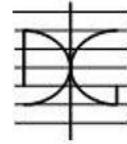




UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



DEPARTAMENTO  
DE INGENIERÍA DE  
LA CONSTRUCCIÓN  
Y DE PROYECTOS DE  
INGENIERÍA CIVIL

# **MU PRL** | Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales

## **TRABAJO FIN DE MÁSTER CURSO ACADÉMICO 2020/2021**

### **LOS TRASTORNOS DE LA VOZ DERIVADOS DE LAS CONDICIONES ACÚSTICAS DE LAS AULAS EN EL ÁMBITO DOCENTE**

**Autora: Elena Díaz Rubio**

**Tutor: Antonio Uris Martínez**

**Cotutora: Alicia Giménez Pérez**

**Valencia, junio de 2021**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y  
PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



# Resumen

Los docentes están expuestos, a lo largo de su jornada laboral, a múltiples riesgos para su seguridad y salud. Entre ellos, encontramos el riesgo de padecer nódulos en las cuerdas vocales, enfermedad profesional relacionada con actividades que precisan un uso continuo y mantenido de la voz. El desarrollo de trastornos en la voz está influenciado por múltiples factores, dentro de los cuales encontramos las condiciones acústicas del lugar de trabajo. Por ello, resulta relevante establecer un adecuado diseño acústico de las aulas, con el objetivo de garantizar la salud vocal del profesorado.

En la primera parte de este trabajo, de carácter teórico, se ha realizado una revisión bibliográfica de las investigaciones llevadas a cabo en este ámbito de estudio, con el objetivo de determinar la influencia de las condiciones acústicas de las aulas en el desarrollo de problemas en la voz en el ámbito docente. Asimismo, teniendo en cuenta las investigaciones analizadas, se han determinado las condiciones acústicas óptimas según las características de las aulas para prevenir los trastornos de la voz en el profesorado.

En la segunda parte del trabajo, de carácter práctico, se han analizado las condiciones acústicas de un aula de la Universitat Politècnica de València. A partir de los datos obtenidos en la medición acústica, se ha realizado una propuesta de mejora del acondicionamiento y el aislamiento acústico del aula, como medida preventiva para reducir el riesgo de desarrollo de trastornos en la voz.

**Palabras clave:** disfonía, nódulos, profesorado, acústica, aulas.

# Abstract

During the working hours, teachers are exposed to multiple risks to their safety and health. Among them, we find the risk of suffering from vocal cord nodules, an occupational disease related to activities that require continuous and sustained use of the voice. The development of voice disorders is influenced by multiple factors, among which we find the acoustic conditions of the workplace. For this reason, it is relevant to establish an adequate acoustic design of the classrooms, in order to guarantee the vocal health of the teachers.

In the first part of this work, of a theoretical nature, a bibliographic review of the research carried out in this field of study has been carried out, with the aim of determining the influence of the acoustic conditions of the classrooms on the development of problems the voice in the educational field. Likewise, considering the literature analysed, the optimal acoustic conditions have been determined according to the characteristics of the classroom to prevent voice disorders in teachers.

In the second part of the work, of a practical nature, the acoustic conditions of a classroom at the Universitat Politècnica de València have been analysed. Based on the data obtained in the acoustic measurements, a proposal to improve the conditioning and acoustic insulation of the classroom has been made, as a preventive measure to reduce the risk of developing voice disorders.

**Keywords:** dysphonia, nodules, teachers, acoustics, classrooms.

# Resum

Els docents estan exposats, al llarg de la seua jornada laboral, a múltiples riscos per a la seua seguretat i salut. Entre ells, trobem el risc de patir nòduls en les cordes vocals, malaltia professional relacionada amb activitats que precisen un ús continu i mantingut de la veu. El desenvolupament de trastorns en la veu està influenciat per múltiples factors, dins dels quals trobem les condicions acústiques del lloc de treball. Per això, resulta rellevant establir un adequat disseny acústic de les aules, amb l'objectiu de garantir la salut vocal del professorat.

En la primera part d'aquest treball, de caràcter teòric, s'ha realitzat una revisió bibliogràfica de les investigacions dutes a terme en aquest àmbit d'estudi, amb l'objectiu de determinar la influència de les condicions acústiques de les aules en el desenvolupament de problemes en la veu en l'àmbit docent. Així mateix, tenint en compte les investigacions analitzades, s'han determinat les condicions acústiques òptimes segons les característiques de l'aula per a previndre els trastorns de la veu en el professorat.

En la segona part del treball, de caràcter pràctic, s'han analitzat les condicions acústiques d'una aula de la Universitat Politècnica de València. A partir de les dades obtingudes en el mesurament acústic, s'ha realitzat una proposta de millora del condicionament i l'aïllament acústic de l'aula, com a mesura preventiva per a reduir el risc de desenvolupament de trastorns en la veu.

**Paraules clau:** disfonia, nòduls, professorat, acústica, aules.



# Índice

## PARTE I

### Revisión bibliográfica

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>11</b>
1.1. Justificación.....	11
1.2. Objetivos. ....	14
1.1.1. Objetivo general. ....	14
1.1.2. Objetivos específicos.....	14
<b>Capítulo 2. Metodología.....</b>	<b>15</b>
2.1. Definición del problema.....	15
2.2. Búsqueda de información.....	15
2.3. Organización de la información. ....	16
2.4. Análisis de la información.....	18
<b>Capítulo 3. Resultados.....</b>	<b>19</b>
<b>Capítulo 4. Conclusiones.....</b>	<b>25</b>

## PARTE II

### Estudio acústico de un aula de la UPV

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>29</b>
1.1. Justificación.....	29
1.2. Objetivos. ....	30
1.2.1. Objetivo general. ....	30
1.2.2. Objetivos específicos.....	30

1.3. Ubicación y descripción del aula.....	30
<b>Capítulo 2. Metodología.....</b>	<b>33</b>
2.1. Toma de datos geométricos.....	33
2.2. Toma de datos acústicos.....	34
2.2.1. Acondicionamiento acústico.....	35
2.2.2. Aislamiento acústico a ruido aéreo.....	35
2.3. Análisis de los resultados obtenidos y propuesta de mejoras acústicas.....	36
<b>Capítulo 3. Resultados .....</b>	<b>37</b>
3.1. Acondicionamiento acústico del aula.....	37
3.1.1. Tiempo de reverberación obtenido en la medición acústica.....	37
3.1.2. Tiempo de reverberación óptimo.....	37
3.1.3. Simulación acústica.....	38
3.1.4. Propuesta de mejora del acondicionamiento acústico.....	42
3.1.5. Presupuesto.....	44
3.2. Aislamiento acústico a ruido aéreo del aula.....	45
3.2.1. Aislamiento acústico a ruido aéreo obtenido en la medición.....	45
3.2.2. Cálculo del aislamiento acústico a ruido aéreo.....	46
3.2.3. Valor mínimo del aislamiento acústico a ruido aéreo.....	47
3.2.4. Propuesta de mejora del aislamiento acústico.....	48
3.2.5. Presupuesto.....	48
<b>Capítulo 4. Conclusiones.....</b>	<b>49</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>51</b>
<b>Normativa .....</b>	<b>53</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>55</b>
<b>Índice de tablas.....</b>	<b>57</b>



**PARTE I**

**Revisión bibliográfica**



# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Justificación.

Los profesores están expuestos, a lo largo de su jornada laboral, a múltiples riesgos para su seguridad y salud. Entre ellos, encontramos el riesgo de padecer trastornos en la voz. El Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro, reconoce los nódulos de las cuerdas vocales como enfermedad profesional en actividades en las que se precise un uso mantenido y continuo de la voz, como son profesores, cantantes, actores, teleoperadores y locutores (Tabla 1.1).

**Tabla 1.1. Resumen del cuadro de enfermedades profesionales (Anexo 1 del RD 1299/2006).**

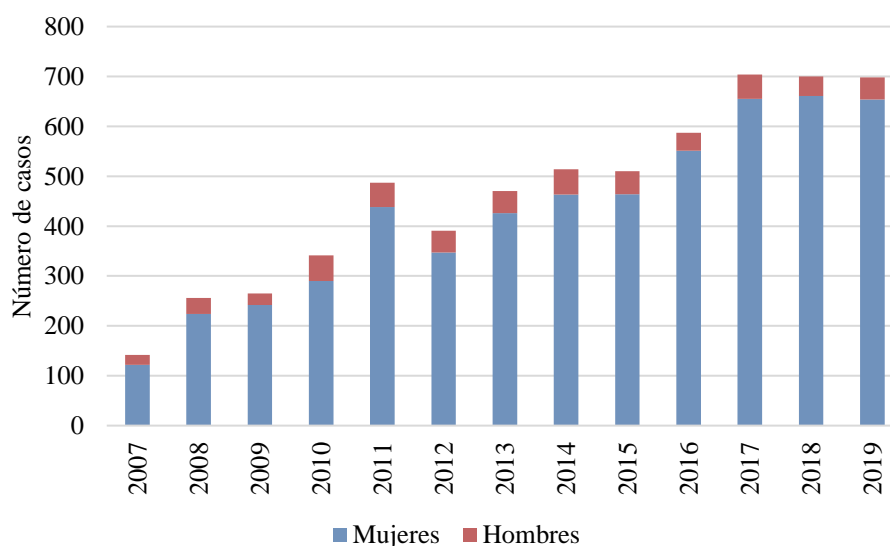
Grupo	Agente	Sub-agente	Actividad	Código	Enfermedades profesionales con la relación de las principales actividades capaces de producirlas
2					<b>Enfermedades profesionales causadas por agentes físicos</b>
	L	01			Nódulos de las cuerdas vocales a causa de los esfuerzos sostenidos de la voz por motivos profesionales
			01	2L0101	Actividades en las que se precise uso mantenido y continuo de la voz, como son profesores, cantantes, actores, teleoperadores, locutores

En la Tabla 1.2, se muestra la información estadística relativa a la evolución del número de casos de nódulos de las cuerdas vocales a causa de los esfuerzos sostenidos de la voz por motivos profesionales en actividades en las que se precise un uso mantenido y continuo de la voz, facilitada por el Ministerio de Trabajo y Economía Social.

**Tabla 1.2. Información estadística de los casos de nódulos en las cuerdas vocales (Ministerio de Trabajo y Economía Social).**

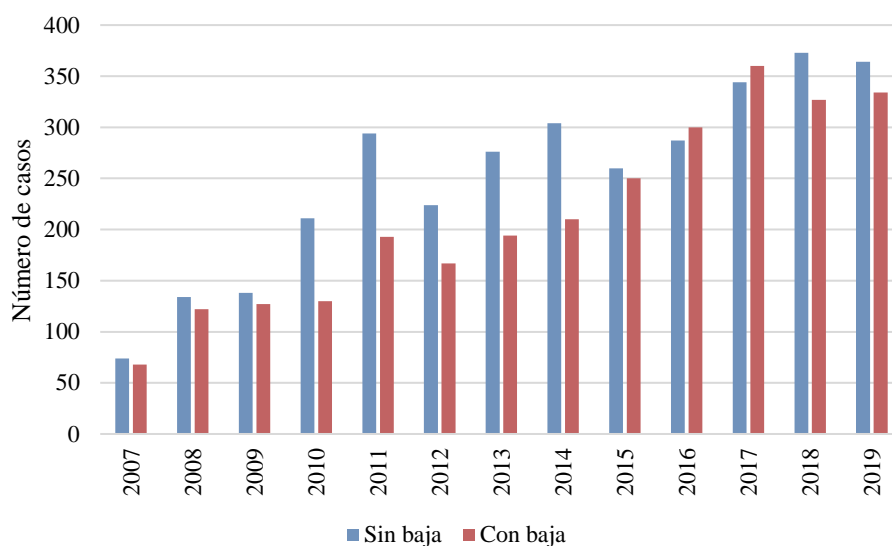
	TOTAL			CON BAJA			SIN BAJA		
	Total	Varones	Mujeres	Total	Varones	Mujeres	Total	Varones	Mujeres
<b>2007</b>	<b>142</b>	20	122	<b>68</b>	10	58	<b>74</b>	10	64
<b>2008</b>	<b>256</b>	32	224	<b>122</b>	14	108	<b>134</b>	18	116
<b>2009</b>	<b>265</b>	23	242	<b>127</b>	12	115	<b>138</b>	11	127
<b>2010</b>	<b>341</b>	51	290	<b>130</b>	13	117	<b>211</b>	38	173
<b>2011</b>	<b>487</b>	49	438	<b>193</b>	14	179	<b>294</b>	35	259
<b>2012</b>	<b>391</b>	44	347	<b>167</b>	18	149	<b>224</b>	26	198
<b>2013</b>	<b>470</b>	44	426	<b>194</b>	14	180	<b>276</b>	30	246
<b>2014</b>	<b>514</b>	51	463	<b>210</b>	20	190	<b>304</b>	31	273
<b>2015</b>	<b>510</b>	46	464	<b>250</b>	19	231	<b>260</b>	27	233
<b>2016</b>	<b>587</b>	36	551	<b>300</b>	14	286	<b>287</b>	22	265
<b>2017</b>	<b>704</b>	49	655	<b>360</b>	30	330	<b>344</b>	19	325
<b>2018</b>	<b>700</b>	39	661	<b>327</b>	11	316	<b>373</b>	28	345
<b>2019</b>	<b>698</b>	44	654	<b>334</b>	13	321	<b>364</b>	31	333

En la Figura 1.1, se representa la evolución de los casos de nódulos en las cuerdas vocales. La disgregación de los datos estadísticos por sexos permite determinar que se trata de una enfermedad profesional que afecta mayoritariamente a las mujeres. Además, puede apreciarse una clara tendencia al aumento en el número de casos desde el año 2007 hasta la actualidad.



