace omnipresente pero no deja de existir cierta sensación de calma acústica. Lo esencial, aparte de la imagen falsamente idílica, es que ese ruido de mar continuo o rítmico consigue una privacidad sin igual, y te

hace encontrar tu propio ambiente acústico aislado del exterior, donde cualquier ruido para convertirse en intruso debe ser tan excesivamente potente que es inusual.

Pero si la misma vivienda la devolvemos a su lugar original, rodeada de vecinos, abocada a una calle urbana de tráfico medio-intenso, su ambiente sonoro es menor de 60 dBA y con carácter discontinuo en cuanto a nivel y espectro. A partir de entonces empiezan a cobrar vida una molestia generalizada y continua:

Ruido de tráfico, los electrodomésticos propios y del vecino, los lloros de niños, los portazos, los traqueteos y taconeos del piso de arriba, los ruidos de las instalaciones sanitarias del edificio, los ruidos de los locales que se instalan en los bajos del propio edificio o colindantes, etc. En fin, un infierno donde hasta Lucifer lleva 'sonotone'.

Un punto de vista simplista sería decir que el problema no está en la Arquitectura, puesto que la misma tipología puede comportarse excelentemente. Pero la cuestión es investigar las causas de los posibles comportamientos y realizar arquitecturas de acuerdo al entorno, puesto que el entorno también es arquitectura -Urbanismo-, el confort es la esencia de la arquitectura, y en ese confort la Física tiene muchos fundamentos y por supuesto la Acústica es imprescindible.

La historia nos señala que estas dificultades habían dejado su huella, prácticamente, desde las primeras expansiones de la civilización urbana, por lo que su inexorable presencia entre nosotros, a las puertas del siglo XXI, es el resultado final de un largo proceso de desidia, ignorancia injustificada y abandono.

Los conocimientos acústicos aparecen en sus inicios ligados al hombre con la música, como podemos constatarlos fehacientemente en el Egipto del siglo XIII antes de J.C. en las pinturas de la tumba de Nakht de la necrópolis de Tebas. Es, sin embargo, la civilización griega la que marca el nexo definitivo para el nacimiento de la Acústica Arquitectónica.

A nivel fenomenológico los primeros vestigios de la existencia de cierto control deliberado de las condiciones acústicas en recintos se pueden encontrar en el Viejo Testamento, donde se puede leer la descripción de las cortinas de pelo de cabra que deberán colgar en el tabernáculo. Si se tiene en cuenta, según las medidas que se especifican detalladamente en Libro del Exodo 26, su longitud en el sentido horizontal excede del perímetro del tabernáculo, por lo que al colgarlas darán lugar a la formación de numerosos y generosos pliegues. Con lo que aún pecando de impios se pueden

encontrar semejanzas a las motivaciones acústicas que aconsejan a llevar a cabo en los estudios de grabación similares disposiciones de material absorbente en las paredes. Otra referencia directa digna de mención la encontramos en la 'Problemata' de Aristóteles, donde se pregunta:

“¿por qué cuando se extiende paja sobre la orquesta de un teatro, el coro parece menos sonoro? ¿Es a causa de la rugosidad relativa producida por la paja, qué la voz no encuentra el suelo suave y uniforme cuando llega hasta él, y en consecuencia pierde volumen a causa de las discontinuidades?”

Los fundamentos de la Acústica Geométrica los encontramos ligados a los fenómenos ópticos; en el siglo III antes de J.C. Arquímedes de Siracusa, el más grande físico de la Antigüedad, determinó el área de la superficie esférica dando como valor de pi el de  $22/7$ , y dejó sentado el principio del llamado “inverso del cuadrado de la distancia para la intensidad acústica y lumínica”. Y un siglo después, Herón indicó que el ángulo de incidencia al chocar el sonido contra un sólido sería igual al ángulo de reflexión.

La culminación arquitectónica de estos principios acústicos, se llevo a cabo en el diseño y puesta en escena del 'Teatro Griego', elemento urbano que nunca faltaba en las ciudades de aquel entonces. Los griegos fueron los primeros en considerar que audición y visibilidad son dos conceptos inseparables<sup>1</sup> (la palabra 'theatron', derivada de "theaomai", contemplar), y por ello estaban generalmente situados en depresiones del terreno y aprovechando la pendiente natural de las colinas en las que excavaban los graderíos.

Los actores llevaban grandes máscaras, que aparte de definir exageradamente los rasgos histriónicos, del personaje que encarnaban, para una mejor visibilidad lejana, tenían la función de amplificar las voces a modo de megáfono, haciendo que el sonido partiera de una fuente direccional y concentrando toda la energía hacia los graderíos. Éstos estaban dispuestos de forma semicircular en el plano horizontal y elevándose con una pendiente variable que se acercaba a la imagen ideal de una zona esférica.

