



**DISEÑO DE UN MODELO DE CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y  
DESARROLLO EXPERIMENTAL (I + D) PARA NUEVOS MATERIALES  
Y DISPOSITIVOS ACÚSTICOS**

FREDY ALBERTO ALZATE ARIAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
MAESTRÍA EN GESTIÓN TECNOLÓGICA  
MEDELLÍN  
2015

DISEÑO DE UN MODELO DE CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y  
DESARROLLO EXPERIMENTAL (I + D) PARA NUEVOS MATERIALES Y  
DISPOSITIVOS ACÚSTICOS

FREDY ALBERTO ALZATE ARIAS

Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Gestión Tecnológica

Director  
Santiago Quintero Ramírez  
Ph. D. (c), MS. c., I. A. y Especialista  
Facultad de Ingeniería Industrial  
Universidad Pontificia Bolivariana

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
MAESTRÍA EN GESTIÓN TECNOLÓGICA  
MEDELLÍN  
2015

Medellín, marzo de 2015

Declaro que este trabajo de grado no ha sido presentado para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad (Art. 82, Régimen discente de formación avanzada).

---

Fredy Alberto Alzate Arias

A mis padres y familia

## **Agradecimientos**

Expreso mi sincera gratitud para todos los que de alguna forma contribuyeron a la realización de este trabajo de grado.

## Contenido

<b>Resumen</b>	<b>14</b>
<b>Introducción</b>	<b>15</b>
<b>1 Problema: descripción, planteamiento y justificación</b>	<b>17</b>
1.1 Planteamiento	17
1.2 Justificación	18
1.3 Objetivos	19
1.3.1 Objetivo general	19
1.3.2 Objetivos específicos	19
1.4 Revisión de la literatura	19
1.4.1 Técnicas de medida y caracterización de materiales	19
1.4.2 Revisión de la literatura en nuevos materiales acústicos	20
1.4.3 Revisión de la literatura en la gestión del modelo del Centro	21
1.5 Modelos de I + D clásicos en la literatura	21
1.6 Gestión prospectiva estratégica de I + D + i: una propuesta de un modelo conceptual	22
1.7 Modelo de Haeffner	23
1.8 Modelo de gestión de la innovación del Centro de innovación y desarrollo de empresas (Cidem)	24
1.9 Modelo cadena-eslabón o de articulación en cadena	25
1.10 Modelo evolutivo	25
1.11 Modelos de sistemas dinámicos y evolutivos	26
1.12 Metodología	31
1.12.1 Fase exploratoria. Primer cuestionario	32
1.12.2 Primera ronda Delphi	33
1.12.3 Segunda ronda Delphi	33
1.12.4 Investigación de las facultades de ingeniería acústica y afines en Colombia y el mundo	34
1.12.5 Publicaciones especializadas	34
1.12.6 Clasificación de áreas y temas de investigación	34
1.12.7 Panel de participantes	35
1.12.8 Perfil de los expertos	35
1.12.9 Cartas de invitación e instrucciones para los participantes	36
1.12.10 Encuestas presentadas a los participantes	36
1.12.11 Respuestas de los participantes en las dos rondas Delphi	36
1.12.12 Tablas de datos derivadas de las respuestas de los participantes	36
1.12.13 Metodología general para modelizar	38

<b>2 Determinación de las normas internacionales en mediciones acústicas</b>	<b>39</b>
2.1 Medición y caracterización acústica de materiales	39
2.2 Modelos matemáticos según las normas internacionales	39
2.2.1 Modelo de Delany y Bazley	39
2.2.2 Modelo de Miki	40
2.2.3 Modelo de Allard y Champoux	40
2.2.4 Impedancia acústica en materiales homogéneos de una capa	41
2.2.5 Impedancia acústica en materiales multicapa	42
2.3 Modelo actual propuesto	42
2.4 Caracterización acústica	43
2.4.1 Coeficiente de absorción acústica en el tubo de impedancia acústica	43
2.4.2 Resistencia específica al flujo en un tubo de impedancia acústica	44
2.5 Normas internacionales de caracterización de materiales acústicos para el Centro	44
<b>3 Diagnóstico de los laboratorios para la caracterización de materiales acústicos en la región y el país</b>	<b>46</b>
3.1 Resultados y análisis de la información	46
3.1.1 Distribución de frecuencia para las calificaciones de los temas de la primera ronda Delphi	46
3.1.2 Porcentaje de consenso para cada tema	46
3.1.3 Definición de los grupos de prioridad	46
3.2 Temas eliminados en la segunda ronda Delphi	48
3.2.1 Selección final de los temas en la segunda ronda Delphi	48
3.2.2 Análisis de consenso alcanzado	48
3.2.3 Medición del consenso para cada tema	49
3.3 Análisis del puntaje alcanzado	49
3.4 Análisis gráfico del puntaje alcanzado	49
3.5 Segunda ronda Delphi	54
3.5.1 Área de nuevas líneas de investigación en materiales acústicos	54
3.5.2 Mejoramiento situación actual los laboratorios	55
3.5.3 Área de la relación universidad/empresa	55
3.5.4 Situación de los proyectos y servicios alrededor de la acústica	55
3.5.5 Inversión en tecnología necesaria para I + D + i sobre nuevos proyectos relacionados en el área de la acústica, para el período 2013-2023	55
3.6 Conclusiones del estudio	56
<b>4 Proceso y análisis de vigilancia tecnológica en nuevos materiales y dispositivos acústicos</b>	<b>57</b>
4.1 Investigación y desarrollo (I + D)	57
4.1.1 Ecuaciones de búsqueda	57
4.1.2 Palabras claves relacionadas	58
4.1.3 Autores líderes	60
4.1.4 Organizaciones y universidades líderes en investigación sobre acústica y control de ruido	61