**Figura 1.1. Número de caso de nódulos de las cuerdas vocales por sexo y año.**

En la Figura 1.2, se muestra la evolución de los casos de nódulos en las cuerdas vocales, diferenciando entre casos con y sin baja. Puede observarse que gran parte de los casos producidos, aproximadamente un 45%, han impedido que el trabajador pudiera continuar desempeñando sus funciones habituales, lo que pone de manifiesto la necesidad de prevenir esta enfermedad profesional.



**Figura 1.2. Número de caso de nódulos de las cuerdas vocales sin baja y con baja.**

Todo ello, evidencia la importancia de estudiar las condiciones que influyen en el desarrollo de esta enfermedad profesional, para poder adoptar las medidas preventivas necesarias. En el ámbito docente, el desarrollo de trastornos en la voz relacionados con la actividad laboral depende de múltiples factores, dentro de los cuales podemos destacar los siguientes:

- **Organización del tiempo de trabajo.** Uno de los principales factores de riesgo en el desarrollo de nódulos en las cuerdas vocales es el uso de la voz de forma mantenida y continua durante largos periodos de tiempo. Por ello, es fundamental una correcta organización del tiempo de trabajo, limitando el tiempo de uso de la voz de forma continua y garantizando las pausas necesarias para descansar la voz.
- **Salud vocal.** Los hábitos vocales inadecuados, como la iniciación fuerte del habla, el carraspeo, la falta de hidratación y la respiración alterada, son factores que aumentan el riesgo de sufrir alteraciones en la voz (Agostini-Zampieron et al., 2013). En este sentido, es de especial importancia la información y formación del profesorado en el uso de la voz.
- **Condiciones ambientales de las aulas.** Una baja humedad y un alto contenido el polvo, pueden secar la mucosa de la membrana de las cuerdas vocales y afectar a la producción de la voz. Por otro lado, ciertos compuestos orgánicos volátiles de materiales de construcción pueden aumentar el riesgo de inflamación de las membranas de las cuerdas vocales (Sala et al., 2002). Con todo esto, es fundamental garantizar una adecuada calidad del aire interior de las aulas.
- **Condiciones acústicas de las aulas.** Las aulas con una acústica deficiente y un elevado ruido de fondo provocan que los profesores eleven la voz, lo que incrementa la probabilidad de sufrir trastornos en la voz (Radosz, 2012b). En este sentido, es necesario garantizar unas adecuadas condiciones acústicas en las aulas y un adecuado aislamiento acústico que limite el ruido de fondo.

Dentro de los factores de riesgo expuestos, este estudio se centra en la influencia de las condiciones acústicas del aula en el desarrollo de problemas en la voz en el ámbito docente. Para ello, resulta necesario realizar una revisión bibliográfica sobre las principales investigaciones llevadas a cabo en este ámbito de estudio. Además, a falta de un criterio claro que establezca el diseño acústico óptimo de las aulas para garantizar la salud vocal del profesorado, resulta necesario analizar las investigaciones realizadas en este tema, con el fin de obtener unos parámetros acústicos óptimos que se puedan tomar como base para el diseño acústico de las aulas.

## **1.2. Objetivos.**

### ***1.1.1. Objetivo general.***

- Realizar una revisión bibliográfica sobre las investigaciones desarrolladas en el ámbito de los trastornos de la voz derivados de las condiciones acústicas de las aulas en el ámbito docente.

### ***1.1.2. Objetivos específicos.***

- Obtener toda la información relevante sobre los trastornos de la voz derivados de las condiciones acústicas de las aulas en el ámbito docente.
- Analizar las investigaciones realizadas y seleccionar los resultados y conclusiones de mayor relevancia.
- Determinar la influencia de las condiciones acústicas de las aulas en el desarrollo de problemas en la voz en el ámbito docente.
- Determinar las condiciones acústicas óptimas en las aulas para prevenir el desarrollo de trastornos de la voz en el profesorado.

# Capítulo 2

## Metodología

Para la revisión bibliográfica, se ha utilizado la metodología propuesta por E. Gómez-Luna et al., quienes estructuran el procedimiento en las fases que se exponen a continuación, las cuales se retroalimentan a lo largo del proceso de búsqueda (Gómez-Luna et al., 2014).

### 2.1. Definición del problema.

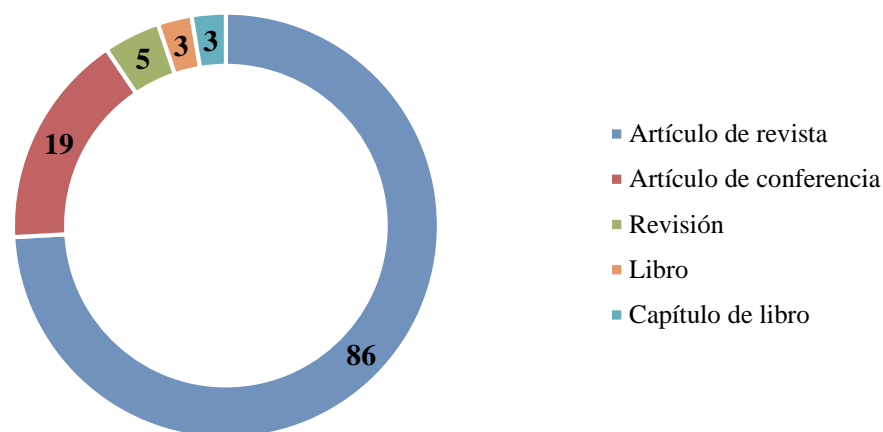
Para realizar una búsqueda bibliográfica satisfactoria, es necesario definir el problema de forma clara y concisa, de forma que permita obtener la información más relevante sobre el campo de estudio dentro de la gran cantidad de información científica existente en la actualidad (Gómez-Luna et al., 2014). En este estudio, como tema se ha definido “los trastornos de la voz derivados de las condiciones acústicas de las aulas en el ámbito docente”.

### 2.2. Búsqueda de información.

La búsqueda bibliográfica debe realizarse de forma estructurada y profesional, obteniendo la información en fuentes académicamente reconocidas, donde encontramos los libros, las revistas, las actas de congresos, los reportes técnicos, las normas y las tesis. En este sentido, es importante que se trate de trabajos que hayan sido revisados cuidadosamente por expertos antes de ser publicados. En el proceso de revisión bibliográfica, se deben emplear ecuaciones de búsqueda, las cuales están formadas por palabras clave y operadores lógicos, con el objetivo de identificar los principales estudios desarrollados sobre el tema (Gómez-Luna et al., 2014).

En este estudio, se ha realizado una búsqueda bibliográfica en la base de datos Scopus, utilizando la siguiente ecuación de búsqueda: *dysphonia OR "vocal disorders" OR "vocal problems" OR "voice disorders" OR "voice problems") AND (teachers) AND (classroom) AND ("acoustic quality" OR "acoustic conditions" OR "acoustic characteristics"*. En este proceso, se han seleccionado cuidadosamente las palabras clave y los operadores lógicos para limitar el número de resultados sin perder información relevante sobre el tema. El ámbito de la búsqueda se ha limitado entre los años 2000 y 2020, obteniendo un total de 116 resultados. En la Figura 2.1, se muestran los porcentajes de

cada una de las fuentes obtenidas (artículos de revistas, artículos de conferencias, revisiones, libros y capítulos de libros) respecto del total de la búsqueda.



**Figura 2.1. Fuentes obtenidas en el proceso de búsqueda bibliográfica.**

### 2.3. Organización de la información.

La organización de la información es una fase fundamental en toda revisión bibliográfica. Puede realizarse de forma manual, lo que puede resultar lento y deficiente, o mediante software específicos, como JabRef, Zotero, Mendeley, Endnote o Reference manager (Gómez-Luna et al., 2014).

En este estudio, los documentos obtenidos en el proceso de búsqueda han sido organizados y agrupados por temáticas, utilizando el software Mendeley. La clasificación se ha realizado mediante la información aportada por los títulos, palabras clave y resúmenes de los trabajos. Los 116 trabajos encontrados han sido agrupados en 11 grupos temáticos, según se muestra en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1. Grupos temáticos de la búsqueda bibliográfica.**

Grupos temáticos	Número de documentos
Grupo 1: Problemas en la voz derivados de las condiciones acústicas de las aulas	54
Grupo 2: Problemas en el aprendizaje derivados de las condiciones acústicas de las aulas	19
Grupo 3: Diseño acústico óptimo de las aulas	10
Grupo 4: Problemas en la voz derivados de otros factores	9
Grupo 5: Problemas en la voz no relacionados con la actividad laboral	7
Grupo 6: Riesgos derivados de la exposición a ruido	5
Grupo 7: Amplificación de la voz en las aulas	3
Grupo 8: Dosimetría de la voz	3
Grupo 9: Confort acústico en usos diferentes al docente	2
Grupo 10: Formación en el uso de la voz	2
Grupo 11: Tratamientos para mejorar la salud de la voz	2



Adicionalmente, la base de datos bibliográfica Scopus clasifica la documentación obtenida en la búsqueda atendiendo a diferentes variables como, por ejemplo, el número de publicaciones por año (Figura 2.2), el número de publicaciones por autor (Figura 2.3) o los países en los que se publicaron los documentos (Figura 2.4). Esta información permite obtener una visión global de la documentación, lo que facilita su posterior análisis.

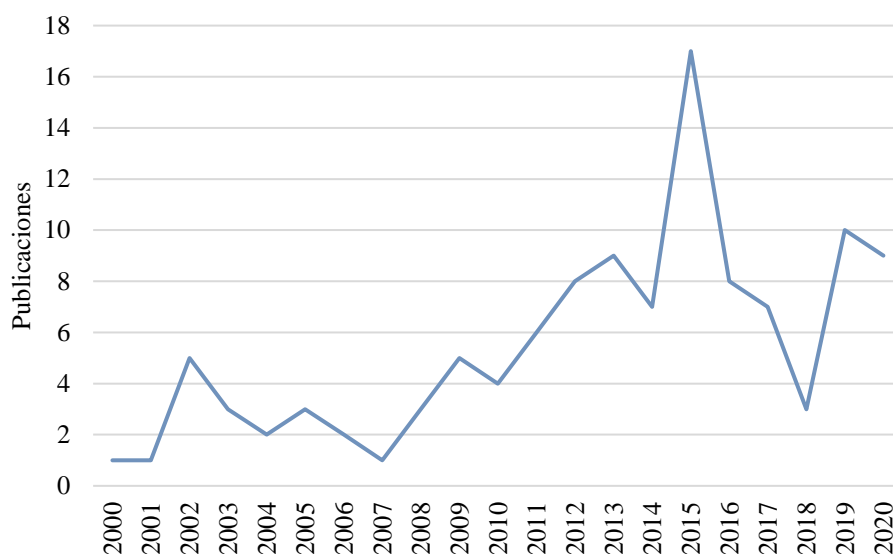


Figura 2.2. Número de publicaciones por año.

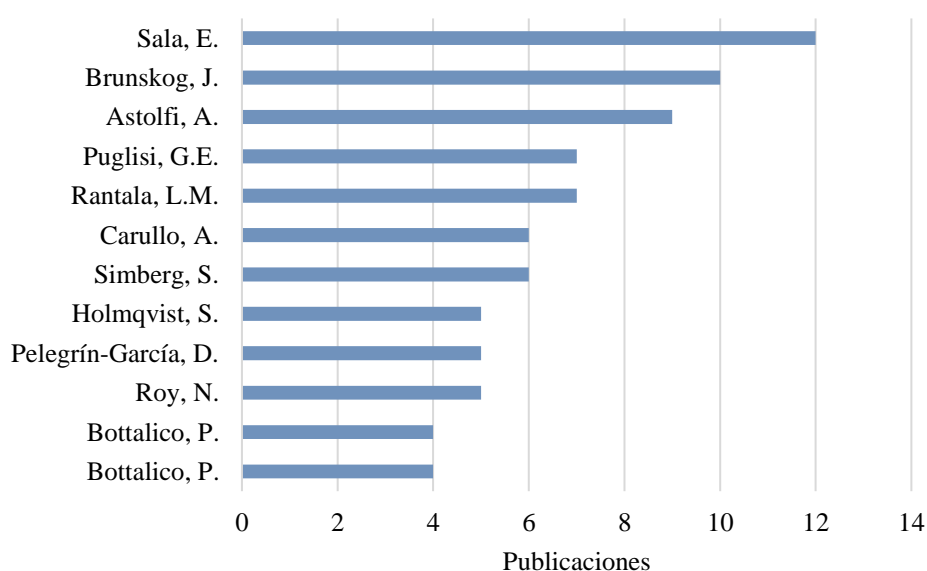
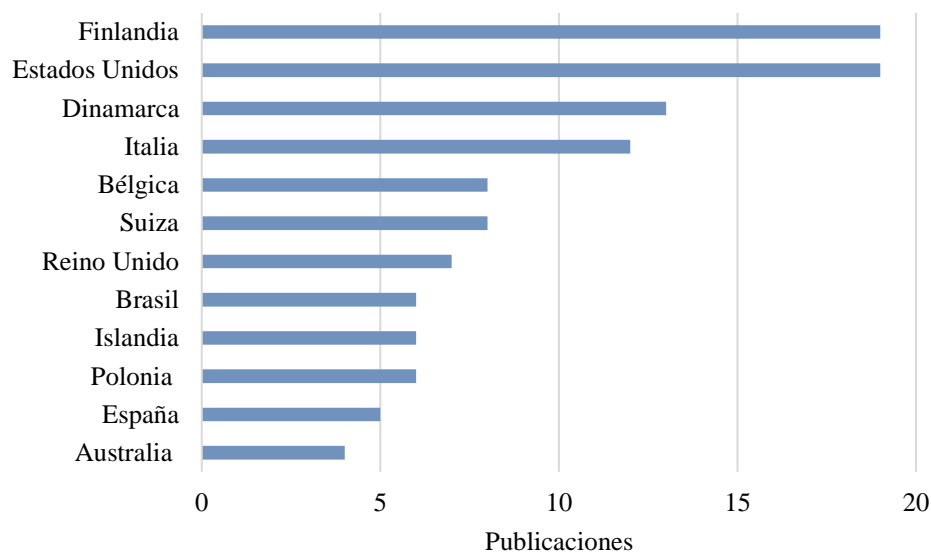


Figura 2.3. Número de publicaciones por autor.