Es ciertamente digno de admirar que haciendo uso de unos razonables criterios de eurytmia y equilibrio arquitectónico, la arquitectura teatral de Grecia consiguió obras tan extraordinarias como el Teatro de Dionisios en Atenas con capacidad de hasta diecisiete mil espectadores.

<sup>1</sup> Lo cual es cierto si hablamos de audición por recepción del sonido directo, sin tener en cuenta las reflexiones y difracciones posibles de éste, nada despreciables por otro lado.

La herencia griega la recogen los romanos, que realizaron también gigantescos teatros basados en la tipología anterior y que derivaron en lo que se llama anfiteatros que no son más que dos teatros acoplados.

Se puede considerar que los romanos Lucrecio y Vitrubio consiguen resumir toda la filosofía natural de sus antecesores y son los primeros en traducir esa sabiduría a la acústica de la transmisión y recepción de la palabra (inteligibilidad) y de la influencia de la forma del recinto para la calidad de la audición.

Veamos lo que escribió Lucrecio en la última centuria de la era pre-Cristiana, donde se revelan con claridad los conceptos de reverberación, transmisión y difracción del sonido:

“Cuando el espacio a recorrer no es muy grande, la voz va desde el principio al fin de cada palabra y éstas pueden ser oídas con distinción, pero si el camino se hace más largo de lo adecuado, aparece la confusión, las palabras se escuchan sin que exista entendimiento, esa confusión es la voz cuando llega, demasiado estorbada.

Una voz se dispersa repentinamente en varias voces, algunas golpean en la lejanía el aire sin efecto alguno, otras se estrellan contra los cuerpos sólidos y entonces retornan, con la imagen engañosa de una palabra.

En los lugares solitarios, las grandes paredes de roca nos devuelven las palabras, así abofetean colina tras colina y se repite la reverberación. La distribución de voces se asemeja a una chispa de fuego que a menudo golpea al propio fuego que la produjo y arde de nuevo. Por lo tanto el espacio se llena de voces completamente, todo alrededor bulle y se excita con el sonido.

Todas las imágenes luminosas siguen un camino recto hacia delante una vez que se producen; aunque ninguno puede verlas si se sitúa detrás de una pared, en cambio si que podrá oír las voces a través de ella. Pero aún cuando la voz sea capaz de superar la pared de una casa y penetrar en el oído, está embotada y confusa, y nos parece escuchar sonidos en vez de palabras.”

Cualquiera que haya intentado escuchar el ininteligible revoltijo de una conversación a través de una puerta cerrada o un tabique de un edificio usual, apreciará la corrección de la concluyente observación de Lucrecio.

Pero, sin embargo, la más significativa contribución al campo de la Acústica Arquitectónica, al menos la más intencionada y estructurada, fue la de el arquitecto romano Vitrubio. Aunque probablemente pertenezca a la escuela de 'haz lo que digo, no lo que hago', la única obra conocida que le ha sobrevivido es un amplio tratado sobre arquitectura conocido como "los diez libros de Vitrubio", que sirvió como fundamento

teórico y práctico de esta disciplina en el Renacimiento y aún hoy su influencia en la arquitectura actual se puede considerar, a todas luces y por las cosas que apuntaremos al final de este capítulo, desastrosa. Pero, en cambio, en relación a la cuestión presente es de resaltar su comprensivo análisis sobre la acústica de los teatros. Leamos lo que dijo al respecto:

“Debemos escoger una ubicación en la cual la voz decaiga suavemente, y que no sea devuelta por reflexión de modo que llegue indistinguible al oído. Existen algunos lugares que por su propia naturaleza estorban el discurrir de la voz, ... estos (disonantes) espacios es donde al principio la voz se dirige hacia arriba, se golpea contra los cuerpos sólidos de las alturas, y es reflejada, interfiriendo en su caída con la ascensión de la siguiente palabra.

... Otros (circunsonantes) en los cuales la voz se mueve en todas direcciones y luego vuelve hacia el centro, donde se disuelve, haciendo confusos los finales de las frases, y se muere en sonidos sin sentidos.

... Los (resonantes) hay que se golpean contra los sólidos dando lugar a ecos y hacen que las palabras se oigan repetidas.

.... También están aquellos (consonantes) en los cuales la voz se ve reforzada en todas sus características, y ésta alcanza los oídos de los espectadores clara y distinta”

Estos conceptos fundamentales para la acústica de salas, se traducen al lenguaje habitual de hoy en día a los siguientes: “disonancia” es, el fenómeno de interferencia<sup>2</sup>; por “circunsonancia” entendemos reverberación; la palabra “resonancia” queda claro que es el eco; y finalmente “consonancia” para la cual no tenemos equivalente, queremos entender que expresa el sentimiento del “ideal acústico”, la perfección, la consonancia en fin, aunque éste siempre es un término elíptico.