4.1.5 Países líderes en publicaciones académicas	61
4.1.6 Tipos de productos de publicación	62
4.1.7 Artículos científicos sobre acústica y control de ruido	63
4.2 Análisis de la búsqueda de información en el sitio web ScienceDirect usando Vantage Point	64
4.3 Análisis de la búsqueda de información en el sitio web Scopus usando Vantage Point	67
4.4 Análisis de la búsqueda de información en el sitio web Springer usando Vantage Point	70
4.5 Análisis de la búsqueda de información de patentes en el sitio web de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI)	71
4.6 Inventores	73
4.7 Conclusiones del análisis	74
<b>5 Principales componentes que intervienen en el modelo del Centro. Hallazgos y modelos existentes</b>	<b>75</b>
5.1 Modelo matemático para medir la productividad de un centro de I + D y de laboratorios	77
5.1.1 Verificación y evaluación del modelo	78
5.2 Índices para medir las actividades de investigación	80
5.2.1 Índices financieros	80
5.2.2 Índices de transferencia tácita	81
5.2.3 Índices bibliométricos	82
5.2.4 Índice tecnométrico	83
5.3 El método relev	83
5.4 Modelo conceptual interactivo del proceso de innovación y conocimiento	84
5.5 Modelo de servicios del Centro	87
<b>6 Diseño del modelo teórico del Centro</b>	<b>90</b>
6.1 Estructura organizacional del modelo del Centro	90
6.1.1 Generalidades	90
6.1.2 Documentación	91
6.1.3 Control de los documentos	92
6.1.4 Control de los registros	92
6.1.5 Responsabilidad del personal directivo	92
6.1.6 Enfoque a las partes interesadas	93
6.1.7 Políticas de innovación	94
6.1.8 Planificación	94
6.1.9 Planificación del sistema de gestión de la innovación	95
6.2 Unidad de gestión de la innovación	96
6.2.1 Unidades de innovación	96
6.2.2 Establecimiento y estructura de las unidades de innovación y de gestión	97
6.2.3 Representante de la dirección	97
6.2.4 Comunicación interna	98
6.2.5 Revisión por el personal directivo	98
6.2.6 Gestión de los recursos	99
6.2.7 Recursos humanos	100

6.2.8 Infraestructura	101
6.2.9 Ambiente de trabajo	101
6.3 Actividades de I + D + i	102
6.3.1 Herramientas	102
6.3.2 Previsión	102
6.3.3 Creatividad	103
6.3.4 Análisis interno y externo	103
6.3.5 Identificación y análisis de problemas y oportunidades	104
6.3.6 Planificación, seguimiento y control de la cartera de proyectos	104
6.3.7 Transferencia tecnológica	105
6.3.8 Proyecto de innovación	106
6.3.9 Resultados del proceso de innovación	106
6.3.10 Seguimiento y medición	107
6.3.11 Protección y explotación de los resultados de las actividades de innovación	108
6.4 Modelo gráfico estructural y organizacional del Centro	108
<b>Conclusiones</b>	<b>111</b>
<b>Referencias</b>	<b>113</b>
<b>Anexos</b>	<b>119</b>
Anexo A. Carta de investigación Delphi	119
Anexo B. Formulario de la primera ronda Delphi	120
Anexo C. Temas prioritarios y no prioritarios de la segunda ronda Delphi	124
Anexo D. Calificación de la primera ronda Delphi	125

## Tablas

- Tabla 1. Niveles de ruido promedio medidos en Medellín (1999-2008)
- Tabla 2. Coeficientes  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7$  y  $A_8$
- Tabla 3. Tabulación de la primera ronda Delphi
- Tabla 4. Visión integral de las tendencias en la investigación y el desarrollo futuro sobre nuevos materiales acústicos a nivel regional, nacional y global
- Tabla 5. Situación actual de los laboratorios y centros de metrología en el área de la acústica a nivel regional y nacional
- Tabla 6. Aporte científico y tecnológico de las universidades en el área de la acústica
- Tabla 7. Enfoque de la universidad para propiciar una relación dinámica con la empresa
- Tabla 8. Proyectos y servicios relacionados con la acústica y su importancia actual
- Tabla 9. Calidad de los laboratorios actuales en la región y en el país para el desarrollo de materiales acústicos
- Tabla 10. Conceptos sobre la inversión en tecnología que debe hacerse para I + D + i sobre nuevos proyectos relacionados con el área de la acústica para el período 2013-2023
- Tabla 11. Áreas de I + D + i para el desarrollo de nuevos materiales y dispositivos acústicos
- Tabla 12. Servicios que prestan los laboratorios actuales en la región y el país para la caracterización de nuevos materiales acústicos en los eventos o procesos
- Tabla 13. Visión integral de las tendencias en la investigación y el desarrollo futuro sobre nuevos materiales acústicos a nivel regional, nacional y global (II)
- Tabla 14. Situación actual de los laboratorios y centros de metrología en el área de la acústica a nivel regional y nacional (II)
- Tabla 15. Aporte científico y tecnológico de las universidades en el área de la acústica (II)
- Tabla 16. Enfoque de las universidades para propiciar una relación dinámica con la empresa (II)
- Tabla 17. Situación de los proyectos y servicios relacionados con la acústica y su importancia actual y futura
- Tabla 18. Calidad de los laboratorios actuales en la región y el país para el desarrollo de materiales acústicos (II)
- Tabla 19. Concepto sobre la inversión en tecnología que debe hacerse para I + D + i sobre nuevos proyectos relacionados con el área de la acústica, para el período de 2013-2023 (II)
- Tabla 20. Servicios que prestan los laboratorios actuales en la región y el país para la caracterización de nuevos materiales acústicos en los eventos o procesos (II)
- Tabla 21. Tabulación de la segunda ronda Delphi
- Tabla 22. Ecuaciones de búsqueda
- Tabla 23. Palabras claves de con mayor índice de publicación (1973-2013)
- Tabla 24. Revistas con mayor número de publicaciones relacionadas con los temas de acústica y materiales acústicos (1973-2013)
- Tabla 25. Autores líderes en publicaciones sobre acústica y materiales acústicos (1973-2013)
- Tabla 26. Organizaciones y universidades líderes en la investigación sobre acústica y control de ruido (1973-2013)
- Tabla 27. Países líderes en publicaciones académicas relacionadas con el área de investigación sobre acústica y control de ruido (1973-2013)

Tabla 28. Tipos de productos de publicación en el área de investigación sobre acústica y control de ruido (1973-2013)

Tabla 29. Referencias bibliográficas de los artículos científicos más recientes sobre acústica y control de ruido