**Figura 2.4. Número de publicaciones por país.**

## 2.4. Análisis de la información.

Una vez organizada la información, se puede iniciar su análisis con el objetivo de determinar cuáles son los documentos de mayor interés para la elaboración del estado del arte. Para ello, se ha realizado la lectura de los resúmenes y conclusiones de los documentos con mayor número de citaciones de cada grupo temático. Tras finalizar este proceso, de los 11 grupos temáticos formados en la fase de organización de la información, se seleccionaron los grupos que se muestran en la Tabla 2.2 como los de mayor interés, lo cual supone un total de 64 documentos.

**Tabla 2.2. Grupos temáticos de mayor interés.**

Grupos temáticos	Número de documentos
Grupo 1: Relación entre los problemas en la voz y las condiciones acústicas de las aulas	<b>54</b>
Grupo 3: Diseño acústico óptimo de las aulas	<b>10</b>

Tras la lectura en detalle de los 64 documentos, se han seleccionado 11 documentos como los de mayor relevancia en el ámbito de estudio seleccionado, con los que se ha elaborado el estado del arte.

# Capítulo 3

## Resultados

Tras la realización de la revisión bibliográfica, encontramos diferentes autores que relacionan los problemas de la voz en el ámbito docente con el uso continuado de niveles de voz elevados por parte del profesorado, lo que es consecuencia de un excesivo ruido de fondo y unas condiciones acústicas de las aulas deficientes. J. Radosz afirma que las condiciones acústicas adversas en las aulas, como un alto nivel de ruido de fondo y un tiempo de reverberación prolongado, son factores de riesgo en relación con el desarrollo de trastornos del habla en el ámbito docente. Los altos niveles de ruido de fondo en las aulas obligan a los profesores a levantar la voz para garantizar una mejor comprensión del habla. Esto conduce a un mayor esfuerzo vocal que puede derivar en una enfermedad ocupacional, el trastorno crónico de la voz debido a un esfuerzo vocal excesivo (Radosz, 2012b).

A continuación, se exponen los estudios experimentales de mayor relevancia sobre la influencia de las condiciones acústicas de las aulas en el desarrollo de patologías en la voz, indicando para cada uno de ellos el tamaño de la muestra, la metodología seguida y los principales resultados y conclusiones.

D. Augustyńska et al. realizaron, en 2010, un evaluación sobre las consecuencias de la exposición al ruido en el ámbito docente. La muestra estaba formada por 187 profesores de 3 escuelas de primaria. La evaluación se realizó mediante cuestionarios, análisis de datos estadísticos, mediciones de ruido y mediciones acústicas de 72 aulas (tiempo de reverberación e índice de transmisión del habla). Como conclusión relevante, en esta investigación se determinó que los altos niveles de ruido de fondo en las aulas obligan a los profesores a alzar la voz para asegurar una mejor comprensión del habla. En este sentido, las propiedades acústicas desfavorables en aulas debidas a tiempos de reverberación demasiado altos, generan un aumento del ruido general en las aulas y reducen la calidad en la recepción del habla. Todo ello conduce a un mayor esfuerzo vocal del profesorado que puede derivar en trastornos crónicos de la voz (Augustyńska et al., 2010).

D. Pelegrin-García et al. realizaron, en 2011, un estudio de campo sobre la influencia de la acústica de las aulas en los niveles de voz de los profesores con y sin problemas de voz. La muestra estaba formada por 27 profesores de escuelas de primaria y secundaria, 14 sin problemas de voz y 13 con problemas. La metodología del estudio incluye la realización de cuestionarios, la evaluación de la salud vocal mediante exámenes, la medición del nivel de voz de los profesores mediante dosímetros,

la medición de las condiciones acústicas de las aulas (tiempo de reverberación y soporte de voz) y la medición del ruido de fondo durante la actividad. Los resultados del estudio muestran que los profesores, tanto con como sin problemas previos de voz, aumentan su intensidad vocal con el aumento del ruido de la actividad, de acuerdo con el efecto Lombard. Además, se encontró que los profesores disminuyeron sus niveles de voz al aumentar el soporte voz, parámetro que cuantifica la ampliación de la voz que ofrece la sala. Los profesores con problemas de voz hacen un uso más eficiente del soporte de voz disminuyendo en mayor medida el nivel de voz, lo que los autores relacionan con un mecanismo de adaptación para preservar la salud vocal (Pelegri-García et al., 2011).

J. Radosz realizó, en 2012, un estudio experimental para verificar cómo afecta la acústica de las aulas a la presión sonora de la voz de los profesores. En total, se estudiaron las propiedades acústicas de 21 aulas de escuelas de primaria. Las medidas de las propiedades acústicas se realizaron según la norma ISO 3382-1: 2009 y las medidas de los niveles de presión sonora según el método de Hodgson. Para estudiar la relación entre las variables se utilizó el análisis de correlación de rangos de Spearman. Como conclusiones del estudio, se obtuvo que el nivel de presión sonora de la voz de los profesores está influenciado por una serie de factores, incluido el ruido de fondo e indirectamente la acústica del aula. Por ello, una de las posibilidades para mejorar las condiciones laborales de los docentes es crear un clima acústico adecuado en el lugar de trabajo (Radosz, 2012a).

L. Rantala y E. Sala realizaron, en 2015, un estudio sobre la asociación entre el ruido (ambiental y de la actividad) y las mediciones objetivas de las voces de los profesores en entornos de trabajo reales, es decir, en las aulas. El estudio se realizó sobre una muestra de 40 profesores de primaria, 32 mujeres y 8 hombres. En este estudio, se midió el ruido ambiental durante los descansos y del ruido provocado por la actividad de los alumnos durante las clases en 14 aulas. Asimismo, se grabaron muestras de voz de los profesores antes y después de la jornada laboral, donde se analizó, entre otras variables, el nivel de presión sonora de la voz. Los resultados muestran una correlación alta entre el ruido y el nivel de presión sonora de la voz de los profesores. Asimismo, los resultados indican que el efecto Lombard influye en el nivel de presión sonora de la voz de manera más consistente bajo ruido ambiental que bajo ruido de actividad (Rantala & Sala, 2015).

N. Durup et al. realizaron, en 2015, una investigación sobre la relación entre los parámetros acústicos de las aulas y los parámetros de las voces de los profesores. En este estudio, se realizaron mediciones in situ de las voces de 20 profesores mientras daban clase y mediciones acústicas de las aulas. Se utilizó un monitor de fonación ambulatoria para medir los parámetros de la voz de los profesores (nivel de presión sonora de la voz, frecuencia fundamental y tiempo de fonación) directamente de las vibraciones de la piel en el cuello, eliminando así otras fuentes de ruido en el ambiente. El análisis de los datos obtenidos muestra una correlación positiva entre los niveles de ruido ambiental y los niveles de voz de los profesores que trabajan en esas aulas (Durup et al., 2015).

L. Cantor Cutiva y A. Burdorf realizaron, en 2016, un estudio longitudinal para determinar las asociaciones entre los factores acústicos relacionados con el trabajo y las quejas de la voz en el ámbito docente. Se realizó un seguimiento durante 11 meses sobre una muestra de 682 profesores de primaria. La metodología incluye la realización de cuestionarios sobre la naturaleza y gravedad de las quejas de la voz y mediciones acústicas de los lugares de trabajo. Los resultados del estudio muestran que un alto nivel de ruido en las aulas está relacionado con la incidencia de quejas de la voz, mientras que una mala acústica de las aulas se asocia con quejas de problemas crónicos de voz (Cantor Cutiva & Burdorf, 2016).

G. Puglisi et al. realizaron, en 2017, un estudio sobre el uso ocupacional de la voz en las aulas. La muestra estaba formada por 27 maestras escuelas de primaria, a las que se les realizó un seguimiento de la voz durante 4 días. Se adquirieron 61 muestras de voz durante la jornada laboral en cuatro escuelas cuyas aulas presentan unas condiciones acústicas muy diferentes. Los parámetros de voz se analizaron en relación con el tiempo de reverberación, el soporte de voz, la ganancia de la sala, el

tiempo de caída en los oídos y el nivel de ruido de fondo. En este estudio, se observó que las maestras tienden a elevar la voz cuando aumenta el ruido de fondo, siguiendo el efecto Lombard, con una relación 0,53dB/dB. Se observó, además, que el ruido de fondo tiende a aumentar con el aumento del tiempo de reverberación de las aulas en una proporción de 13dB/s (Puglisi et al., 2017).

G. Calosso et al. realizaron, en 2017, un estudio longitudinal sobre los parámetros de voz de los profesores y la influencia de la acústica de las aulas. Este estudio tenía como objetivos determinar los cambios en el uso de la voz de los profesores durante un año escolar y estudiar las relaciones entre el uso de la voz y los parámetros acústicos de las aulas. En el estudio, participaron 31 profesores de secundaria durante un año escolar. La actividad vocal de los profesores se monitorizó mediante un analizador vocal de mesa desarrollado en el Politécnico di Torino de Carullo. Además, se tomaron medidas del ruido de fondo y de las características acústicas de las aulas. Los resultados del estudio muestran que los profesores ajustan sus voces al ruido y al tiempo de reverberación de las aulas. Encontraron que los profesores que trabajan en malas condiciones acústicas, utilizan un mayor nivel de voz durante las actividades laborales, lo que a largo plazo puede derivar en problemas en la voz. (Calosso et al., 2017).

Y. Redman et al. realizaron, en 2020, un estudio sobre los trastornos de la comunicación en los profesores, que incluyen el deterioro de los sistemas auditivos y del habla, en relación con las características acústicas del lugar de trabajo y el nivel de ruido. El estudio, realizado sobre una muestra de 8 profesores universitarios, incluye cuestionarios, evaluaciones previas y posteriores de la calidad de voz y el estado auditivo y medición de ruido y condiciones acústicas de las aulas. Como conclusiones de este estudio, se obtuvo que la interacción del espacio acústico y los niveles de ruido puede contribuir al desarrollo de problemas de audición y trastornos de la voz para los profesores. (Redman et al., 2020).

Asumida la influencia de la acústica de las aulas en el desarrollo de problemas en la voz, encontramos diferentes autores que han realizado investigaciones para determinar el diseño acústico óptimo de las aulas para garantizar la salud vocal del profesorado. En este sentido, destaca el estudio realizado por D. Pelegrin-García y J. Brunskog, quienes determinaron los valores óptimos del tiempo de reverberación en función del número de estudiantes y del volumen de las aulas. Según su estudio, para aulas de 10 alumnos y volúmenes entre 60 y 170 m<sup>3</sup>, el tiempo de reverberación en condiciones de ocupación debe estar entre 0,5 y 0,65 segundos, mientras que, para aulas con 40 alumnos y volúmenes entre 240 y 280 m<sup>3</sup>, el tiempo de reverberación debe estar entre 0,7 y 0,75 segundos. (Pelegrin-García & Brunskog, 2012). En un estudio posterior, D. Pelegrin-García et al. establecieron que los valores recomendados de tiempo de reverberación para métodos de enseñanza flexibles están entre 0,45 y 0,6 segundos en aulas completamente ocupadas y entre 0,6 y 0,7 segundos en estado desocupado pero amueblado, para aulas con menos de 40 estudiantes y volúmenes por debajo de 210 m<sup>3</sup>. Al diseñar aulas más grandes, un estudio acústico específico que tenga en cuenta consideraciones sobre la geometría, el material y la ubicación del orador/público puede ayudar a proporcionar una buena inteligibilidad del habla en la audiencia, al tiempo que aumenta el soporte de la voz y reduce el esfuerzo vocal (Pelegrín-García et al., 2014).

G. Puglisi et al. determinaron, en su estudio sobre el uso ocupacional de la voz en las aulas, que el tiempo de reverberación óptimo para minimizar el esfuerzo vocal es de 0,7 segundos. Encontraron que los profesores tienden a levantar la voz con tiempos de reverberación más bajos y más altos (Puglisi et al., 2017). Por su parte, G. Calosso et al. determinaron, en su estudio longitudinal sobre los parámetros de voz de los profesores y la influencia de la acústica de las aulas, que el valor mínimo de nivel de presión sonora de las voces de los profesores se corresponde con un tiempo de reverberación medio de 0,8 segundos (Calosso et al., 2017).

A modo de resumen y teniendo en cuenta las investigaciones analizadas, en la Tabla 3.1 se indican los tiempos de reverberación óptimos en el diseño de las aulas para reducir el esfuerzo vocal de los profesores y prevenir el desarrollo de trastornos de la voz.