Aparte de los comentarios anteriores, Vitrubio también tiene referencias a las dimensiones apropiadas de los teatros y sobre vasos resonadores que se colocarían en los graderíos del teatro para mejorar la acústica. Por supuesto la arquitectura de entonces también comprendía la maquinaria militar; sobre la que aconseja como equilibrar el tiro con catapultas y escorpiones, mediante el afinamiento acústico de los tirantes; también describe el uso de vasos de bronce con los que poder descubrir, mediante el timbre de su sonido al golpear el suelo, si el enemigo esta fabricando túneles por debajo de las murallas para acceder al interior de las fortificaciones.

<sup>2</sup> Es curioso que Vitrubio, ya dispusiera de un concepto tan sutil como es que la superposición de dos sonidos pudiera producir silencio (interferencias) pero, tal como señala W.C.Sabine, la expresión “opprimit insequentis vocis elationem” permite tal interpretación, habiendo permanecido tal observación aislada en el olvido de las siglos hasta casi anteayer, ¡un verdadero misterio!.

Existe un vacío científico a lo largo de todo el medioevo que por supuesto afecta a cualquier noticia posible sobre acústica, aunque a nivel de anécdota en el mundo de la música, se puede reseñar cierta conjunción entre arquitectura y canto en las composiciones del “Gregoriano” y también el establecimiento de las primeras normas de escritura de partituras. Son destacables las aportaciones de la civilización islámica, sino originales sí de gran valor, al recuperar y mantener vivos los avances del período greco-romano, que favoreció el resurgir de la Ciencia en eso que convenimos en llamar Renacimiento. La Edad Media fue un gran paréntesis que mantuvo en hibernación al espíritu científico y artístico de la humanidad, en la mayor parte debido a la implantación generalizada del cristianismo, ya que su Iglesia no es que estuviera de espaldas al conocimiento si no en contra de todo avance que pudiera fisurar sus dogmas de fe. La gran religión monoteísta exigía un nuevo orden, incompatible con razonamientos abstractos en los que su dios no tomara parte y eso fue así especialmente hasta casi la revolución industrial. Sin embargo la civilización musulmana alcanza su esplendor alrededor del 700 con el recién nacido Islam que supo resguardar la sabiduría de sus invasores y a su vez transmitir a lo largo de su periplo y permanencia en España hacia Occidente.

El lugar común de referencia para marcar el comienzo de una nueva era, se puede ubicar en el entorno de Leonardo da Vinci, que aparte de sus estudios anatómicos, la maestría en el dominio de la luz y las sombras en su pintura, sus ingenios mecánicos revolucionarios, sus acertadas conclusiones sobre la dinámica de sólidos anticipándose a Galileo y alguna que otra extravagancia, también experimento en campo de la acústica y podemos oírlo decir sobre la propagación de ondas en el agua respecto del sonido:

“¡En las dos instancias se cumple la misma ley de la Mecánica! Tal como las ondas en el agua provocadas por la caída de una piedra, así se comportan las ondas del sonido al viajar por el aire, cruzándose unas con otras sin mezclarse, y preservando su centro respectivamente como origen de cada sonido... Por lo tanto solo existe una ley de la Mecánica para todas las manifestaciones de la Fuerza”

El principio de superposición que enuncia Leonardo anteriormente, es redefinido por Francis Bacon y Huygens y se puede decir que es el cimiento de todo fenómeno ondulatorio en medios lineales no dispersivos.

De sus observaciones sobre el eco, Leonardo concluye que el sonido debe tener una velocidad finita, y se vuelve a anticipar a Galileo al descubrir la resonancia por simpatía de cuerpos afinados en la misma nota. Se puede decir también que es el precursor histórico de la técnica del sonar, por la siguiente observación:

“...si con tu barco parado, introduces en el agua un tubo largo y colocas tu oído en el otro extremo, oírás barcos que están a gran distancia de allí”