## Figuras

- Figura 1. Niveles de ruido en Medellín (1999-2008)
- Figura 2. Modelo lineal de I + D
- Figura 3. Modelo integrado en red de I + D
- Figura 4. Modelo de Haeffner
- Figura 5. Modelo de gestión de la innovación del Cidem
- Figura 6. Modelo de innovación o de articulación en cadena
- Figura 7. Modelo de innovación
- Figura 8. Montaje de equipo de medida en tubo de impedancia acústica según la norma UNE-EN ISO 10534-2
- Figura 9. Montaje de Ingard y Dear en un tubo de impedancia acústica
- Figura 10. Modelo de metrología y normas del Centro
- Figura 11. Temas prioritarios de la primera ronda Delphi
- Figura 12. Áreas temáticas relacionadas con I + D de nuevos materiales y dispositivos acústicos
- Figura 13. Mapa de publicaciones por año (1973-2013)
- Figura 14. Instituciones y eventos académicos líderes en publicaciones (1973-2013)
- Figura 15. Autores líderes en publicaciones sobre acústica y materiales acústicos (1973-2013)
- Figura 16. Organizaciones y universidades líderes en la investigación sobre acústica y control de ruido (1973-2013)
- Figura 17. Países líderes en publicaciones académicas relacionadas con el área de investigación sobre acústica y control de ruido (1973-2013)
- Figura 18. Tipos de productos de publicación en el área de investigación sobre acústica y control de ruido (1973-2013)
- Figura 19. Palabras claves en ScienceDirect usando Vantage Point (2003-2013)
- Figura 20. Autores por tema en ScienceDirect usando Vantage Point
- Figura 21. Crecimiento de la investigación anual por palabras claves en ScienceDirect usando Vantage Point (2002-2013)
- Figura 22. Investigación a nivel mundial por autores en ScienceDirect usando Vantage Point
- Figura 23. Autores por año en ScienceDirect usando Vantage Point (2003-2013)
- Figura 24. Palabras claves por tema en Scopus usando Vantage Point
- Figura 25. Crecimiento de la investigación anual por palabras claves en Scopus usando Vantage Point (1973-2013)
- Figura 26. Investigación a nivel mundial por países en Scopus usando Vantage Point
- Figura 27. Palabras claves por tema y año en Scopus usando Vantage Point (1973-2012)
- Figura 28. Palabras claves por tema en Springer usando Vantage Point (1989-2013)
- Figura 29. Investigación y cooperación por países en Springer usando Vantage Point
- Figura 30. Número de patentes por países según la OMPI
- Figura 31. Clasificación de las patentes según The International Patent Classification (IPC)
- Figura 32. Clasificación de las patentes por aplicaciones según The International Patent Classification (IPC)
- Figura 33. Aplicaciones y crecimiento de las investigaciones por área y por año (2002-2011)
- Figura 34. Inventores a nivel mundial con la mayor cantidad de patentes

- Figura 35. Registro de patentes por año (2002-2011)
- Figura 36. Modelo del diagrama causal para un centro de I + D de nuevos productos y servicios
- Figura 37. Modelo conceptual interactivo del proceso de innovación y conocimiento
- Figura 38. Sistema de servicios del Centro
- Figura 39. Mapa de procesos para el Centro
- Figura 40. Metodología del proceso de innovación del Centro
- Figura 41. Modelo estructural del Centro

## Resumen

Este proyecto propone realizar el diseño de un modelo organizacional de un centro de investigación y desarrollo experimental para nuevos materiales y dispositivos acústicos que haga parte del sistema de metrología del Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM) de Medellín, donde se muestren las diferentes rutas por seguir en el proceso de creación y modelado de medidas para nuevos materiales y dispositivos acústicos, enmarcadas en las normas internacionales de metrología, y teniendo como eje central el análisis y la implementación de los procesos de gestión de investigación y desarrollo (I + D), así como las definiciones y requisitos de las normas 5800, 5801 y 5802 del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (INCONTEC).

Para llevarlo a cabo se realizó un diagnóstico de los procesos tecnológicos existentes en la industria actual en cuanto a nuevos materiales y dispositivos acústicos se refiere; con estos elementos se definieron los principales componentes que deben integrar el modelo teórico conceptual de un centro de I + D y su gestión, enmarcado y soportado en las normas técnicas de gestión, investigación, desarrollo e innovación (I + D + i) del INCONTEC.

Finalmente se diseñó el modelo del centro basado en los componentes anteriores, un modelo teórico conceptual de nivel organizacional compuesto por diagramas de causa/efecto.

Palabras claves: investigación, desarrollo e innovación (I + D + i), metodología Delphi, vigilancia tecnológica, materiales acústicos, centros de investigación y desarrollo (I + D).

## Introducción

En Antioquia las empresas que se dedican a la elaboración de materiales acústicos se ven en la necesidad de tener laboratorios de caracterización y optimización especializados; dichos laboratorios producen nuevos materiales de alta calidad y bajo costo, labor que se refleja en importantes innovaciones. En el tratamiento acústico y el control de ruido, por ejemplo, se desarrollan materiales acústicos basados en recursos renovables, materiales reciclados de la industria textil, residuos de neumáticos usados y fibra natural –entre otros– elaborados como espumas metálicas y metamateriales acústicos, que los convierten en una alternativa de los materiales convencionales. Para diseñar y modelar nuevos materiales acústicos se deben medir sus propiedades mecánicas con mucha precisión; por ello se requiere entonces de técnicas de medición electrónicas avanzadas que permitan visualizar internamente los poros y fibras de un material.

Todo esto plantea la pregunta de si las empresas de nuestra región tienen un respaldo científico y técnico que les permita desarrollar nuevos materiales para la solución de los problemas del ruido acústico. Actualmente Medellín no cuenta con una alternativa de servicios técnicos y metrológicos en acústica para experimentar y caracterizar nuevos materiales para el desarrollo de nuevas aplicaciones, por lo que se hace necesario el desarrollo e innovación en este campo; es más: hoy día se experimentan con materiales nuevos acudiendo a laboratorios de ensayo de otros países. En nuestro medio existen pocos equipos de medición adecuados –como el tubo de Kundt– para medir impedancias y coeficientes de absorción en materiales, y no existen cámaras reverberantes ni cámaras anecoicas.

Las universidades locales y sus centros de investigación que tienen como objetivo desarrollar nuevos materiales acústicos deben acudir a laboratorios de otros países, lo que significa el aumento en el costo de sus investigaciones. Existen algunas conexiones entre los grupos de investigación y las empresas; tal es el caso del Ginuma (el grupo de investigación en nuevos materiales) de la Universidad Pontificia Bolivariana (Fernández, 2013), que está desarrollando un prototipo de material para una empresa de autopartes;<sup>1</sup> asimismo, desde 2009 este grupo mantiene una colaboración directa con el grupo de acústica arquitectónica de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, especialmente en la prueba con equipos de impedancia acústica y cámara reverberante. En esta misma línea la Universidad San Buenaventura, en su portafolio de productos y servicios en el área de acústica e ingeniería de sonido, tiene como aliados a las empresas Fiberglass de Colombia y Calorcol y las universidades Pontificia Bolivariana y de Antioquia (Murillo, 2013).

Como puede observarse estos casos no son suficientes y por lo tanto se requiere impulsar aún más el desarrollo de nuevos materiales y dispositivos orientados a resolver problemas de aislamiento y acondicionamiento acústico. Vivimos en un medio donde todavía no somos conscientes de mejorar las condiciones acústicas y disminuir los niveles de ruido, que cada día son mayores; por ello, deben desarrollarse proyectos enfocados hacia el desarrollo de nuevos y más económicos materiales acústicos, con laboratorios tecnológicamente bien dotados que cumplan con los estándares internacionales y en donde las universidades y empresas sean el epicentro de nuevas investigaciones.