**Tabla 3.1. Tiempos de reverberación óptimos para minimizar el esfuerzo vocal de los profesores.**

Autor/ autores	Características del aula	Tiempo de reverberación [s]
<b>Pelegrin-Garcia y J. Brunskog (2012)</b>	10 alumnos, volumen 60 -170 m <sup>3</sup> , sala ocupada	<b>0,5-0,65</b>
	40 alumnos, volumen 240 -280 m <sup>3</sup> , sala ocupada	<b>0,7-0,75</b>
	Más de 50 alumnos, volumen >280 m <sup>3</sup>	-
<b>D. Pelegrin-García et al (2014)</b>	Menos de 40 alumnos, volumen inferior a 210 m <sup>3</sup> , sala ocupada	<b>0,45-0,6</b>
	Menos de 40 alumnos, volumen inferior a 210 m <sup>3</sup> , sala desocupada pero amueblada	<b>0,6-0,7</b>
	Más de 40 alumnos, volumen > 210 m <sup>3</sup>	-
<b>G. Puglisi et al. (2017)</b>	-	<b>0,7</b>
<b>G. Calosso et al. (2017)</b>	-	<b>0,8</b>

Cabe destacar que estos resultados están en consonancia con resultados obtenidos para los tiempos de reverberación óptimos en el diseño acústico de aulas de enseñanza para garantizar una adecuada inteligibilidad del habla, lo que favorece la comprensión del alumnado. En este sentido, S. Bistafa y J. Bradley establecen que el tiempo de reverberación óptimo en aulas en estado desocupado y con una relación señal-ruido de 10 dB es de 0,5 segundos para un volumen de 100m<sup>3</sup>, 0,7 segundos para un volumen de 300 m<sup>3</sup> y 0,8 segundos para un volumen de 500 m<sup>3</sup> (Bistafa & Bradley, 2000), según se establece en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2. Tiempos de reverberación óptimos para obtener una adecuada inteligibilidad del habla.**

Autor/ autores	Características del aula	Tiempo de reverberación [s]
<b>S. Bistafa y J. Bradley (2000)</b>	Volumen 100m <sup>3</sup> , relación señal-ruido de 10dB, sala desocupada.	<b>0,5</b>
	Volumen 300m <sup>3</sup> , relación señal-ruido de 10dB, sala desocupada.	<b>0,7</b>
	Volumen 500m <sup>3</sup> , relación señal-ruido de 10dB, sala desocupada.	<b>0,8</b>

Estos resultados muestran que es posible diseñar acústicamente aulas que, por un lado, favorezcan la transmisión de la palabra y una adecuada comprensión del alumnado y, por otro, minimicen el esfuerzo vocal del profesorado para prevenir el desarrollo de trastornos de la voz.

En cuanto a la normativa actual en vigor en esta materia, el Documento Básico de Protección contra el ruido del Código Técnico de la Edificación (DB HR - CTE), establece los valores límites del tiempo de reverberación para aulas de menos de 350 m<sup>3</sup>, según se indica en la Tabla 3.3. No obstante, esta normativa no regula los criterios para el diseño acústico de aulas de volúmenes mayores que 350m<sup>3</sup>, en cuyo caso se requerirá un estudio acústico específico.

Tabla 3.3. Valores límite de tiempo de reverberación establecidos por el DB HR -CTE para aulas.

Norma	Características del aula	Tiempo de reverberación [s]
DB HR - CTE	Volumen < 350m <sup>3</sup> , sala desocupada, pero con mobiliario.	<b>0,5</b>
	Volumen < 350m <sup>3</sup> , sala desocupada y sin mobiliario.	<b>0,7</b>
	Volumen > 350m <sup>3</sup>	-





# Capítulo 4

## Conclusiones

La revisión bibliográfica evidencia el bajo número de investigaciones realizadas sobre los trastornos de la voz derivados de las condiciones acústicas de las aulas en el ámbito docente. Además, gran parte de los estudios experimentales analizados se han realizado sobre tamaños de muestra pequeños, lo que limita la extrapolación de los resultados. Por todo ello, resulta necesario realizar un mayor número de estudios sobre el tema con tamaños de muestra representativos, de cara a poder obtener unos resultados fiables sobre la relación entre la acústica de las aulas y los trastornos de la voz en el ámbito docente.

Las investigaciones analizadas muestran que los profesores adaptan el uso de la voz a las condiciones acústicas de las aulas. Los profesores que trabajan en aulas con malas condiciones acústicas y niveles altos de ruido, utilizan un mayor nivel de voz, lo que a largo plazo puede derivar en problemas en la voz, como la aparición de nódulos en las cuerdas vocales. Así, se presenta la acústica deficiente en las aulas como un factor de riesgo frente al desarrollo de trastornos de la voz en el ámbito docente. Por ello, resulta relevante establecer un adecuado diseño acústico de las aulas, teniendo en cuenta los parámetros acústicos de la sala y el aislamiento al ruido, con el objetivo de garantizar la salud vocal de los profesores. En este sentido, diferentes autores han establecido valores óptimos del tiempo de reverberación en el diseño acústico de aulas para minimizar el esfuerzo vocal del profesorado, los cuales están en consonancia con los tiempos de reverberación óptimos para garantizar una adecuada inteligibilidad del habla. Estos resultados muestran la posibilidad de diseñar acústicamente aulas teniendo en cuenta tanto las necesidades de los oradores como las de los oyentes.

Cabe destacar, por otro lado, que en la situación actual de emergencia sanitaria provocada por el Covid-19, se deben mantener las ventanas y puertas de las aulas abiertas durante las sesiones, lo que provoca un aumento notable del ruido de fondo. Este hecho, sumado a la atenuación de la voz producida por las mascarillas de uso obligatorio durante las clases, genera un esfuerzo vocal adicional para el profesorado.

Con todo ello, la segunda parte de este trabajo tiene como objetivo analizar las condiciones acústicas de un aula de la Universitat Politècnica de València y realizar una propuesta de mejora para alcanzar unos valores acústicos óptimos, como medida preventiva frente al riesgo de sufrir trastornos en la voz.



**PARTE II**

**Estudio acústico de un aula  
de la UPV**



# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Justificación.

Hoy en día, encontramos numerosas aulas con unas condiciones acústicas deficientes. Este hecho, aparte de los problemas que genera en el aprendizaje del alumnado, aumenta el riesgo de sufrir trastornos en la voz en el profesorado. Por ello, es de vital importancia realizar un correcto diseño acústico de las aulas con el fin de garantizar la salud vocal de los docentes.

Las investigaciones analizadas evidencian que un excesivo ruido de fondo en las aulas es un factor de riesgo en el desarrollo de trastornos de la voz en el profesorado. Siguiendo el efecto Lombard, los profesores tienden a aumentar su intensidad vocal con el aumento del ruido de la actividad, lo que a largo plazo puede derivar en daños en las cuerdas vocales. Por ello, es de vital importancia que las aulas tengan un aislamiento acústico adecuado. Por otro lado, el tiempo de reverberación de las aulas es un parámetro que influye en el esfuerzo vocal del profesorado. Los tiempos de reverberación excesivamente largos, dificultan la inteligibilidad del habla, pues se generan una serie de sonidos reverberantes que se superponen a la señal directa de la voz del profesor, generando un aumento del ruido de fondo. En estas circunstancias, los profesores tienden a aumentar el nivel de presión sonora de su voz para poder ser comprendidos correctamente por los alumnos. Asimismo, los tiempos de reverberación excesivamente bajos provocan que la intensidad sonora sea menor en cada punto del aula, por lo que los profesores tienden igualmente a elevar el nivel de voz.

Con todo ello, este estudio tiene como objetivo analizar el comportamiento acústico de un aula de la Universitat Politècnica de València y realizar una propuesta de mejora acústica como medida preventiva para disminuir el riesgo de sufrir trastornos en las cuerdas vocales. Las medidas irán dirigidas en dos sentidos: la mejora del aislamiento acústico con el aula contigua para reducir el ruido de fondo y la mejora del acondicionamiento acústico del aula mediante la aproximación del tiempo de reverberación a los valores óptimos para prevenir el desarrollo de problemas en la voz.

## 1.2. Objetivos.

### 1.2.1. *Objetivo general.*

- Realizar un estudio acústico de un aula de la Universitat Politècnica de València.

### 1.2.2. *Objetivos específicos.*

- A partir de la medición acústica de un aula de la Universitat Politècnica de València, analizar el comportamiento acústico del recinto.
- Comparar los datos obtenidos con los valores óptimos para minimizar el esfuerzo vocal del profesorado.
- Realizar una propuesta de mejora de las condiciones acústicas del aula.
- Obtener el resultado acústico de la propuesta de mejora del acondicionamiento acústico mediante simulaciones acústicas.
- Realizar un presupuesto estimado de la propuesta de mejora acústica.

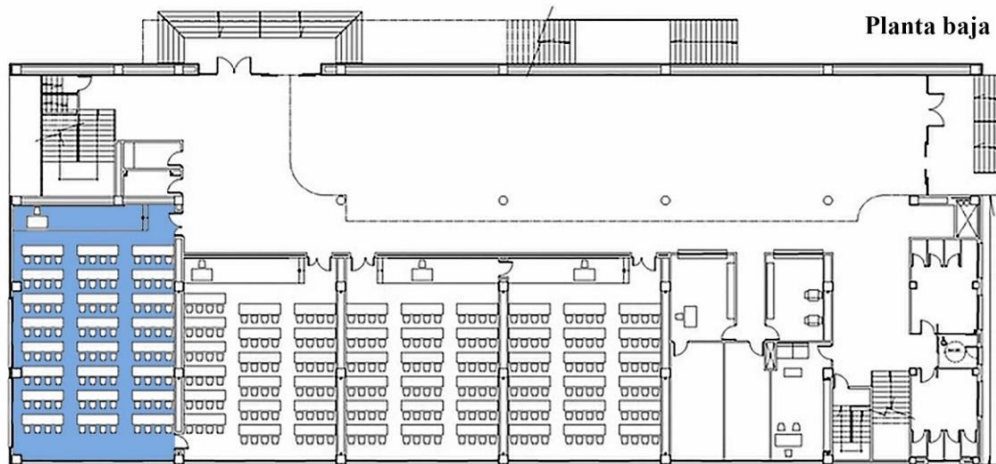
## 1.3. Ubicación y descripción del aula.

El aula estudiada está ubicada en el Aulario 0 de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (edificio 5N), dentro del Campus de Vera de la Universitat Politècnica de València (Figura 1.1).



**Figura 1.1. Plano de ubicación del edificio 5N en el Campus de Vera de la UPV.**

Este edificio, construido en el año 1997, fue diseñado por el arquitecto Eduardo Meri Llovet y el ingeniero industrial Ignacio Zabaleta Meri. Consta de cinco plantas: el sótano, habilitado para albergar la zona de aparcamientos; la planta baja, donde se distribuyen los aularios y los servicios de reprografía y conserjería; las plantas primera y segunda, destinadas íntegramente a aularios; y la planta cuarta, donde están ubicadas las aulas informáticas y una sala de estudio. El aula estudiada, identificada con el código 011, se ubica en la planta baja del edificio, según se indica en la Figura 1.2.



**Figura 1.2. Ubicación del aula 011 en el edificio 5N.**

En la Figura 1.3, se muestra una vista general del aula. Se trata de un recinto de 9,8m de anchura, 15,6m de profundidad y 3m de altura, generando un volumen de  $458,6\text{m}^3$ . Teniendo en cuenta la distribución del mobiliario, el aula tiene una capacidad máxima de 96 alumnos más el profesor o profesores. Actualmente, debido a la situación de emergencia sanitaria provocada por el Covid-19 y con el fin de garantizar la distancia de seguridad, la capacidad del aula es de 48 alumnos.



**Figura 1.3. Vista general del aula estudiada.**





# Capítulo 2

## Metodología

### 2.1. Toma de datos geométricos.

La información sobre la geometría del recinto se ha obtenido a partir de su planimetría, complementando y verificando la información con mediciones *in situ*. Para ello, se ha contado con la planta de replanteo de la tabiquería del proyecto de ejecución del edificio, facilitada por la Oficina Técnica de la Universitat Politècnica de València. Para las mediciones *in situ*, se ha utilizado un láser de medición modelo *Leica DISTO Classic* (Figura 2.1), facilitado por el Grupo de Investigación en Acústica Virtual de la Universitat Politècnica de València. En la Figura 2.2 se muestra el plano acotado obtenido tras la toma de datos.



Figura 2.1. Láser de medición modelo *Leica DISTO Classic*.

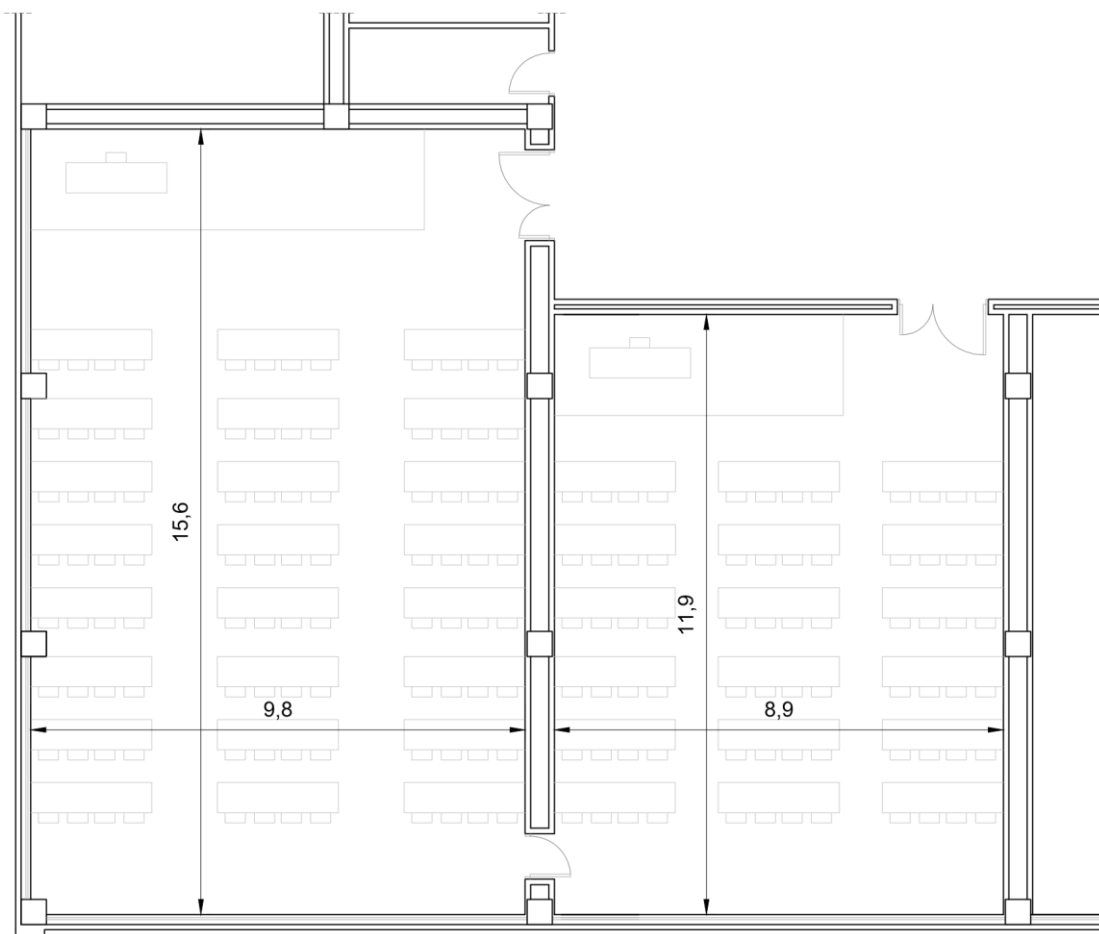


Figura 2.2. Planta acotada de las aulas 011 y 012 (E 1:150).