En el interin hasta Newton, se desarrolla definitivamente la imprenta, y la Mecánica comienza a tener un cuerpo formal muy sólido; Kepler, Cardano, Stevin, Snel, Tycho Brahe y Galileo, son exponentes de una mentalidad en pleno proceso de cambio desde los conceptos metafísicos al razonamiento físico, pero es tal el reconocimiento que se le tiene a este último por su inestimable labor científica y claridad de ideas que se le responsabiliza del despegue de la ciencia del sonido. Esto necesita una aclaración, puesto que fue el franciscano Marin Marsenne quien escribió más extensivamente que Galileo sobre el sonido, e hizo muchas contribuciones originales tanto teóricas como experimentales en dicha disciplina. Aparte de esta última puntualización es de destacar también su afán en el fomento del intercambio y divulgación de cuestiones científicas pudiendo responsabilizarlo del nacimiento del primer foro a escala mundial de estas características, en el ‘Hôtel des Minimes’ en el que se dieron cita: Pierre Fermat, Pierre Gasendi, Etienne y Blaise Pascal, Thomas Hobbes, Giovanni D. Cassini y Christian Huygens entre otros. Contemporáneas de estos mítines encontramos las actividades de la fugaz Accademia del Cimento en Florencia, la Royal Society de Londres, la Académie des Sciences Parisina y la Philosophical Society de Oxford más conocida por el “invisible college” en las cartas de Robert Boyle (1646-1647). De paso se puede traer a colación una conocida anécdota que relata el Padre Feijoo en sus escritos, que retrata la ausencia de investigación científica en la España del siglo XVII...<sup>3</sup>

“Reinando en Inglaterra Carlos II, habiendo resuelto la Regia Sociedad de Londres enviar a quienes hiciesen experimentos del peso del aire sobre el Pico de Tenerife, de la misma manera que los que se habían realizado en el Puy de Dôme a indicación de Blaise Pascal, diputaron dos de su cuerpo para pedir al embajador de España una carta de recomendación al Gobernador de Canarias. El embajador, juzgando que aquella diputación era de alguna Compañía de mercaderes que quería hacer algún empleo considerable en el excelente licor que producen aquellas islas, les preguntó qué cantidad de vino querían comprar. Respondieron los Diputados que no pensaban en eso, sino en pesar el aire sobre la altura del Pico de Tenerife -¿cómo es eso? replicó el Embajador. ¿Queréis pesar el aire? Esa es nuestra intención- repusieron ellos. No bien lo oyó el buen señor, cuando los mandó echar de la casa por locos, y al momento pasó al palacio de Whitheal a decir al Rey y a todos los palaciegos que habían ido a su casa dos locos con la graciosa extravagancia de decir que querían pesar el aire, acompañando el Embajador la relación con grandes carcajadas. Pero estas se convirtieron en confusión suya, mayormente sabiendo luego que el

<sup>3</sup> Padre Feijoo, “Causas del atraso que se padece en España en orden a las Ciencias Naturales”. Cartas. Tomo II. 1745.

mismo Rey y su hermano el Duque de York eran los principales mentores de aquella expedición filosófica...”

El final de este siglo es glorioso, lo podemos cerrar con Newton y Hooke de la parte inglesa y en el continente Leibnitz y los hermanos Bernoulli (Jacques, Nicolás y Jean). La predicción teórica, por Newton, de la velocidad del sonido, fue el primer ejemplo de inferencia deductiva de una constante física básica, con más interés si cabe puesto que estaba en contradicción de todos los valores obtenidos a lo largo del último lustro y no fue determinada con precisión (332 m/s a 0° C.) hasta el 1738, por César François Cassini de Thury, once años después de su muerte. Pocos años después un médico llamado Giovanni Lodovico Banconi repitió la experiencia en invierno y en verano detectando un aumento de la velocidad del sonido en el aire con la temperatura, hecho que corroboró con otros valores tomados en Quito y la Guayana francesa por Charles Marie de la Condamine, estas discrepancias con la teoría de Newton no fueron tomadas en cuenta puesto que no se disponía de las herramientas necesarias para su explicación y se profesaba a un gran respeto a las ideas de éste, pero en cuanto se supo relacionar el comportamiento elástico de los fluidos con sus diferentes estados termodinámicos, Laplace casi un siglo más tarde pudo solucionar el dilema planteado a las teorías de Newton, aplicando las pertinentes correcciones a causa de la diferencia de elasticidad manifestada por el aire bajo el supuesto erróneo de compresión isoterma en vez de compresión adiabática que es más cercano a la realidad.