Según el Conpes (el Consejo Nacional de Política Económica y Social) este trabajo refleja la necesidad de construir escenarios futuros de ciencia y tecnología y fomentar la innovación en los sistemas productivos mediante un portafolio de incentivos para la innovación y el financiamiento de proyectos que

---

<sup>1</sup> El nombre de la empresa se reserva por acuerdos de confidencialidad.

contengan componentes de vigilancia tecnológica que integren esquemas de consultoría tecnológica, tal como lo plantea la norma 3582 de 2009 (Conpes, 2009: 35); dicha norma también señala las siete áreas estratégicas para la ciencia, la tecnología y la innovación: energía y recursos naturales, biotecnología, salud, materiales –para el caso de este proyecto, materiales y dispositivos acústicos– y electrónica, tecnologías de información y comunicaciones, logística y diseño, y construcción de ciudadanía e inclusión social.

Este proyecto apunta al diseño de un modelo teórico experimental de nivel organizacional de un centro de investigación y desarrollo experimental (I + D) para nuevos materiales y dispositivos acústicos<sup>2</sup> que preste servicios técnicos y de metrología a investigadores de varias disciplinas: ingenieros de sonido, ingenieros acústicos –carrera que no existe en el país-, arquitectos especializados en acústica, ingenieros de materiales, ingenieros industriales, empresas del sector, músicos –en el diseño de estudios de grabación– y profesionales en la gestión de I + D + i.

Para modelar el Centro se hizo una investigación y se levantó información desarrollando consultas Delphi para diagnosticar y proyectar hacia el futuro su impacto científico y tecnológico en la región; posteriormente se hizo un trabajo de vigilancia tecnológica y bibliométrico acerca de los líderes mundiales en investigación acústica. Con todos estos datos, los aportes hechos por expertos y el conocimiento de las normas técnicas colombianas (NTC) 5800, 5801 y 5802 del INCONTEC, se presentó el diseño del modelo del Centro, detallando cada uno de los ítemes sugeridos por ellas según las especificaciones técnicas de los laboratorios de acústica internacionales.

---

<sup>2</sup> Siendo este el propósito del trabajo de grado, y para efectos de brevedad, el “centro de investigación y desarrollo experimental (I + D) para nuevos materiales y dispositivos acústicos” seguirá siendo nombrado el “Centro” –con mayúscula inicial–.

# 1 Problema: descripción, planteamiento y justificación

## 1.1 Planteamiento

En la actualidad la demanda de soluciones y problemas específicos del ruido han conducido a la aparición de nuevas especialidades como la ingeniería acústica y de control de ruido, así como un creciente desarrollo de la industria de los materiales acústicos y el surgimiento de importantes empresas de consultoría acústica; de igual forma se vienen presentando grandes progresos en materia de mediciones acústicas, que se reflejan no solo en la posibilidad de impulsar aún más la investigación aplicada y sus tecnologías, sino también en el desarrollo de su normatividad y legislación, lo que faculta disponer de recursos que posibiliten la determinación y evaluación en forma objetiva de los límites permitidos para el nivel del ruido.

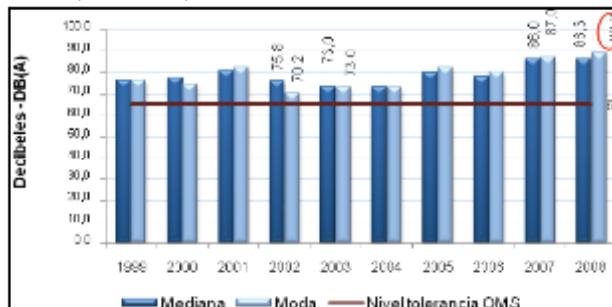
En 2008, al igual que en años anteriores, el ruido en los principales cruces viales de Medellín superaba ampliamente los límites de la norma; estos rangos producen efectos psicológicos y daños auditivos irreversibles en la población, tal como se muestra en la Tabla 1 y la Figura 1.

Tabla 1. Niveles de ruido promedio medidos en Medellín (1999-2008)

Descripción	Año									
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Número de muestras tomadas	370	338	698	389	387	516	664	603	602	783
Mediana (dBA)	76,4	77,4	80,8	75,8	73,0	73,0	80,0	78,0	86,0	86,3
Moda (dBA)	76,2	74,2	82,2	70,2	73,0	73,0	82,0	80,0	87,0	89,0
Máximo (dBA)	90,4	91,8	92,1	92,8	89,0	88,0	98,0	96,0	99,8	99,1
Mínimo (dBA)	62,8	60,7	59,1	62,8	65,0	46,0	64,0	64,0	53,6	35,0
Desviación Estándar	4,4	4,9	5,2	5,9	4,2	3,8	6,1	6,1	4,9	5,7

Fuente: Yepes, Gómez, Sánchez y Jaramillo (2008). Metodología de elaboración de mapas acústicos como herramienta de gestión del ruido urbano. Caso Medellín. *Revista Universidad Nacional*, sede Medellín.

Figura 1. Niveles de ruido en Medellín (1999-2008)



Fuente: Yepes, Gómez, Sánchez y Jaramillo (2008). Metodología de elaboración de mapas acústicos como herramienta de gestión del ruido urbano. Caso Medellín. *Revista Universidad Nacional*, sede Medellín.

Las consecuencias del ruido no solo se ven reflejadas en el órgano auditivo; los altos niveles de ruido en nuestros entornos urbanos están produciendo efectos negativos en la salud de las personas: sordera, fatiga auditiva, repercusiones en el sueño y el apetito, alteraciones en el rendimiento del trabajo,

anormalidades en el comportamiento como irritación (Miyara,1999) y efectos en las comunicaciones interpersonales (González, A. E., 2012).

El problema del control de la contaminación sonora llamó la atención del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, que expidió la Resolución 0627 del 7 de abril de 2006 por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido para todo el territorio nacional (Colombia, 2006), fijado estándares máximos permisibles de emisiones de nivel de ruido, expresado en decibeles.

Bajo este contexto el avance en materia del control de ruido y el estudio de materiales acústicos se ven cada día superados por el rápido crecimiento de la población, especialmente en las grandes ciudades; nace así la necesidad de aumentar los bienes y servicios relacionados con la acústica, dados los nuevos problemas en este campo: el confort acústico en los hogares y los vehículos, los estudios de grabación y las salas de conciertos, y la regularización del ruido en los sitios públicos y edificios, entre otros. Frente a esta situación, en nuestro medio se investiga poco para mejorar las condiciones acústicas ambientales y se hace poco control por parte de los organismos estatales en un área donde las soluciones a este tipo de problemas son muy generalizadas y crean poco impacto en la sociedad.

En este contexto puede afirmarse que existe ausencia y falta de elementos estratégicos que impulsen el desarrollo tecnológico en el área del control de ruido, y que de igual forma no existe el recurso humano capacitado que resuelva problemas específicos a pesar de la existencia de una gran cantidad de soluciones y tratamientos acústicos desarrollados por personas que no tienen una adecuada formación; como consecuencia, se ven materiales acústicos inadecuados a lo que no se les han hecho las mediciones pertinentes en un laboratorio certificado de control.