## 2.2. Toma de datos acústicos.

Este estudio parte de la medición acústica del aula realizada por el Grupo de Investigación en Acústica Virtual de la Universitat Politècnica de València. En la medición acústica, se empleó una fuente dodecaédrica omnidireccional modelo *DO12* y un sonómetro modelo *CESVA CS310* (Figura 2.3).



Figura 2.3. Fuente emisora modelo *DO12* y sonómetro modelo *CESVA CS310*.

### 2.2.1. Acondicionamiento acústico.

Para determinar el acondicionamiento acústico del aula, se realizó una medición *in situ* del tiempo de reverberación,  $T_R$ , del aula, tomando en consideración los criterios establecidos en la norma UNE-EN ISO-3382-1. La fuente sonora se ubicó donde se sitúa generalmente la fuente de sonido natural (profesor) y los puntos de medida se ubicaron en posiciones representativas de la zona de los oyentes (alumnado), según se muestra en la Figura 2.4. Para obtener el valor del tiempo de reverberación en cada punto, la fuente emite sonido tres veces y el sonómetro determina el tiempo requerido para que el nivel de presión acústica descienda 60dB una vez se ha cesado la emisión de sonido. De estas tres medidas, el sonómetro proporciona directamente la media, con lo que se obtiene el tiempo de reverberación,  $T_R$ , en dicho punto.

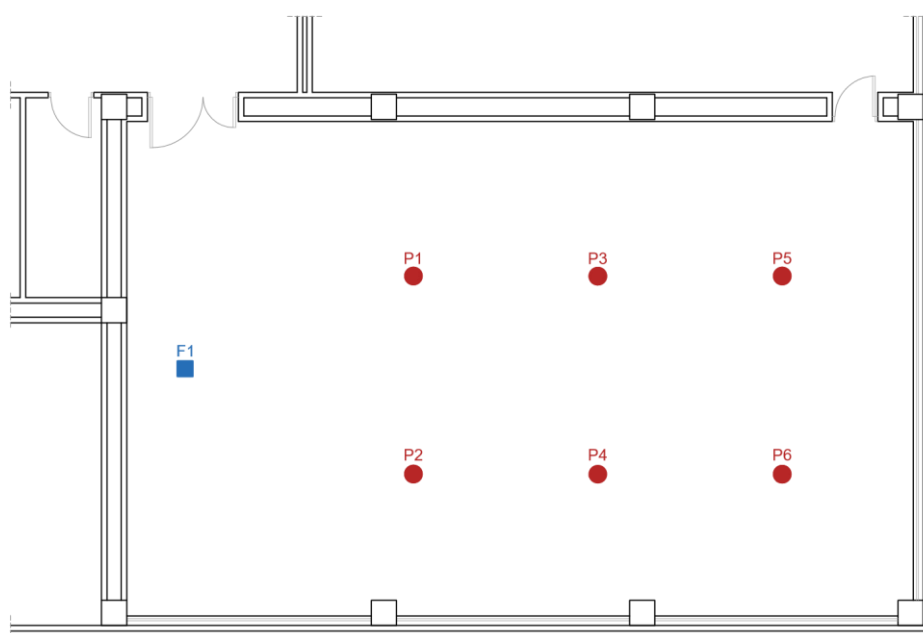


Figura 2.4. Ubicación de la fuente y los puntos de medida en la medición del tiempo de reverberación (E 1:150).

### 2.2.2. Aislamiento acústico a ruido aéreo.

Para el estudio del aislamiento acústico a ruido aéreo, se realizó una medición *in situ* entre el aula estudiada y la contigua, tomando en consideración los criterios establecidos en la norma UNE-EN ISO 16283-1. Se establecieron 5 puntos de medición en cada una de las aulas y dos posiciones de la fuente sonora, según se muestra en la Figura 2.5. En el recinto emisor, se generó un ruido de amplio espectro y se registraron con el sonómetro los niveles de presión sonora del local emisor,  $L_1$ , y del local receptor,  $L_2$ , para cada punto de medida y para cada una de las posiciones de la fuente sonora. En el local receptor, se midió con el sonómetro el nivel de ruido de fondo,  $L_F$ , en cada uno de los puntos de medida. El tiempo de reverberación,  $T_R$ , del aula receptora, necesario para los cálculos del aislamiento acústico a ruido aéreo, se ha obtenido de los resultados de la medición explicada en el apartado anterior.

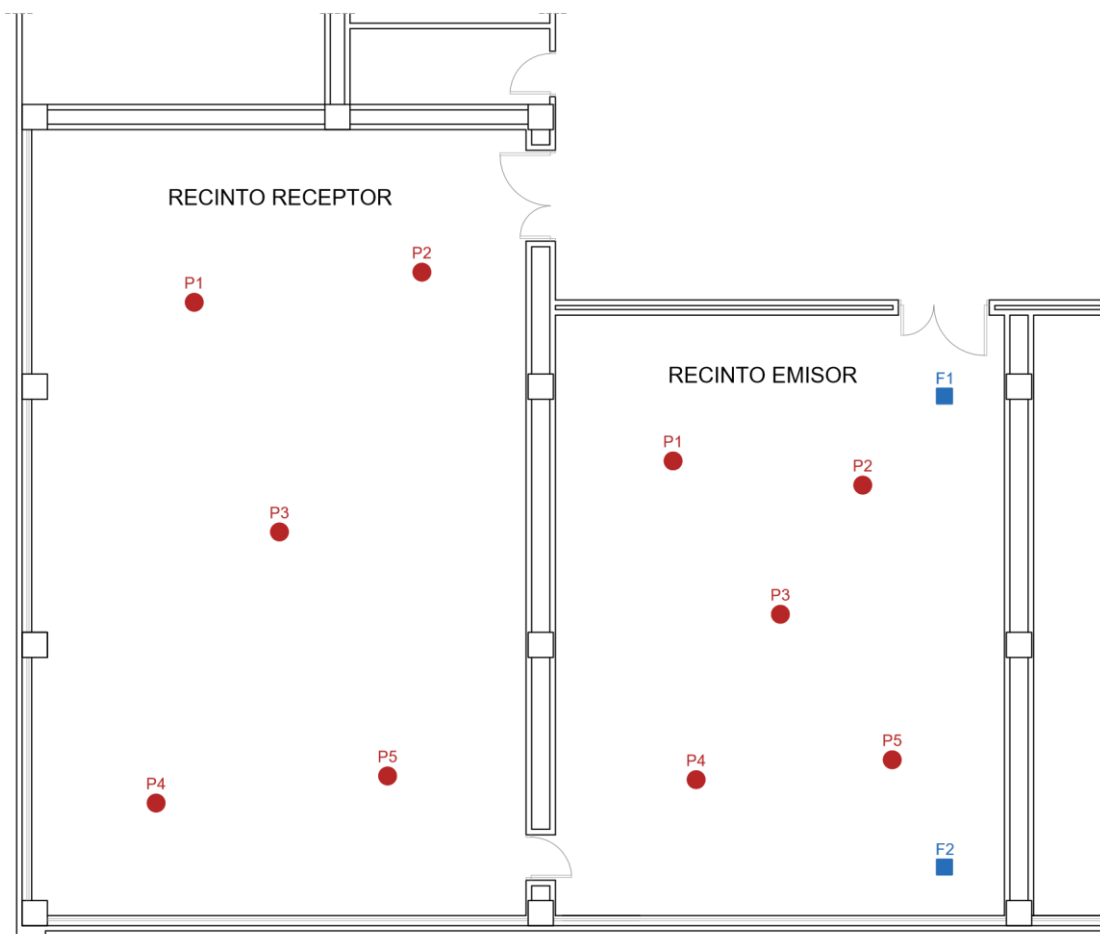


Figura 2.5. Ubicación de la fuente y los puntos de medida en la medición del nivel de presión sonora y el nivel de ruido de fondo (E 1:150).

### 2.3. Análisis de los resultados obtenidos y propuesta de mejoras acústicas.

Los resultados obtenidos en la medición acústica han sido analizados y comparados con los valores recomendables. A partir de estos datos, se ha realizado una propuesta de mejora del aislamiento y el acondicionamiento acústico del aula.

# Capítulo 3

## Resultados

### 3.1. Acondicionamiento acústico del aula.

#### 3.1.1. Tiempo de reverberación obtenido en la medición acústica.

En la Tabla 3.1, se indican los tiempos de reverberación por frecuencias obtenidos para los 6 puntos de medida en la medición acústica del aula.

Tabla 3.1. Tiempos de reverberación por frecuencias.

	Tiempo de reverberación [s] por frecuencias [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Punto 1</b>	1,02	0,98	0,92	0,88	0,88	0,87
<b>Punto 2</b>	1,01	1,02	0,92	0,88	0,91	0,88
<b>Punto 3</b>	0,97	1,00	0,93	0,88	0,92	0,86
<b>Punto 4</b>	1,01	1,01	0,94	0,89	0,89	0,83
<b>Punto 5</b>	1,04	1,01	0,91	0,90	0,88	0,82
<b>Punto 6</b>	0,94	0,97	0,94	0,90	0,92	0,84
<b>Promedio</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,93</b>	<b>0,89</b>	<b>0,90</b>	<b>0,85</b>

#### 3.1.2. Tiempo de reverberación óptimo.

Teniendo en cuenta las investigaciones analizadas y las características y dimensiones del aula, se han tomado como valores óptimos del tiempo de reverberación para prevenir el desarrollo de trastornos de la voz en el profesorado los comprendidos ente 0,65 y 0,75 segundos. Asimismo, estos valores resultan adecuados para obtener una adecuada transmisión de la palabra, lo que facilita la labor docente y la comprensión del alumnado.

En la Figura 3.1, se han representado los tiempos de reverberación por frecuencias para los 6 puntos de medida, en comparación con los tiempos de reverberación óptimos para prevenir el desarrollo de trastornos de la voz en el profesorado. Como puede observarse, los tiempos de reverberación obtenidos son superiores a los valores recomendables, por lo que la propuesta de intervención acústica tiene que ir dirigida a aumentar la absorción de los revestimientos.

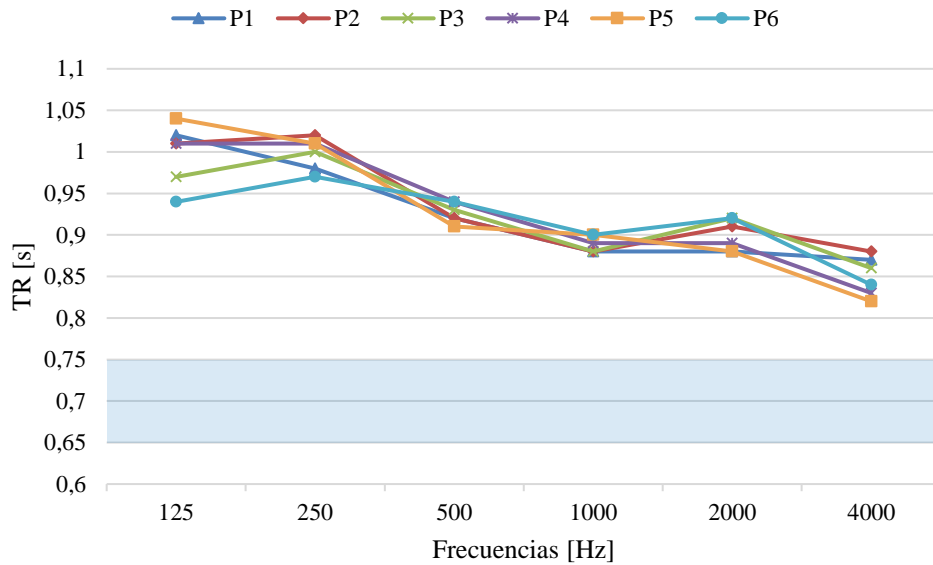


Figura 3.1. Tiempos de reverberación por frecuencias para los 6 puntos de medida.

### 3.1.3. Simulación acústica.

Para realizar la propuesta de mejora del acondicionamiento acústico del aula, se ha realizado la simulación acústica del aula con el objetivo de conocer el resultado acústico de la intervención antes de su realización práctica.

Partiendo de los datos obtenidos de los planos y las mediciones *in situ*, se ha levantado un modelo en 3D del aula, utilizado los software AutoCad y SketchUp. Debido a los requerimientos del software acústico empleado para la simulación acústica, se trata de un modelo simplificado formado por caras planas orientadas hacia el interior del recinto. En resultado final es un modelo en 3D compuesto por 592 superficies y con una superficie total de 559 m<sup>2</sup> (Figura 3.2).