Vamos a aprovechar este momento para recapacitar sobre la lentitud aparente en el desarrollo de la acústica, la causa creo que se debe encuadrar en su naturaleza de ciencia frontera entre varios saberes disjuntos. Hasta el siglo XVII escasamente había sido de interés por su inherente relación con la música y el misterio fenomenológico del eco. Es justo ese siglo el momento de mayor interés hacia la determinación de un parámetro objetivo como fue la velocidad del sonido la que la hizo protagonista de los foros científicos, teniendo que superar primero el método para medir el tiempo de manera objetiva y más fiable que los latidos del corazón, Huygens despeja el camino con sus estudios sobre el péndulo y es posible construir uno de manera sencilla cuya oscilación tenga de periodo un segundo, pero como hemos indicado anteriormente también se necesitó comprender la naturaleza elástica de los gases y el establecimiento de las leyes termodinámicas, sin olvidar el desarrollo del aparato matemático, para poder conseguir una concordancia suficiente entre el experimento y la teoría. En palabras de uno de los científicos que más apasionadamente ha escrito sobre el análisis histórico de esta rama de la física<sup>4</sup> :

<sup>4</sup> F. Vinton Hunt , “Origins in Acoustics”, Yale University Press. New Haven, 1978.

“Hablar de acústica es situarse justo en medio de un cruce de caminos, de tal forma que la acústica produce sus frutos más sabrosos cuando se le observa como una síntesis de otras disciplinas clásicas, mucho más que cuando se le estudia aislada contextualmente.

Se puede justificar este comportamiento en el propio modelo histórico que ha seguido. Sus orígenes en cualquier estadio de su desarrollo no pueden encontrarse, la mayoría de las veces, en el estado de ésta en la era precedente, sino más bien en los hitos históricos antecedentes de las matemáticas, la mecánica, el calor, y un puñado de otras disciplinas que toman parte, de forma simbiótica, en el intercambio intelectual con la acústica moderna.”

Por lo tanto creo que es justo con Lord Rayleigh cuando se puede empezar a hablar de Acústica con mayúsculas, puesto que en ese momento el resto de campos de la física y las matemáticas necesarios para una perfecta comprensión de las ondas sonoras ya habían dejado su huella en ese cruce imaginario de caminos en el que nos encontrábamos esperando.

## Acústica y Arquitectura

Desde el punto de vista arquitectónico la acústica tal como hoy la planteamos, tiene su punto de partida y centro de gravedad en la primavera de un recién estrenado siglo XX con W. C. Sabine, en contra de los que atribuyen a Vitrubio el honor de ser el primer arquitecto que se preocupa por la acústica, se podría decir más bien que es el culpable histórico de la dejadez en relación a los temas acústicos en la Arquitectura en general, salva en lo relativo a los grandes auditorios de música o Teatros. La cuestión parte de considerar la hipótesis de que el origen de la arquitectura moderna es esencialmente Vitrubiana o más bien de una interpretación del texto del romano, que se puede resumir brevemente en lo que se conoce como “La triada”, veamos:

“Estos edificios -refiriéndose a los públicos- deben construirse con atención a la **f i r m e z a**, **comodidad** y **hermosura**. Serán firmes cuando se profundizaren las zanjas hasta llegar a terreno sólido; y cuando se eligieren con atención y sin escasez los materiales de toda especie. La utilidad (comodidad) se conseguirá con la oportuna situación de las partes, de modo que no haya impedimento en el uso; y por la correspondiente colocación de cada una de ellas hacia el aspecto celeste que más le convenga. Y la hermosura cuando el aspecto de la obra fuere agradable y de buen gusto; y sus miembros arreglados a la simetría en sus dimensiones.”

De esta frase tan escueta entresacada de los “diez libros”<sup>5</sup> se han hecho innumerables consideraciones pero todas ellas en el sentido de que la firmeza y durabilidad sólo es consecuencia del proceso de puesta en obra, y que la utilidad sólo depende de la distribución. La belleza es el único vértice de la triada que por su subjetividad se mantiene cambiante con el paso de los siglos.

Analizando en más profundidad la idea que ha tenido la mayor transcendencia imaginable en la cultura arquitectónica occidental. Se puede decir que como Vitrubio no especificó claramente que podían existir interferencias en el uso distintas de las de dimensionamiento o que hubiera de tenerse en cuenta la disposición de sistemas de expulsión de agua o que las cubiertas debían estar en consonancia con las fachadas, o que los forjados y los muros estaban interrelacionados, o que la salubridad era parte inherente del hábitat, o que la función y uso de un edificio debía estar presente en la idea y concepto del diseño de éste. Y por descontado como no mencionó las cuestiones acústicas en relación a las viviendas, éstas se han desdeñado casi por completo a lo largo de la experiencia edificatoria. He dicho casi por completo porque existe otro tratado, el de J. B. Alberti en 1485, cuyos pilares fundamentales son diametralmente opuestos a los valores de Vitrubio, no se desdeña la durabilidad, la comodidad, ni la hermosura pero se tiene en cuenta que la belleza no es sólo una cuestión formal, y se valora sobre todo que el edificio, no es un elemento estático ni en la relación con sus propias partes y entorno, ni en su convivencia con los que lo moran<sup>6</sup>.