## **1.2 Justificación**

La acústica y el control de ruido son áreas de investigación de gran relevancia a nivel mundial y son muchas las aplicaciones que requieren de I + D + i en este campo. El objetivo de este proyecto es diseñar el modelo de un centro dedicado a la caracterización, medición y diseño de nuevos materiales y orientado a todas las aplicaciones del control de ruido y acondicionamiento acústico importantes para el área de la acústica arquitectónica, el diseño de estudios de grabación y de confort acústico para vehículos, el control del ruido industrial y el control de ruido y vibraciones en los aeropuertos –este último tema se está tratando en España (Asensio, Pavón, Recuero y Ausejo, 2012)–. Son pocas las empresas nacionales dedicadas al desarrollo de nuevos materiales acústicos, debido a que no tienen laboratorios dotados tecnológicamente que cumplan con las normas internacionales sobre medidas y caracterización de materiales.

La propuesta busca también generar importantes avances de investigación, pues permitirá que el Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM) se vincule con el sector empresarial sirviendo como apoyo científico y tecnológico en el desarrollo de nuevos materiales para el control de ruido acústico; esto puede reflejarse en el desarrollo de patentes, modelos de utilidad y nuevos servicios tecnológicos. Un centro de I + D + i que comprenda la caracterización y la optimización para el diseño de nuevos materiales acústicos involucra varias ramas profesionales: ingenieros de materiales, arquitectos, diseñadores e ingenieros de audio; este es un aspecto importante que le puede dar peso científico e interdisciplinariedad a los productos innovadores que se generen.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

Diseñar un modelo teórico conceptual de nivel organizacional de un centro<sup>3</sup> de investigación y desarrollo (I + D) experimental para nuevos materiales y dispositivos acústicos, enmarcado en las normas técnicas colombianas (NTC) del INCONTEC para la gestión de la investigación, el desarrollo y la innovación (I + D + i).

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las principales normas internacionales y técnicas de metrología acústica actuales en el desarrollo de nuevos materiales y dispositivos acústicos y relacionarlas en el diseño del modelo.
- Hacer un diagnóstico de los procesos tecnológicos existentes en materiales acústicos de nueva generación en la industria actual.
- Definir los principales componentes que intervienen en el diseño del modelo del Centro, soportado en las normas 5800, 5801 y 5802 del INCONTEC.
- Diseñar el modelo teórico conceptual de nivel organizacional del Centro, basado en el análisis y proceso de vigilancia tecnológica y en los procesos de I + D + i, según las normas internacionales.

## 1.4 Revisión de la literatura

### 1.4.1 Técnicas de medida y caracterización de materiales

En la investigación de nuevos materiales acústicos, así como en la identificación de procesos, laboratorios y técnicas de medida, se encuentran la caracterización, la simulación y la experimentación de materiales vibroacústicos, la absorción y el aislamiento (González, 2004); en ellas se muestran los objetivos principales de un centro de investigación en el área de la acústica enfocado en el mejoramiento de materiales acústicos y en las técnicas de laboratorio para caracterizar y simular materiales con procesos de múltiples capas.

Los sistemas de medición de materiales tienen diferentes técnicas. Una de ellas es el sistema de medición para su caracterización acústica a la incidencia normal del sonido (Gil, Giraldo, Córdoba y Cárdenas, 2011), que consiste en obtener el factor complejo de reflexión sonora a la incidencia normal por medio de la fabricación del tubo de impedancia y el desarrollo de algoritmos en MATLAB; la medición está acorde con la norma ISO 10534-2. Otros procesos son las mediciones de las propiedades acústicas de materiales absorbentes con tubos de impedancia desarrollados con técnicas de microfonía en serie (Doutres, Salissou, Atalla y Panneton, 2010). Se pueden desarrollar además otras técnicas en mediciones, por ejemplo simuladores de vibraciones aplicados en materiales acústicos para autos (Alk, de Geest y Vansant, 2013).

No solamente se miden materiales que sean absorbentes de sonido: también se encuentran materiales acústicos que aíslan y atenúan los niveles de ruido. Las medidas del índice de reducción sonora se diseñan según la norma UNE EN ISO 140-1, y se requiere también conocer las técnicas avanzadas de medida en intensimetría acústica para la caracterización de materiales de aislamiento acústico (Múnera, 2008). Existen procedimientos alternativos basados en las medidas de intensidad sonora; su validación se

---

<sup>3</sup> El Centro.

consigue aplicando los criterios establecidos en la norma UNE EN ISO 9614, y lo interesante es que se pueden realizar sin necesidad de un recinto acondicionado acústicamente, que son muy costosos.

#### 1.4.2 Revisión de la literatura en nuevos materiales acústicos

En cuanto a nuevos materiales acústicos y su viabilidad, se encuentran desechables textiles diferentes a los convencionales de lana de roca y fibra de vidrio; a estos materiales se les hace la modelación matemática, la caracterización acústica y la simulación, para luego ser aplicados en acústica arquitectónica (Sanabre y Fernández, 2007). Estos procesos de experimentación se realizan en un pequeño espacio con el tubo de impedancia (o tubo de Kundt).

Siguiendo con la misma línea de materiales económicos con altas prestaciones de absorción acústica, se encuentran las nuevas pantallas acústicas elaboradas a partir de materiales reciclados (Merino, 2010). Este aporte a la investigación es importante en el área de la acústica medioambiental, ya que propone nuevos materiales de bajo costo, es decir, fibras naturales diferentes a las espumas de poliuretano; todos ellos tienen modelación matemática, se miden en cámaras reverberantes y se simulan en detalle para definir la característica del material; además, proponen futuras líneas de investigación, indispensables para el control de ruido y la acústica arquitectónica.

En otros procesos de ensayo y de metodologías de medición acústica de materiales en cámaras de ensayo se hace un análisis acústico de los materiales a escala de laboratorio y se plantea una metodología de medición a partir de dos cámaras –una emisora y otra receptora–, donde se pueden realizar ensayos de aislamiento acústico de materiales; adicionalmente se tienen equipos como amplificadores, micrófonos y software (Peres, Muller y Mahajan, 2010), que detallan el protocolo de medida y ayudan a seleccionar los procesos que contribuyen a la propuesta del diseño del Centro.

En la búsqueda de información para generar nuevos conocimientos acerca de I + D de nuevos materiales acústicos, se encuentran proyectos relacionados con dichos materiales a partir de plantas y fibras naturales (Sanabre y Fernández, 2007); las propiedades acústicas de la fibra de palma son muy interesantes, ya que tiene coeficientes de absorción muy similares a la lana de roca y además es un material ecológico (Lamyaa Abd, Raja, Roslan y Zawawi, 2012: 1390-1395). También se proponen nuevos dispositivos acústicos como los paneles de fibras naturales, con sus correspondientes ensayos y caracterización (Bastos, de Melo y Soeiro, 2012).