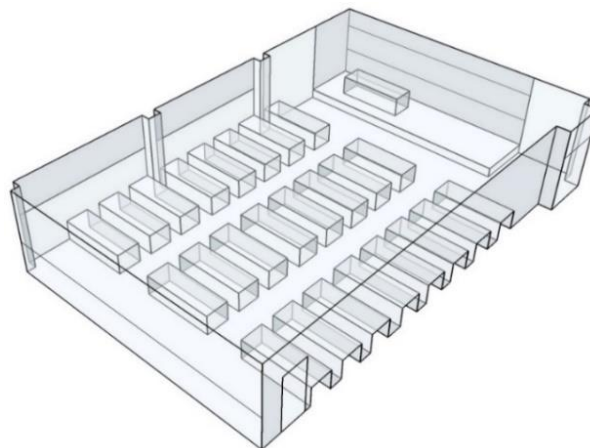


Figura 3.2. Modelo acústico simplificado.

El modelo en 3D del aula, se ha exportado al software acústico Odeon para realizar su calibración. El proceso de calibrado consiste en asignar unas características acústicas determinadas a cada una de las superficies del modelo teniendo en cuenta los materiales reales, de tal modo que el tiempo de reverberación simulado coincida o esté muy próximo al determinado experimentalmente. Para ello, se han tomado como referencia los valores de absorción obtenidos mediante ensayos normalizados, realizando los ajustes necesarios durante el proceso de calibración.

En la Tabla 3.2, se muestran los diferentes materiales existentes en el aula: revestimiento de yeso, pavimento de terrazo, pavimento vinílico, puerta de madera, estor de tela, ventada con doble acristalamiento, mobiliario de madera, pizarra y falso techo desmontable.

**Tabla 3.2. Clasificación de los materiales reales del aula.**

<b>Revestimiento de yeso</b>	<b>Pavimento de terrazo</b>	<b>Pavimento vinílico</b>
		
<b>Puerta de madera</b>	<b>Estor de tela</b>	<b>Ventana</b>
		
<b>Mobiliario de madera</b>	<b>Pizarra</b>	<b>Falso techo desmontable</b>
		

Las caras del modelo acústico se han agrupado en 9 capas según los materiales reales, para facilitar la asignación de características acústicas. En la Figura 3.3, puede apreciarse la distribución por capas, donde se ha ocultado la capa de falso techo desmontable para poder visualizar el interior del aula.

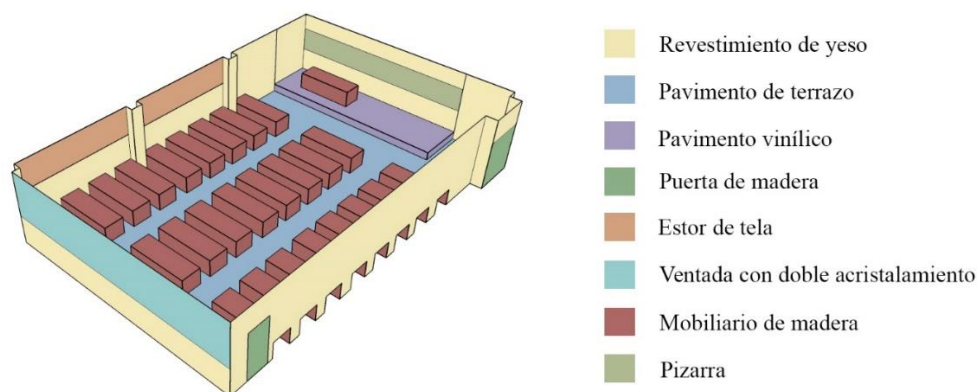


Figura 3.3. Distribución por capas del modelo acústico simplificado.

Para la calibración del modelo acústico, se han establecido los coeficientes de absorción que se indican en la Tabla 3.3 en función del tipo de material, tomando como referencia los valores obtenidos por M. Vörländer mediante ensayos normalizados (Vörländer, 2008).

Tabla 3.3. Coeficiente de absorción de los diferentes materiales por frecuencias.

	Absorción de los materiales por frecuencias (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Revestimiento de yeso <sup>1</sup>	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05
Pavimento de terrazo <sup>1</sup>	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Pavimento vinílico <sup>2</sup>	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Puerta de madera <sup>1</sup>	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10
Estor de tela <sup>1</sup>	0,10	0,38	0,63	0,52	0,55	0,65
Ventana con doble acristalamiento <sup>1</sup>	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02
Mobiliario de madera (aula vacía) <sup>1</sup>	0,05	0,08	0,10	0,12	0,12	0,12
Mobiliario de madera (aula ocupada) <sup>1</sup>	0,24	0,40	0,78	0,98	0,96	0,87
Pizarra <sup>2</sup>	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Falso techo desmontable <sup>2</sup>	0,30	0,32	0,35	0,35	0,34	0,34

<sup>1</sup> Vörländer, 2008.

<sup>2</sup> Ajustado durante el proceso de calibración.



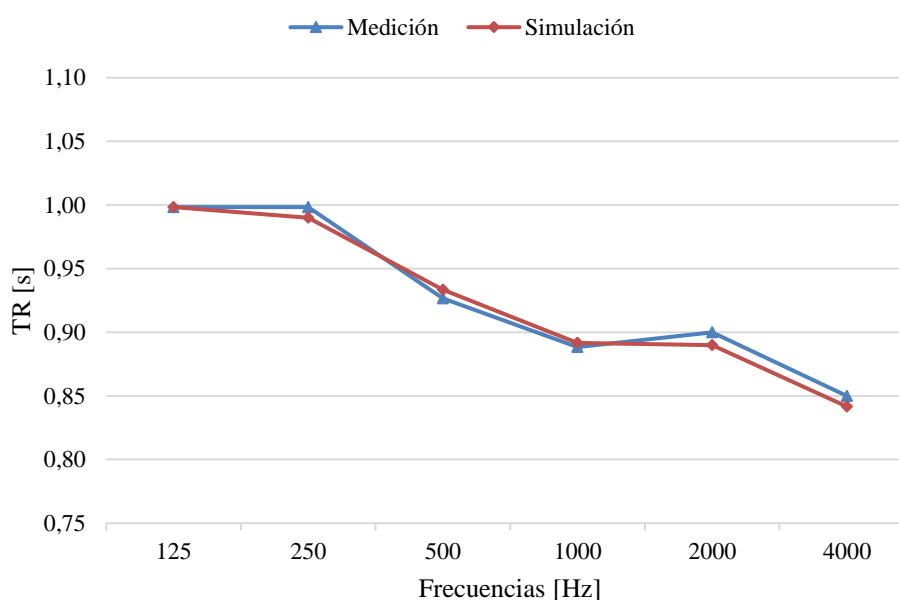
Para que la calibración del modelo acústico sea válida, la diferencia entre el tiempo de reverberación medido y simulado no debe ser perceptible para el oído humano. La norma UNE-EN ISO-3382-1 establece el umbral diferencial (JND, *Just Noticeable Difference*) para el tiempo de reverberación (promedio a frecuencias 500-1.000 Hz) en un 5%. A partir de este porcentaje, las diferencias del tiempo de reverberación son perceptibles para el oído humano.

En la Tabla 3.4, se muestra el cálculo del JND para cada uno de los puntos de medidas. Como puede observarse, todos los valores de JND son inferiores a la unidad, es decir, el error relativo es inferior al 5%. Con ello, se puede determinar que las diferencias acústicas entre el modelo real y el simulado no son perceptibles para el oído humano, resultando válida la calibración realizada.

**Tabla 3.4. Cálculo del JND para cada punto de medida.**

	Promedio 500-1000 Hz		ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)	JND
	MEDIDO	SIMULADO			
<b>Punto 1</b>	0,90	0,91	0,01	1,11	<b>0,22</b>
<b>Punto 2</b>	0,90	0,92	0,02	1,67	<b>0,33</b>
<b>Punto 3</b>	0,91	0,92	0,01	1,66	<b>0,33</b>
<b>Punto 4</b>	0,92	0,90	0,02	2,19	<b>0,44</b>
<b>Punto 5</b>	0,91	0,95	0,04	4,42	<b>0,88</b>
<b>Punto 6</b>	0,92	0,89	0,03	3,26	<b>0,65</b>

En la Figura 3.4, se muestra una comparativa entre el tiempo de reverberación promedio medido y simulado con el software Odeon. Como puede observarse, el modelo acústico reproduce adecuadamente el comportamiento acústico del aula.



**Figura 3.4. Comparativa del tiempo de reverberación promedio medido y simulado.**

Una vez obtenido el modelo acústico calibrado, se puede conocer el resultado acústico de cualquier posible intervención en el recinto antes de su realización práctica. De este modo, se pueden plantear mejoras en la calidad acústica del aula, conociendo los resultados de antemano mediante simulaciones acústicas.

### 3.1.4. Propuesta de mejora del acondicionamiento acústico.

Teniendo en cuenta que los valores del tiempo de reverberación obtenidos experimentalmente son superiores a los recomendados, la propuesta de mejora del acondicionamiento acústico debe ir dirigida a aumentar la absorción acústica de los revestimientos para reducir el tiempo de reverberación del aula.

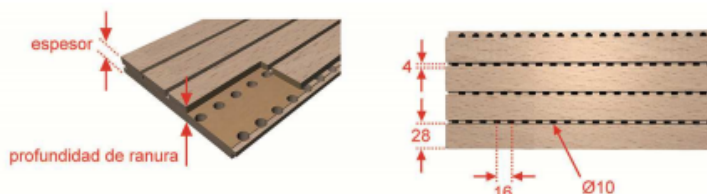
Ante esta situación, se ha optado por intervenir en el falso techo existente, mediante su sustitución por otro con un mayor coeficiente de absorción acústica. Tras realizar diversas simulaciones acústicas con falsos techos comerciales de diferentes características acústicas, se ha optado por el panel acústico *Decustik D+001* (Figura 3.5). Se trata de un panel ranurado de óptimas cualidades acústicas, que se puede instalar tanto en techos como en paredes.

#### FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO PANELES ACÚSTICOS



**REFERENCIA** D+001

**DESCRIPCIÓN** Lama acústica ranurada por la cara vista y perforada en la cara posterior con velo acústico

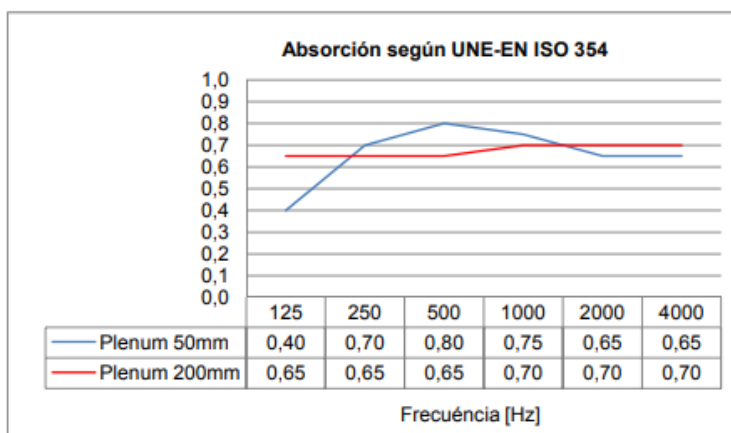


#### CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS

Ancho entre ranuras (mm) 28  
 Ancho de ranura (mm) 4  
 Profundidad ranura (mm) 6  
 Diámetro agujero (mm) Ø 10  
 Paso entre agujeros (mm) 16  
 Profundidad agujero (mm) 10  
 Superficie perforada (%) 7,6

#### Absorción acústica

Plenum 50mm  $\alpha_w$  0,75  
 Plenum 200mm  $\alpha_w$  0,70  
 Clase de absorción C  
 Lana Mineral 40mm  
 21kg/m<sup>3</sup>



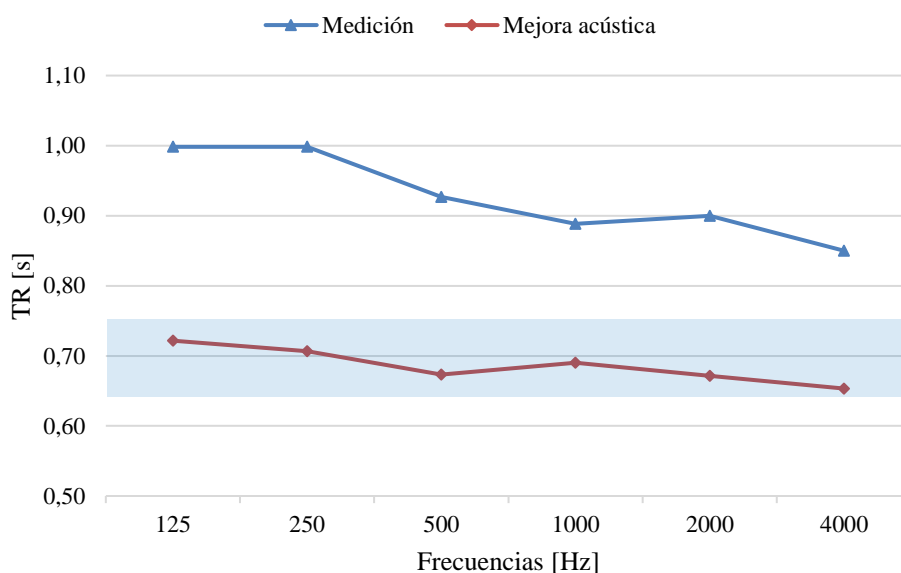
#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

Material de base  
 MDF Estándar D-s2,d0  
 MDF Ignífugo B-s2,d0 (núcleo rojo o natural)  
 MDF Coloreado en masa D-s2,d0  
 MDF Coloreado en masa B-s2,d0

Espesor(mm)  
 16mm (MDF).  
 Para otros materiales y espesores, consultar

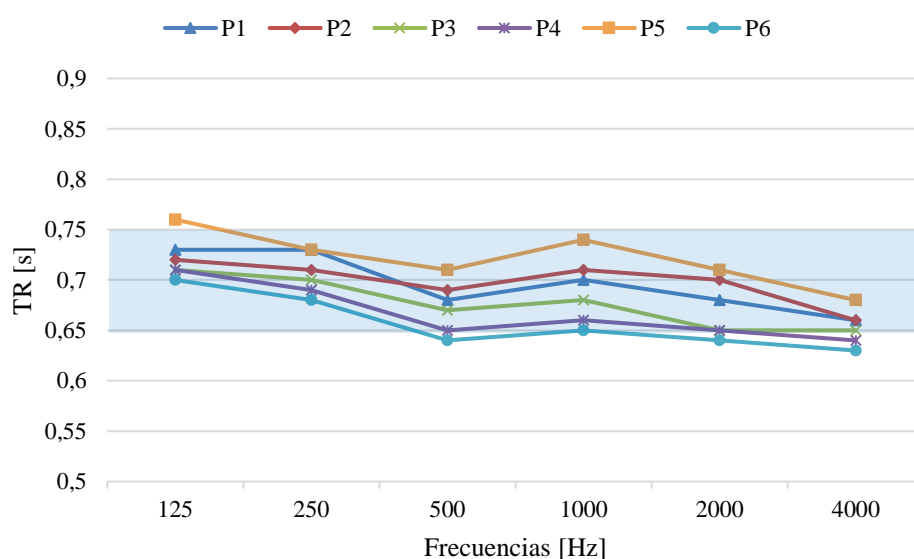
Figura 3.5. Ficha técnica del panel acústico *Decustik D+001*.