Alberti deja patente la necesidad de considerar todas las percepciones sensoriales, incluyendo en su tratado exigencias de confort térmico y acústico, veamos por ejemplo algunos párrafos que no tienen parangón hasta el siglo XX:

De lo térmico.

“La pared de pedernal o de mármol es fría y húmeda, porque con su frialdad cuaja el aire y le vuelve en sudor; pero la piedra de arenisca y de ladrillo es más cómoda después que estuviese del todo seca.”

De lo acústico.

“Se puede presentar el inconveniente del que se duele el poeta en una sátira: que os quite el sueño el pasar las carretas por las tortuosas y estrechas calles y el alboroto de la muchedumbre atareada.”

<sup>5</sup> Vitrubio Polion, M. “Los diez libros de la Arquitectura”. Ed. Alta Fulla, Barcelona, 1993

<sup>6</sup> J.L. González Moreno-Navarro. “El legado oculto de Vitrubio”. Alianza Editorial, Madrid, 1993

“Anexo a estas estancias está el aposento de la noche y el sueño. A el no llegan las voces de los pajes, ni el murmullo del mar... La razón de ello reside en que la pared de la cámara y el muro del jardín están separados por un pasillo intermedio, y la interposición de este espacio vacío absorbe cualquier sonido.”

Lamentablemente las ideas de Alberti tuvieron poco eco por razones que no es fácil de explicar ya que la problemática a la que hace referencia e intenta sensibilizar, no es ajena en modo alguno al buen hacer constructivo, y no es precisamente nueva, de hecho los ejemplos que usó, están escogidos de citas de autores romanos de gran divulgación.

En este estado de cosas se encuentra la acústica arquitectónica cuando un maduro Joseph Henry -descubridor de la autoinducción electromagnética- se encuentra con el encargo, por parte del presidente de los EEUU, de realizar un estudio de los planos para las nuevas alas del Capitolio, la Cámara de los Representantes (hoy Sala Estatuaria), puesto que las soluciones acústicas adoptadas por los arquitectos de anteriores remodelaciones<sup>7</sup>, no habían sido muy afortunadas.

Para ello Henry investigó los límites de percepción del eco, los problemas de la posición relativa de la fuente y receptor del sonido, pero su planteamiento más apasionado fue el tratamiento energético de los fenómenos acústicos de Reverberación y Absorción tan íntimamente ligados entre sí, fue el primero en distinguir claramente entre eco y reverberación<sup>8</sup> :

“...La reverberación es producida por la reflexión múltiple del sonido en las paredes de la habitación, y es mucho más frecuente la causa de la confusión en el entendimiento que el de un simple eco...”

...Es evidente que cada espacio tiene su propia nota-clave para la cual, como un instrumento afinado, resuena con gran fuerza...

...La persistencia de un sonido simple, y la tendencia a la confusión en el entendimiento debe depender de varias condiciones: primero, del tamaño de la habitación; segundo, de la fuerza del sonido o la intensidad del impulso; tercero, de la posición de las superficies reflectoras; y cuarto, de la naturaleza del material de dichas superficies.”

<sup>7</sup> Estos fueron Benjamin Latrobe, que se puede considerar uno de los primeros profesionales de la arquitectura como tal, que ejercieron por primera vez en América, y su pupilo Robert Mills.

<sup>8</sup> Wilbert F. Synder. “Acoustical Investigations of Joseph Henry as viewed in 1940”. JASA. **12-1**, 58-61, (July 1940).

Expresiones que son extrañamente familiares para la acústica arquitectónica actual pero desconocidas para la mayoría de los arquitectos en el tiempo, aunque no tanto para algunos coetáneos<sup>9</sup> de Joseph Henry con los cuales debió de dialogar sobre la concepción de la arquitectura y sus relaciones con el mundo de la física, puesto que en el informe que elaboró para la ‘Smithsonian Institution’ después de realizar el encargo anterior, se puede leer<sup>10</sup> :

“En la construcción de un edificio, el uso para el cual está destinado debe estar comprendido claramente, y previsto en los planos originales cualquier objeto que se vaya a desear...”

Los edificios modernos están hechos para otros propósitos distintos que el mero efecto artístico, y en ellos lo estético debe estar subordinado a lo útil, pienso que los dos valores deben coexistir, y un placer intelectual se derivará del sentimiento de adaptación y salud, combinado con la percepción de la armonía de las partes y la belleza del detalle.”

Con respecto a la misión de la acústica en su faceta arquitectónica, una vez más Henry tiene una visión preclara y consecuente con la dimensión científica de estos trabajos, que cuando se realizan con frivolidad degeneran en rutinarios<sup>11</sup> .