En esta misma línea existen investigaciones recientes en la innovación de materiales acústicos sostenibles denominados *materiales verdes* –debido a su característica ecológica–, comparados con otros materiales acústicos como la lana de vidrio, que son menos ecológicos y más contaminantes, ya que requieren de protección con velos acústicos, pues desprenden partículas que son nocivas para la salud (Asdrubali, 2006).

Ampliando la información hacia el área de la acústica aplicada se plantean diferentes procesos de medición y caracterización acústica: la evaluación de las propiedades acústicas y no acústicas de absorción de sonido de materiales utilizando un tubo de impedancia (Doutres, Salissou, Atalla y Panneton, 2010), la utilización de la fibra de coco en el panel multicapa de absorción acústica (Fouladi, Nor, Ayub y Zulkarnain, 2010: 241-249.) y la investigación de materiales residuales industriales y de fibra natural y sus propiedades de absorción de sonido (Ersoy y Küçük, 2007: 225-220).

Las líneas de investigación en nuevos materiales apuntan a la sostenibilidad de los materiales acústicos y a la caracterización acústica de materiales sostenibles (Desarnauls, Costanzo, Blaise y Arlaud, 2005; Oldham, Egan y Cookson, 2010). La sociedad actual demanda cada vez más materiales sostenibles que ahorren energía; surge así un nicho de mercado para los fabricantes de nuevos materiales acústicos y

aparece un proyecto de I + D + i partiendo de biomasa agroforestal o vermiculita expandida, que ha permitido obtener nuevos materiales acústicos cuya aplicación final es la acústica arquitectónica (Pereiro, 2011).

#### 1.4.3 Revisión de la literatura en la gestión del modelo del Centro

El ciclo de vigilancia tecnológica con aplicación en materiales metálicos (Arango, Tamayo y Fadul, 2012) muestra las diferentes metodologías según la norma española UNE 166006 de gestión de I + D + i; adicionalmente se analiza el documento “Guía metodológica de práctica de la vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva” (Palop y Martínez, 2012), realizado en colaboración con la Universidad Pontificia Bolivariana, donde se indica la metodología según las NTC 5800, 5801 y 5802.

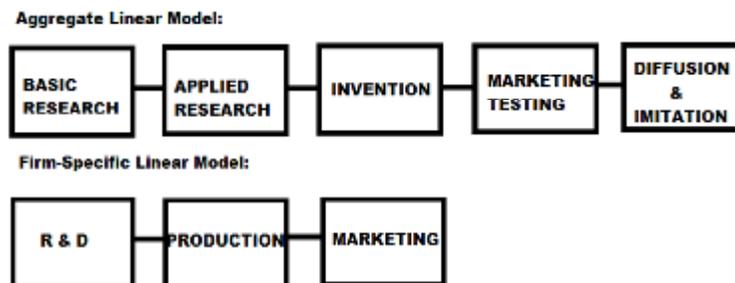
En la construcción del modelo del Centro son fundamentales las herramientas de gestión de I + D + i basadas en las normas UNE (*una norma española*) 166000, ya que para seleccionar la herramienta adecuada de una tarea en especial es necesario conocer su área, en este caso la de materiales acústicos (Sancho, Fernández y Gonzáles, 2008). También es pertinente el análisis de los procesos de I + D + i, así como la terminología, las definiciones y los requisitos según las normas del INCONTEC mencionadas.

### 1.5 Modelos de I + D clásicos en la literatura

El primero y el más común de todos es el modelo *lineal*, llamado así por la forma unidireccional y secuencial en que se establece la relación entre el avance científico, el desarrollo tecnológico, la riqueza económica y el bienestar social. Inicialmente aparece un primer modelo: *technology-push*, aplicado entre 1950 y 1965, que empujaba el proceso de innovación desde el avance científico y sus aplicaciones tecnológicas para de esta manera generar riqueza y bienestar social; el modelo también fue llamado *market-pull*, que, como su nombre lo indica, era jalonado por la demanda del mercado –su principal fuente de ideas–, e inducía al desarrollo tecnológico.

La Figura 2 muestra un diagrama del modelo lineal de I + D.

Figura 2. Modelo lineal de I + D

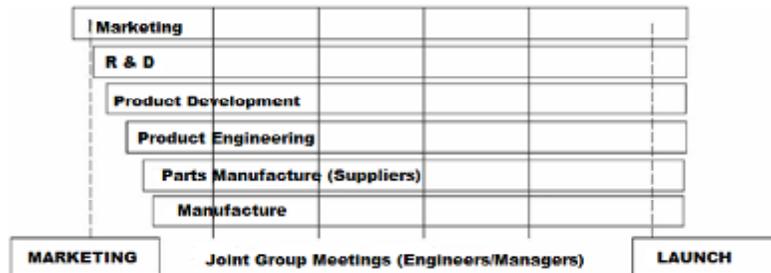


Fuente: C. Freeman (1996). The greening of technology and models of innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 53: 27-39.

Otro modelo es el *sistémico* o *integrado en red*, propuesto por Rothwell en 1992, que captura el gran impacto de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Este modelo, que se muestra en la Figura 3, tiene las siguientes características:

- Uso de sistemas expertos y modelos de simulación de I + D
- Desarrollo paralelo y completamente integrado
- Flexibilidad corporativa
- Velocidad de nuevos desarrollos
- El cliente no es tan importante como el conocimiento
- Enfoque en la calidad y otros factores no orientados al precio

Figura 3. Modelo integrado en red de I + D



Fuente: Rothwell (1993). Systems integration and networking: The fifth generation innovation process [ponencia]. The Chair Hydro-Quebec Conference en Gestion de Technologie. Montreal, mayo.p. 22.

### 1.6 Gestión prospectiva estratégica de I + D + i: una propuesta de un modelo conceptual

Este modelo, presentado por Jorge Robledo Velásquez (2011), es una propuesta de gestión prospectiva estratégica de I + D + i para la Universidad Nacional de Colombia, que busca contribuir a los problemas identificados en dicha gestión planteando una estructura básica y unos procesos organizacionales para formalizar su planeación.

Para la elaboración de esta propuesta se utilizó un método de diseño de sistema organizacional con las siguientes etapas:

- Definir el marco conceptual.
- Definir el problema que se quiere solucionar con la elaboración de la propuesta del modelo.
- Definir el objetivo para el diseño del modelo.
- Identificar las restricciones que existen para el diseño del modelo y los resultados que se esperan.
- Elaborar el diseño y la formulación de la propuesta de modelo teniendo en cuenta lo anterior, basado en referentes de la literatura nacional e internacional.
- Definir las previsiones para la implementación del modelo.