En la Figura 3.6, se muestra una comparativa entre el tiempo de reverberación promedio en el estado actual del aula, obtenido de la medición acústica, y el tiempo de reverberación promedio con la instalación de los paneles *Decustik D+001*, calculado mediante simulaciones acústicas. Como puede apreciarse, el tiempo de reverberación con la mejora acústica está dentro de los valores óptimos para prevenir el desarrollo de trastornos en la voz en el profesorado (0,65-0,75s), mientras que en el estado actual se encuentra alejado de estos valores.



**Figura 3.6. Tiempo de reverberación promedio actual y con la mejora acústica.**

En la Figura 3.7, pueden observarse los tiempos de reverberación obtenidos en los 6 puntos de medida con la mejora acústica, calculados mediante simulaciones acústicas. Como puede apreciarse, en todos los puntos encontramos que los valores del tiempo de reverberación están dentro o son muy próximos al intervalo de valores óptimos (0,65-0,75s).



**Figura 3.7. Tiempo de reverberación para los 6 puntos de medida con la mejora acústica.**

La propuesta de mejora del acondicionamiento acústico, aparte de disminuir el tiempo de reverberación hasta alcanzar los valores óptimos para prevenir el desarrollo de trastornos de la voz en el profesorado, afecta a la inteligibilidad de la palabra en el aula. La medición y cuantificación de la inteligibilidad de la palabra se realiza mediante el índice de transmisión de la voz, STI. En la Tabla 3.5, se muestra la escala de relación en entre la inteligibilidad de la palabra y el índice STI.

**Tabla 3.5. Escala de relación entre la inteligibilidad de la palabra y el índice STI.**

STI	Inteligibilidad
0 - 0'3	Mala
0'3 - 0'45	Pobre
0'45 - 0'6	Aceptable
0'6 - 0'75	Buena
0'75 - 1	Excelente

En la Tabla 3.6, se muestran los valores del parámetro STI con y sin la mejora acústica, obtenidos a partir de simulaciones acústica realizadas con el software Odeon. Los resultados obtenidos muestran que la mejora acústica propuesta resulta favorable para la inteligibilidad de la palabra, lo que confirma la posibilidad diseñar acústicamente aulas pensando tanto en las necesidades de los oradores (profesores) como en las de los oyentes (alumnos).

**Tabla 3.6. Valores del parámetro STI con y sin la mejora acústica.**

	STI (sin la mejora acústica)		STI (con la mejora acústica)	
	STI	Calidad	STI	Calidad
<b>Punto 1</b>	0,62	buena	0,77	excelente
<b>Punto 2</b>	0,63	buena	0,79	excelente
<b>Punto 3</b>	0,58	aceptable	0,74	buena
<b>Punto 4</b>	0,58	aceptable	0,73	buena
<b>Punto 5</b>	0,59	aceptable	0,77	excelente
<b>Punto 6</b>	0,59	aceptable	0,76	excelente

### 3.1.5. Presupuesto.

En la Tabla 3.7, se muestra el presupuesto estimado de la intervención para la mejora del acondicionamiento acústico del aula, tomando como base el generador de precios en la construcción del software CYPE.

**Tabla 3.7. Presupuesto de la intervención para la mejora del acondicionamiento acústico del aula.**

Descripción	Precio unitario (€/m <sup>2</sup> )	Superficie (m <sup>2</sup> )	Coste (€)
<b>Desmontaje de los paneles del falso techo existente.</b>	5	153	765
<b>Suministro e instalación de paneles acústicos.</b>	21	153	3.213
		<b>Total</b>	<b>3.978</b>

### 3.2. Aislamiento acústico a ruido aéreo del aula.

#### 3.2.1. Aislamiento acústico a ruido aéreo obtenido en la medición.

En la Tabla 3.8, se muestran los resultados del nivel de presión sonora en el recinto emisor,  $L_1$ , para cada punto de medida y para las dos ubicaciones de la fuente de emisión sonora.

Tabla 3.8. Niveles de presión sonora en la sala emisora,  $L_1$ , por frecuencias.

		Nivel de presión sonora en sala emisora, $L_1$ (dB) por frecuencias (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
Punto 1	Fuente 1	92,2	95,2	97,0	92,4	90,7	86,5
	Fuente 2	88,4	92,1	94,5	89,8	89,5	85,1
Punto 2	Fuente 1	94,6	95,7	98,2	93,7	93,5	86,8
	Fuente 2	89,6	92,1	94,8	90,0	89,6	85,1
Punto 3	Fuente 1	91,9	95,1	97,2	92,7	91,1	88,4
	Fuente 2	92,4	94,4	96,3	92,1	91,2	86,1
Punto 4	Fuente 1	89,4	92,7	95,1	90,0	89,8	85,3
	Fuente 2	91,9	94,8	96,2	92,4	91,5	86,4
Punto 5	Fuente 1	89,8	92,7	95,0	90,0	89,8	85,4
	Fuente 2	94,5	95,6	97,6	92,8	92,5	86,0

En la Tabla 3.9, se muestran los resultados del nivel de presión sonora en el recinto receptor,  $L_2$ , para cada punto de medida y para las dos ubicaciones de la fuente de emisión sonora.

Tabla 3.9. Niveles de presión sonora en la sala receptora,  $L_2$ , por frecuencias.

		Nivel de presión sonora en sala emisora, $L_1$ (dB) por frecuencias (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
Punto 1	Fuente 1	62,1	57,5	56,2	48,4	46,0	41,8
	Fuente 2	59,9	59,9	57,9	48,9	46,1	42,4
Punto 2	Fuente 1	62,9	59,1	55,0	47,7	44,8	40,8
	Fuente 2	60,8	58,5	58,2	50,0	47,2	43,4
Punto 3	Fuente 1	64,5	62,2	60,1	53,2	51,8	47,8
	Fuente 2	60,2	58,6	57,9	49,6	47,1	43,2
Punto 4	Fuente 1	59,4	59,8	58,1	48,7	46,5	42,4
	Fuente 2	61,4	61,2	62,3	52,1	48,7	44,7
Punto 5	Fuente 1	62,4	61,0	61,6	52,5	48,9	45,3
	Fuente 2	65,1	62,6	59,9	53,2	51,6	47,6

En la Tabla 3.10, se muestran los resultados del nivel de ruido de fondo en el recinto receptor,  $L_F$ , para cada punto de medida.

**Tabla 3.10. Nivel de ruido de fondo ,  $L_F$ , por frecuencias.**

	Nivel de ruido de fondo , $L_F$ (dB) por frecuencias (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Punto 1</b>	40,3	44,2	37,9	32,3	26,3	19,5
<b>Punto 2</b>	38,9	38,9	39,1	30,7	25,4	17,7
<b>Punto 3</b>	37,8	37,6	37,4	29,4	24,3	16,6
<b>Punto 4</b>	42,2	37,3	35,4	29,8	25,3	18,9
<b>Punto 5</b>	41,9	41,3	35,1	30,5	26	17,4

### 3.2.2. Cálculo del aislamiento acústico a ruido aéreo.

Partiendo de los datos obtenidos, se han calculado los valores promedio del nivel de presión sonora del recinto emisor,  $L_1$ , el nivel de presión sonora de recinto receptor,  $L_2$ , y el nivel de ruido de fondo en el recinto receptor,  $L_F$ , mediante la aplicación de la Ecuación 1,

$$L = 10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10} \right) dB \quad (1)$$

donde  $L_j$  son los niveles de presión sonora en  $n$  posiciones diferentes dentro del recinto.

Una vez obtenidos los valores promedio por frecuencia, se ha calculado el nivel de presión sonora en el recinto receptor corregido con el nivel de ruido de fondo,  $L_{2C}$ , mediante la aplicación de la Ecuación 2,

$$L = 10 \log \left( 10^{L_2/10} - 10^{L_F/10} \right) dB \quad (2)$$

donde  $L_2$  es el nivel de presión sonora en el recinto receptor y  $L_F$  el nivel de ruido de fondo en el recinto receptor.

La diferencia de nivel estandarizada,  $D_{nT}$ , se ha obtenido mediante la aplicación de la Ecuación 3,

$$D_{nT} = L_1 - L_{2C} + 10 \log \left( \frac{T_R}{T_0} \right) dB \quad (3)$$

donde  $L_1$  es el nivel de presión sonora en el recinto emisor,  $L_{2C}$  el nivel de presión sonora en el recinto receptor corregido,  $T_R$  el tiempo de reverberación en el recinto receptor y  $T_0$  el tiempo de reverberación de referencia (0,5s).

En la Tabla 3.11, se recopilan los resultados obtenidos durante el proceso de cálculo del aislamiento acústico a ruido aéreo.

Tabla 3.11. Cálculo de aislamiento acústico a ruido aéreo.

	Frecuencias [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b>L<sub>1</sub> [dB]</b>	46,5	46,8	43,8	36,9	31,6	24,5
<b>L<sub>2</sub> [dB]</b>	101,2	103,7	105,8	101,3	100,5	95,8
<b>L<sub>F</sub> [dB]</b>	71,4	69,6	68,8	60,2	57,6	53,7
<b>L<sub>2C</sub> [dB]</b>	71,4	69,6	68,8	60,2	57,6	53,7
<b>T<sub>R</sub> [s]</b>	1,00	1,00	0,93	0,89	0,90	0,85
<b>D<sub>nT</sub> [dB]</b>	<b>32,8</b>	<b>37,1</b>	<b>39,7</b>	<b>43,6</b>	<b>45,5</b>	<b>44,5</b>

La diferencia de nivel global estandarizada, ponderada en A,  $D_{nT,A}$ , se ha obtenido mediante la aplicación de la Ecuación 4,

$$D_{nT,A} = -10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{(L_{Ar,i} - D_{nT,i})}{10}} \text{ dBA} \quad (4)$$

donde  $D_{nT,i}$  es la diferencia de niveles estandarizada en la banda de frecuencia  $i$ , y  $L_{Ar,i}$  el valor del espectro normalizado del ruido rosa, ponderado en A, en la banda de frecuencia  $i$ .

En la Tabla 3.12, se indican los valores del espectro normalizado del ruido rosa, ponderado en A, por frecuencias, obtenidos del Documento de Apoyo al Documento Básico de Protección contra el ruido (DA DB-HR).

Tabla 3.12. Espectro normalizado del ruido rosa, ponderado en A, por frecuencias (DA DB-HR).

	Frecuencias [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b>L<sub>Ar</sub> [dBA]</b>	-27,1	-19,6	-14,2	-11	-9,8	-10

$$D_{nT,A} = -10 \log 10^{\frac{(-27,1-32,8)}{10}} + 10^{\frac{(-19,6-37,1)}{10}} + 10^{\frac{(-14,2-39,7)}{10}} + 10^{\frac{(-11-43,6)}{10}} + 10^{\frac{(-9,8-45,5)}{10}} + 10^{\frac{(-10-44,5)}{10}}$$

$$D_{nT,A} = 48 \text{ dBA}$$

### 3.2.3. Valor mínimo del aislamiento acústico a ruido aéreo.

Con el objetivo de garantizar un aislamiento a ruido aéreo adecuado, el Documento Básico de Protección contra el ruido (DB-HR) del Código Técnico de la Edificación (CTE), establece unos valores mínimos de aislamiento acústico que deben cumplir los elementos constructivos de separación en función del tipo de recinto. En el ámbito docente, el DB-HR establece que las aulas son recintos protegidos, es decir, recintos habitables donde se deben garantizar unas condiciones acústicas óptimas. Además, cada una de las aulas o salas de conferencias constituyen una unidad de

uso diferenciada. Para garantizar la protección frente al ruido generado entre un recinto protegido y cualquier otro recinto habitable o protegido no pertenecientes a la misma unidad de uso, como es el caso de las aulas analizadas, el DB HR establece que el aislamiento acústico a ruido aéreo, ponderado en A,  $D_{nT,A}$ , no debe ser menor que 50 dBA.