“La ciencia de la acústica aplicada a la edificación, quizás más que ninguna otra, requiere esta unión de principios científicos con deducciones experimentales. Mientras por un lado, la aplicación de simple deducciones de los principios establecidos de la acústica sería inseguro si se quiere un conocimiento real de las constantes que entran en nuestra fórmula, por el otro lado, los datos empíricos aislados son, en este caso, completamente insuficientes y faltos sentido y de ello cualquier persona puede convencerse con tan sólo revisar los distintos trabajos escritos en acústica por aquellos que se consideran hombres prácticos”

Años después, en 1895 se encuentra el joven W.C. Sabine, de manera fortuita, con un problema similar al que motivó a Joseph Henry en su incursión en el campo de la acústica aplicada; el encargo por parte del rector Elliot de “hacer algo” con las pésimas condiciones para la audición que tenía la sala de conferencias del primer

<sup>9</sup> Especialmente Dankmar Adler y Louis Sullivan que son los precursores del funcionalismo y que acuñaron la conocida frase -Form Follows Function-. Además la aplicaron con relevante éxito, por ejemplo Adler diseñó el Auditorio de Chicago, una bella y única obra maestra de la acústica inaugurado en 1889.

<sup>10</sup> Ver NOTA 7

<sup>11</sup> Ver NOTA 7

edificio que ocupó el 'Fogg Art Museum' en la Universidad de Harvard. Se puede pensar que por entonces Sabine era tan sólo un profesor asistente de la mano del profesor Trownbridge, y aunque su vertiente científica concernía al mundo de la óptica y la electricidad, como todavía no tenía asignado una misión clara en el organigrama de la Universidad, se le brindó la posibilidad de resolver la problemática planteada en esta sala, un poco para salir del paso y contentar al rector con alguna mejora aunque fuera leve. Pero en cambio Sabine prefirió aceptar el reto en un sentido más amplio. Rápidamente amplió el campo de acción de sus pesquisas con el estudio de una sala cercana, el Sanders Theatre (que tenía una excelente acústica) y el gran salón de actos del Jefferson Physical Laboratory (que con una acústica tolerable era sobre todo accesible en primera instancia). Convirtió la sala de temperatura constante ubicada en el sótano del laboratorio en su cámara reverberante, y con unos cuantos tubos de órgano, un cronógrafo, una batería, un reservorio de aire, un compresor electro-neumático, y su bien disciplinado sentido del oído, Sabine convirtió estas habitaciones en instrumentos de laboratorio para la investigación básica del comportamiento del sonido en espacios cerrados.

Este fue el verdadero comienzo de la acústica arquitectónica tal como hoy la conocemos y aunque el trabajo de Sabine fue exhaustivo en todos los ámbitos resulta extraño que no haga referencia alguna a Lord Rayleigh ni a su compatriota Joseph Henry que cronológicamente y que como referente científico se podría pensar su mentor, según se desprende de su declaración de principios sobre la acústica y la arquitectura, en su primer trabajo publicado<sup>12</sup> :

"El problema es necesariamente complejo, y cada sala presenta muchos factores, cada uno de los cuales contribuye al resultado final en mayor o menor grado según las circunstancias. Para tomar en cuenta justamente todos estos diversos factores, la solución del problema debe ser cuantitativa, no meramente cualitativa; y para alcanzar la mayor utilidad la solución estudiada se debe aplicar antes, no después de haber construido el edificio."

El trabajo de Sabine es sistemático, concienzudo, honrado, exhaustivo y con resultados simples y eficaces al mismo tiempo; pero el secreto de su éxito, creo que más que al establecimiento de la relación matemática que liga la geometría de una sala y el poder de absorción acústica con el tiempo de reverberación  $T_r = 0,161 \cdot (S/V \cdot \alpha)$ , estriba en que los resultados de sus experiencias los envía a publicar a revistas no científicas al uso<sup>13</sup>, sino a aquellas donde los destinatarios pudieran sacar provecho inmediato de ellos,

<sup>12</sup> W.C. Sabine, "Architectural Acoustics". The American Architect Building News. **62**, 71-73 (Nov.1898)

<sup>13</sup> Las revistas son de Arquitectura y Construcción preferentemente, por ejemplo: *The American Architect*, *The Brickbuilder*, *The Engineering Record* y *The Journal of the Franklin Institute*.

puesto que el planteamiento y las solución de los problemas pertenecen al mundo de la arquitectura, aún cuando el enfoque y desarrollo teórico y experimental tiene una factura científica intachable.