El objetivo de la propuesta de Robledo Velásquez es el siguiente: “Liderar la construcción de consensos nacionales sobre los temas de investigación en torno a los cuales se deben enfocar, fortalecer e integrar los esfuerzos de la CTI en el país, mediante la formulación e implementación de agendas de conocimiento” (2011). Este objetivo surge de la identificación previa de situaciones-problema de la universidad, que se pretenden solucionar mediante el modelo de gestión.

Una vez definido el objetivo, se identificaron las restricciones que pueden afectar el diseño de la propuesta del modelo de gestión, basadas en las capacidades con las que cuentan la universidad y el país,

para definir las limitaciones de los modelos y de los recursos disponibles para su implementación y operación, y las buenas prácticas de referencia.

Se identificaron también los resultados esperados con la implementación de la propuesta del modelo de gestión, que especifican lo que este debe posibilitar a la universidad.

Se recurrió a la literatura para realizar la propuesta del modelo, que está basado en los conceptos del modelo de congruencia de Nadler y Tushman de 1997 y en trabajos complementarios que desarrollan la perspectiva de los recursos, la integran al modelo anterior y la aplican a la gestión prospectiva estratégica de I + D + i de la Universidad Nacional.

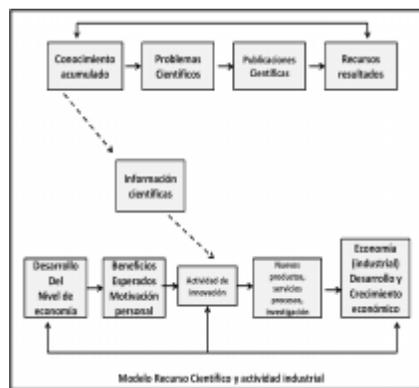
El modelo tiene cinco elementos:

1. Los componentes del modelo genérico –el contexto, la estrategia, los procesos de transformación y los resultados–.
2. Los procesos organizacionales y sus capacidades.
3. La matriz que relaciona las dimensiones y las capacidades, definiendo para cada una de estas la intencionalidad estratégica que sustenta y los resultados que posibilita, así como componentes de organización formal e informal, personal y tecnología.
4. La estructura de la organización en términos de las instancias y principales dependencias que respaldan los procesos.
5. La matriz estructura/procesos organizacionales, que define las responsabilidades básicas de las instancias y dependencias de la Universidad Nacional de Colombia frente a la gestión de I + D + i (Robledo Velásquez, 2011).

## 1.7 Modelo de Haeffner

Otro modelo, aunque no interactivo –con conexión entre sus partes–, es el modelo de Haeffner, que se muestra en la Figura 4. Este se relaciona con la innovación desde su origen científico y además tiene el componente de desarrollo económico que no se observa directamente en modelos anteriores. Hay tres factores que son determinantes en el modelo de Haeffner: el nivel de desarrollo de la economía, la calidad y la cantidad de conocimiento acumulado, y la calidad de la educación y la cantidad de información que alimenta la actividad de innovación.

Figura 4. Modelo de Haeffner



Fuente: E. A. Haeffner, (1973). The innovation process. *Technology Review*, 75(5), marzo-abril, pp. 18-25

## 1.8 Modelo de gestión de la innovación del Centro de innovación y desarrollo de empresas (Cidem)

Este modelo, que se muestra en la Figura 5, se centra en el proceso de innovación y está integrado por cinco actividades.

Figura 5. Modelo de gestión de la innovación del Cidem



Fuente: Centro de innovación y desarrollo de empresas (Cidem) (2002). Sitio web: <http://web.gencat.cat/ca/inici/>

Las actividades básicas son cuatro, y están representadas así:

### 1. Generación de nuevos conceptos

Identificación de nuevos conceptos, análisis de tendencias del mercado y análisis de éxitos de la competencia. Estimula la creatividad de los trabajadores y define criterios de selección de ideas. Hay una planificación en el tiempo de la generación de nuevos conceptos de producto.

### 2. Redefinición de los procesos productivos

Redefinición de los procesos para alcanzar mayor flexibilidad y productividad, mayor calidad y menores costos de producción, así como los cambios necesarios para obtener variaciones de producto.

También evalúa la incorporación de nuevas tecnologías y herramientas de gestión para darles mayor valor agregado a los productos.

### 3. Desarrollo de productos

La empresa se preocupa por materializar las ideas y convertirlas en nuevos productos o servicios en el mercado. Se hace una caracterización detallada del producto según su proceso de fabricación, teniendo en cuenta su distribución y servicio postventa.

También optimiza los tiempos de desarrollo del nuevo producto y coordina los equipos de trabajo, tanto internos como externos.

### 4. Redefinición de los procesos de comercialización

Se preocupa por aumentar el valor de los productos haciendo cambios en los procesos de comercialización y aplicando las nuevas tecnologías de la información.

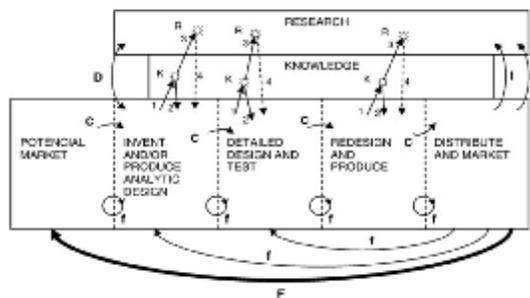
La quinta actividad, “Gestión del conocimiento y de la tecnología”, es esencial; este modelo la llama “facilitadoras de la innovación”. En ella se busca determinar qué tipo de estrategia debe utilizar la empresa: si emprender desarrollo propio o hacer adquisición externa de tecnología. Para la primera, implementando un departamento de I + D; y para la segunda, subcontratando proyectos de I + D a empresas de ingeniería mediante centros de desarrollo tecnológico o universidades, comprando licencias

o patentes o estableciendo alianzas tecnológicas; además se hace un seguimiento detallado sobre la evolución de la tecnología que puede afectar el producto o servicio de la empresa en un futuro.

### 1.9 Modelo cadena-eslabón o de articulación en cadena

El modelo cadena-eslabón, que se muestra en la Figura 6, inicia con un proceso básicamente lineal, pasando del potencial de mercado a través de la invención, el diseño, la adaptación y la adopción; en todo caso no es un modelo lineal puro sino interactivo (Kline y Rosenberg, 1986: 289-294). Los modelos interactivos ofrecen un acercamiento más completo a los factores implicados en la innovación, pero no tienen en cuenta el contexto en que se esta se produce. Este modelo es la base de las NTC y es pilar fundamental para el modelo del Centro.

Figura 6. Modelo de innovación o de articulación en cadena



Fuente: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2002), citando a Kline y Rosenberg.