En el aula estudiada, el aislamiento acústico a ruido aéreo, ponderado en A,  $D_{nT,A}$ , es 48 dBA. Si bien el valor es próximo al mínimo de 50 dBA establecido en el DB-HR, cabe realizar ciertas mejoras para alcanzar, e incluso mejorar, el valor mínimo establecido.

#### 3.2.4. Propuesta de mejora del aislamiento acústico.

Para mejorar el aislamiento acústico entre las aulas, con el objetivo de alcanzar, e incluso mejorar, el valor mínimo de 50 dBA, se proponen las siguientes medidas:

- Actuar sobre el elemento de menor aislamiento acústico, es decir, la puerta de paso entre las aulas. En este punto, cabe plantearnos dos opciones:
  - o Cambiar la puerta por otra con unas altas prestaciones acústicas.
  - o Eliminar la puerta de paso, continuando las tres capas de la partición múltiple.
- Revisar la unión entre la partición y el forjado, con el objetivo de detectar posibles huecos o perforaciones que puedan reducir el aislamiento acústico global de la partición.
- Si con las medidas anteriores no se alcanza el valor mínimo de 50 dBA, o bien busca obtener un aislamiento superior, cabe la posibilidad de instalar un trasdosado con un alto nivel de reducción acústica sobre la partición existente.

#### 3.2.5. Presupuesto.

En la Tabla 3.13, se muestra el presupuesto estimado de ejecutar las medidas para la mejora del aislamiento acústico a ruido aéreo del aula, tomando como base los valores del generador de precios en la construcción del software CYPE.

Tabla 3.13. Presupuesto de la intervención para la mejora del aislamiento acústico de aula.

Descripción	Precio unitario (€/m <sup>2</sup> )	Superficie (m <sup>2</sup> )	Coste (€)
<b>Desmontaje de puerta de paso existente.</b>	3,5	2,5	8,8
<b>Suministro e instalación de puerta acústica .</b>	-	-	448,8
<b>Total</b>			<b>457,6</b>
<b>Desmontaje de puerta de paso existente.</b>	3,5	2,5	8,8
<b>Levantamiento de partición multicapa.</b>	40,6	2,5	101,5
<b>Aplicación manual de pintura.</b>	5,0	2,5	12,5
<b>Total</b>			<b>122,8</b>
<b>Suministro e instalación de trasdosado acústico.</b>	73,2	35,1	2.569,3
<b>Aplicación manual de pintura.</b>	5,0	35,1	157,5
<b>Total</b>			<b>2.726,8</b>



# Capítulo 4

## Conclusiones

El estudio del acondicionamiento acústico del aula, muestra que los valores del tiempo de reverberación,  $T_R$ , son superiores a los recomendados para prevenir el desarrollo de trastornos de la voz en el profesorado (0,65-0,75s). Ante esta situación, se ha propuesto cambiar el falso techo del aula por otro de mayor absorción acústica. Para la elección del techo acústico, se han realizado simulaciones acústicas del aula con diferentes paneles acústicos comerciales. Además, analizando el índice de transmisión de la voz, STI, se ha observado que la mejora acústica propuesta resulta favorable para la inteligibilidad de la palabra, lo que confirma la posibilidad diseñar acústicamente aulas pensando tanto en las necesidades de los profesores como en las de los alumnos.

En el estudio del aislamiento acústico, se ha calculado el aislamiento acústico a ruido aéreo entre el aula estudiada y el aula contigua. Los resultados muestran que el aislamiento acústico a ruido aéreo, ponderado en A,  $D_{nT,A}$ , es inferior que el valor mínimo de 50 dBA establecido en el Documento Básico de Protección contra el ruido (DB-HR) del Código Técnico de la Edificación (CTE). Ante esta situación, se han propuesto una serie mejoras para aumentar la reducción acústica de la partición entre las aulas, con el objetivo de alcanzar, e incluso mejorar, el valor mínimo de 50 dBA de aislamiento acústico a ruido aéreo.

Un adecuado diseño acústico de las aulas reduce el riesgo de sufrir trastornos en la voz en el profesorado, además de facilitar la labor docente al mejorar la inteligibilidad del habla en el recinto. En la mayoría de los casos, unas condiciones acústicas adecuadas en las aulas, lo que sería equiparable con una medida de protección colectiva, es suficiente para garantizar la salud vocal del profesorado. No obstante, en aquellos casos particulares en los que estas medidas no sean suficientes, como puede ser el caso de profesores con patologías previas en la voz o aulas que por su tamaño o características requieren un esfuerzo vocal excesivo por parte del profesorado, se deberá realizar un estudio específico y valorar la necesidad de utilizar medidas de protección individuales complementarias, como el uso de amplificadores de la voz. Con esto, se sigue las directrices establecidas desde la propia Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales, en la que se establece que las medidas de protección que se adopten deben anteponer la protección colectiva a la individual.



# Bibliografía

- Agostini-Zampieron, M., Barlatey-Frontera, C., Barlatey-Frontera, M. F., & Arca-Fabre, A. (2013). Prevalencia de disfonías funcionales en docentes argentinos. *Atención Familiar*, 20(3), 81–85. [https://doi.org/10.1016/s1405-8871\(16\)30097-9](https://doi.org/10.1016/s1405-8871(16)30097-9)
- Augustyńska, D., Kaczmarska, A., Mikulski, W., & Radosz, J. (2010). Assessment of teachers' exposure to noise in selected primary schools [Article]. *Archives of Acoustics*, 35(4), 521–542. <https://doi.org/10.2478/v10168-010-0040-2>
- Bistafa, S. R., & Bradley, J. S. (2000). Reverberation time and maximum background-noise level for classrooms from a comparative study of speech intelligibility metrics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 107(2), 861–875. <https://doi.org/10.1121/1.428268>
- Calosso, G., Puglisi, G. E., Astolfi, A., Castellana, A., Carullo, A., & Pellerey, F. (2017). A one-school year longitudinal study of secondary school teachers' voice parameters and the influence of classroom acoustics [Article]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 142(2), 1055–1066. <https://doi.org/10.1121/1.4998707>
- Cantor Cutiva, L. C., & Burdorf, A. (2016). Work-related determinants of voice complaints among school workers: An eleven-month follow-up study [Article]. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 25(4), 590–597. [https://doi.org/10.1044/2016\\_AJSLP-14-0191](https://doi.org/10.1044/2016_AJSLP-14-0191)
- Durup, N., Shield, B., Dance, S., & Sullivan, R. (2015). An investigation into relationships between classroom acoustic measurements and voice parameters of teachers [Article]. *Building Acoustics*, 22(3–4), 225–242. <https://doi.org/10.1260/1351-010x.22.3-4.225>
- Gómez-Luna, E., Fernando-Navas, D., Aponte-Mayor, G., & Betancourt-Buitrago, L. A. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización [Issue]. *DYNA (Colombia)*, 81(184), 158–163. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n184.37066>
- Pelegri-García, D., & Brunskog, J. (2012). Classroom acoustics design guidelines based on the optimization of speaker conditions [Article]. *Proceedings - European Conference on Noise Control*, 61–66. <https://doi.org/info:doi/>
- Pelegri-García, D., Brunskog, J., & Rasmussen, B. (2014). Speaker-oriented classroom acoustics design guidelines in the context of current regulations in european countries [Article]. *Acta*

- Acustica United with Acustica*, 100(6), 1073–1089. <https://doi.org/10.3813/AAA.918787>
- Pelegrin-Garcia, D., Lyberg-Ahlander, V., Rydell, R., Brunskog, J., & Lofqvist, A. (2011). Influence of classroom acoustics on the voice levels of teachers with and without voice problems: A field study [Article]. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 11. <https://doi.org/10.1121/1.3533839>
- Puglisi, G. E., Astolfi, A., Cantor Cutiva, L. C., & Carullo, A. (2017). Four-day-follow-up study on the voice monitoring of primary school teachers: Relationships with conversational task and classroom acoustics [Article]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 141(1), 441–452. <https://doi.org/10.1121/1.4973805>
- Radosz, J. (2012a). Influence of classrooms acoustics on the teachers' voice sound pressure level [Article]. *Medycyna Pracy*, 63(4), 409–417. <https://doi.org/info:doi/>
- Radosz, J. (2012b). The influence of classroom acoustics on the level of background noise in selected Polish primary schools [Article]. *41st International Congress and Exposition on Noise Control Engineering 2012, INTER-NOISE 2012*, 6, 4681–4691. <https://doi.org/info:doi/>
- Rantala, L. M., & Sala, E. (2015). Effects of classroom acoustics on teachers' voices [Article]. *Building Acoustics*, 22(3–4), 243–258. <https://doi.org/10.1260/1351-010X.22.3-4.243>
- Redman, Y., Vercelli, C., Cantor-Cutiva, L. C., & Bottalico, P. (2020). Work-Related Communicative Profile of Voice Teachers: Effects of Classroom Noise on Voice and Hearing Abilities [Article]. *Journal of Voice*. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2020.05.021>
- Sala, E., Airo, E., Olkinuora, P., Simberg, S., Ström, U., Laine, A., Pentti, J., & Suonpää, J. (2002). Vocal loading among day care center teachers [Article]. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 27(1), 21–28. <https://doi.org/10.1080/140154302760146943>
- Vorländer, M. (2008). *Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality*.

# Normativa

Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.

Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro.

Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

UNE-EN ISO 3382-1:2010. Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 1: Salas de espectáculos. (ISO 3382-1:2009)

UNE-EN ISO 16283-1:2015. Acústica. Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo. (ISO 16283-1:2014)



# Índice de figuras

## PARTE I

### Revisión bibliográfica

Figura 1.1. Número de caso de nódulos de las cuerdas vocales por sexo y año. ....	12
Figura 1.2. Número de caso de nódulos de las cuerdas vocales sin baja y con baja .....	13
Figura 2.1. Fuentes obtenidas en el proceso de búsqueda.....	16
Figura 2.2. Número de publicaciones por año.....	17
Figura 2.3. Número de publicaciones por autor. ....	17
Figura 2.4. Número de publicaciones por país.....	18

## PARTE II

### Estudio acústico de un aula de la UPV

Figura 1.1. Plano de ubicación del edificio 5N en el Campus de Vera de la UPV. ....	30
Figura 1.2. Ubicación del aula 011 en el edificio 5N.....	31
Figura 1.3. Vista general del aula estudiada.....	31
Figura 2.1. Laser de medición modelo <i>Leica DISTO Classic</i> .....	33
Figura 2.2. Planta acotada de las aulas 011 y 012 (E 1:150).....	34
Figura 2.3. Fuente emisora modelo <i>DO12</i> y sonómetro modelo <i>CESVA CS310</i> .....	34
Figura 2.4. Ubicación de la fuente y los puntos de medida en la medición del tiempo de reverberación (E 1:150).....	35
Figura 2.5. Ubicación de la fuente y los puntos de medida en la medición del nivel de presión sonora y el nivel de ruido de fondo (E 1:150) .....	36
Figura 3.1. Tiempos de reverberación por frecuencias para los 6 puntos de medida.....	38

Figura 3.2. Modelo acústico simplificado. ....	38
Figura 3.3. Distribución por capas del modelo acústico simplificado.....	40
Figura 3.4. Comparativa del tiempo de reverberación promedio medido y simulado. ....	41
Figura 3.5. Ficha técnica del panel acústico <i>Decustik D+001</i> .....	42
Figura 3.6. Tiempo de reverberación promedio actual y con la mejora acústica. ....	43
Figura 3.7. Tiempo de reverberación para los 6 puntos de medida con la mejora acústica. ....	43



# Índice de tablas

## PARTE I

### Revisión bibliográfica

Tabla 1.1. Resumen del cuadro de enfermedades profesionales (Anexo 1 del RD 1299/2006). ....	11
Tabla 1.2. Informaciones estadísticas de los casos de nódulos en las cuerdas vocales (Ministerio de Trabajo y Economía Social) .....	12
Tabla 2.1. Grupos temáticos de la búsqueda .....	16
Tabla 2.2. Grupos temáticos de mayor interés .....	18
Tabla 3.1. Valores óptimos de tiempo de reverberación medio en el diseño acústico de aulas para minimizar el esfuerzo vocal de los profesores.....	22
Tabla 3.2. Valores óptimos de tiempo de reverberación medio en el diseño acústico de aulas para obtener una adecuada inteligibilidad del habla.....	22
Tabla 3.3. Valores límite de tiempo de reverberación establecidos por el DB HR -CTE para aulas. ....	23

## PARTE II

### Estudio acústico de un aula de la UPV

Tabla 3.1. Tiempos de reverberación por frecuencias.....	37
Tabla 3.2. Clasificación de los materiales reales del aula. ....	39
Tabla 3.3. Coeficiente de absorción de los diferentes materiales por frecuencias. ....	40
Tabla 3.4. Cálculo del JND para cada punto de medida. ....	41
Tabla 3.5. Escala de relación entre la inteligibilidad de la palabra y el índice STI.....	44
Tabla 3.6. Valores del parámetro STI con y sin la mejora acústica .....	44
Tabla 3.7. Presupuesto de la intervención para la mejora del acondicionamiento acústico del aula. ....	44
Tabla 3.8. Niveles de presión sonora en la sala emisora, $L_1$ , por frecuencias.....	45
Tabla 3.9. Niveles de presión sonora en la sala receptora, $L_2$ , por frecuencias. ....	45
Tabla 3.10. Nivel de ruido de fondo, $L_F$ , por frecuencias. ....	46

Tabla 3.11. Calculo de aislamiento acústico a ruido aéreo. ....	47
Tabla 3.12. Espectro normalizado del ruido rosa, ponderado A, por frecuencias (DA DB-HR) .....	47
Tabla 3.13. Presupuesto de la intervención para la mejora acústica de aula. ....	48