Otro de sus éxitos es que su visión de la acústica arquitectónica fue global, sobrepasando a todos sus antecesores siendo el primero en estudiar el aislamiento a transmisión a ruido aéreo y de impacto, y trabajó directamente con los fabricantes de materiales de construcción desarrollando con Gustavino<sup>14</sup> varios prototipos de ladrillos acústicos -entre 1908 y 1915- hasta la fabricación de la conocida placa 'AKOUSTOLITH' con la que Gustavino copó más del 50% del mercado del acondicionamiento acústico, hasta la década de los 30.

Fue una época de gran expansión económica y por lo tanto de euforia constructiva y la acústica, gracias a la actividad de Sabine, encontró su lugar en el mundo, pero faltaba un marco de discusión válido que reuniera en su seno toda la febril actividad que desarrollaba en este entorno, lo que motivó que una serie de científicos se aunaran en derredor de Wallace Waterfall y fundaran en 1929 'The Acoustical Society of America'. Por otro lado también hay que tener en cuenta la aparición del cine sonoro y la implantación del teléfono como medio de intercomunicación a gran escala, para entender la razón de ser de esta aventura científica que perdura hasta hoy con un amplio abanico de frentes abiertos y en continuo desarrollo.

Una vez llegados a este punto es el momento de reflexionar sobre la actividad de la acústica en nuestro entorno cercano. No quiero alargarme más y por ello tan sólo haré un resumen de las conclusiones a las que llegué a este respecto a lo largo de mi tesis doctoral, que trataba sobre las condiciones acústicas del espacio escolar y más particularmente sobre las aulas.

Si nos situamos en España en la década de los 30, es justo el momento de un cierto borrón y cuenta nueva con un pasado oscuro de enfrentamientos políticos que parecían interminables y donde no se había dado todavía importancia a la necesidad de modernización de la sociedad desde cualquier punto de vista que se mire. Pero ni el leve despertar que se sufrió con la dictadura populista de Primo de Rivera, ni después tuvo tiempo la II República para desarrollar sus tesis más europeístas, la Guerra Civil y sus

<sup>14</sup> Rafael Gustavino es un personaje curioso dentro de la Arquitectura. En 1888 después de haber proyectado y dirigido la construcción de las Fábricas Batlló, que se convirtieron en la Universidad Industrial de Barcelona, se radicó en Boston, y allí en América patentó el sistema de bóvedas catalana o bóvedas- cáscara con el nombre de "Gustavino System". Como vemos más tarde, este emprendedor arquitecto entra en contacto con W.C. Sabine y se convierte en el primer productor de materiales acústicos.

secuelas, la larga dictadura del General Franco no fueron espacios temporales donde las cuestiones de confort tuvieran cabida. Parecía que con sobrevivir hubiera suficiente, y si bien desde el mundo político las situaciones fueron complicadas, desde el ámbito arquitectónico no se dieron los condicionantes que propiciarán una transferencia de tecnología ni ideológica, y así nos han ido las cosas. La primera normativa acústica data de la década de los 50 del Instituto Eduardo Torroja del C.S.I.C. como recomendaciones, coincidiendo con los primeros tubeos aperturistas, pero no es hasta veinte años después cuando el ministerio dicta la primera Normativa sobre condiciones acústicas N.B.E.-C.A.-78, pero aunque esta pueda no ser la completa o que pueda ser mejorable, es el mundo de la arquitectura el que está de espaldas a tenerla en consideración como se demuestra día a día en cada uno de sus proyectos realizados, que son muchos.

El arquitecto es un multitécnico que no es técnico en nada salvo en el aspecto de las formas, y cuando pretende coordinar el resto de aspectos sólo plantea aquello que le exige la normativa vigente de manera ineludible, o sea sin previa reflexión funcional, usando la normativa como el máximo a alcanzar, y no como un marco de referencia sobre el que desarrollar los proyectos, en palabras vulgares un aula no tiene diferencias con un salón de grandes dimensiones de cualquier vivienda de super-lujo por supuesto, pudiéndose llegar a dar la paradoja que el tiempo de reverberación del supuesto salón una vez que fuera amueblado y en pleno uso no superará los 0.5 segundos; mientras que el aula, en una clase de 40 alumnos, rondará los 1.2 segundos con toda certeza y del todo inoperante para una correcta inteligibilidad que debía ser el factor principal a tener en cuenta en el diseño.

Quizás que el problema es sólo una herencia Vitrubiana y lo nuestro una guerra de guerrillas contra el romano, pero creo que es un buen momento para romper unas pocas lanzas en favor de una arquitectura futura que no agonice en un océano de estética<sup>15</sup>.

---

<sup>15</sup> Fernández Galiano, L. "Enferma de Belleza". El PAÍS, 29 de julio de 1995. Artículo a propósito de las obras presentadas a la III Bienal de Arquitectura Española.