### 1.10 Modelo evolutivo

En contraste con los modelos lineales, se encuentran otras propuestas interesantes como los modelos evolutivos, que se pueden acoplar a un centro de I + D. Estos están estrechamente vinculados a los modelos de dinámica de sistemas, pues ven la innovación como un proceso dependiente de las trayectorias y las fases. Los estudios evolutivos de los cambios tecnológicos han combinado los fundamentos de la biología, el equilibrio termodinámico, la teoría de la organización y los enfoques heterodoxos en la economía. Estos modelos hacen hincapié en que los resultados se determinan por el proceso evolutivo y enfatizan que dicho proceso es tan importante como los resultados de I + D.

Según Saviotti, los siguientes son los conceptos esenciales de la evolución para acercarse a la innovación:

- Generación de variables: las innovaciones son vistas como equivalentes a las mutaciones biológicas.
- Procesos de selección: el resultado es la supervivencia de algunos productos, tecnologías y empresas para el medio ambiente.
- Reproducción y herencia: las empresas están produciendo las organizaciones y hay herencia en la continuidad de las actividades empresariales.

- Adaptación: la propensión de una unidad económica para tener éxito en un determinado medio ambiente.
- Perspectiva en la población: variaciones en la población que deben ser analizadas.
- Interacciones elementales: competencia y colaboración entre las unidades económicas en un contexto dinámico.
- Entorno externo: entorno socioeconómico y natural (Saviotti, 1997).

En el enfoque de sistemas de innovación es importante la perspectiva del largo plazo, porque los procesos de innovación requieren tiempo y son a menudo dependientes de este. Por lo tanto existe una similitud entre los teorías evolutivas de la innovación y el enfoque de los sistemas de innovación. Las implicaciones de una perspectiva evolutiva son importantes para la comprensión de la innovación. Según Navarro Arancegui, las características principales de la innovación que fundamentan un centro de I + D son las siguientes:

1. La innovación es el centro del análisis y está vinculada al proceso de aprendizaje.
2. El enfoque de los sistemas de innovación es holístico y trata de incluir todas las determinantes de la innovación. También es un enfoque multidisciplinario, porque no solo son considerados los factores económicos, sino también los eventos sociales y las políticas institucionales y organizativas.
3. Se considera una perspectiva histórica, debido a que las innovaciones necesitan tiempo y las organizaciones, las instituciones, las tecnologías y las regiones son dependientes de la del camino o la ruta.
4. La aceptación de las diferencias entre los sistemas de innovación y, por tanto, la inexistencia de un sistema óptimo.
5. El énfasis en la interdependencia –inherente a la idea del sistema– dentro del sistema y una visión no lineal del proceso de innovación.
6. El papel fundamental asignado a las instituciones y organizaciones (Navarro Arancegui, 2001).

### **1.11 Modelos de sistemas dinámicos y evolutivos**

Otros modelos interesantes para la propuesta del modelo del Centro son los sistemas dinámicos y evolutivos. Cada variable está relacionada y depende de los procesos que la anteceden, estableciendo rutas óptimas y realimentando los resultados para conformar un centro acorde con el Sistema Nacional de Innovación (SNI), cuyos componentes, según Edquist, son los siguientes:

- Organizaciones

Son estructuras formales creadas con un propósito explícito y consciente, y conocidas en la literatura como *actores*. Ejemplos de ellas son las empresas, las universidades y centros de investigación, las organizaciones financieras y las agencias políticas y públicas de innovación.

- Instituciones

Son conjuntos de hábitos comunes, rutinas, prácticas establecidas y normas o leyes que regulan las relaciones e interacciones entre individuos, grupos y organizaciones (Edquist, 1997).

Las organizaciones pueden ser:

- Privadas: empresas, asociaciones científicas, etc.
- Públicas: agencias que formulan y aplican la política tecnológica, universidades y centros de investigación, oficinas de patentes, etc.

En cuanto al papel desempeñado en relación con procesos de conocimiento, se tienen los siguientes:

- La producción: centros de investigación
- La distribución: centros tecnológicos
- La regulación: oficinas de patentes

En cuanto a las instituciones, estas pueden ser:

- Políticas o económicas.
- Formales –leyes– o informales –tradiciones: la moral por ejemplo–.
- Básicas: las normas fundamentales –como los derechos de propiedad– que fijan los aspectos de las normas básicas –restricciones a la utilización de propiedad privada en situaciones particulares– (Edquist, 1997: 46).

La tercera edición del *Manual de Oslo* (OCDE/Eurostat, 2005: 37) considera que los elementos del entorno institucional general donde las empresas operan son los siguientes: los sistemas básicos educativos, el sistema universitario, el sistema especializado de formación técnica, la ciencia y la base de investigación, las políticas de innovación, las normas y el aspecto legislativo, los ajustes macroeconómicos, la infraestructura de comunicaciones, las instituciones financieras, la accesibilidad al mercado, la estructura industrial y el entorno competitivo.

En general la innovación no es el resultado del trabajo aislado de los actores; por el contrario, las relaciones entre los componentes son una condición necesaria para la innovación y la existencia de un sistema de innovación. Las relaciones se pueden agrupar de la siguiente manera:

- Las interacciones entre las organizaciones o entre algunas partes de una organización Pueden estar basadas en el mercado –operaciones tales como las ventas– y en una especie de “no mercado” –la colaboración, el intercambio de información–.
- Las relaciones entre las organizaciones e instituciones Existe una relación bidireccional entre ellas, porque todas las organizaciones están involucradas en un entorno institucional que promulga leyes y normas técnicas.
- Las interacciones entre las instituciones, que pueden reforzarse o contradecirse

El tipo de relación y el peso de las instituciones y organizaciones son diferentes en cada sistema de innovación, y esto afecta las funciones del sistema y los resultados. Por esta razón es necesario identificar las relaciones en cada contexto particular.

La innovación es el resultado de una compleja interacción entre diversos actores e instituciones. El economista Josef Alois Schumpeter se refirió a ella no solo como algo que incluye el cambio tecnológico, sino en un sentido más amplio: la introducción de nuevos productos, la apertura de nuevos mercados, el desarrollo de nuevas fuentes de suministro de materias primas u otros insumos y la creación de nuevas estructuras de mercado en la industria. Sin embargo, la mayor parte de la literatura acerca de la innovación asocia el concepto del cambio tecnológico.

Incluso el enfoque de los sistemas de innovación se centró inicialmente en los cambios tecnológicos, en particular, las innovaciones en los procesos tecnológicos. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y la Oficina Europea de Estadística (Eurostat) definen la *innovación* como la implementación de un producto –bien o servicio– nuevo o mejorado, o también como un proceso, un nuevo método de comercialización o un nuevo método organizativo en las prácticas comerciales, en la organización del lugar de trabajo o en las relaciones externas (OCDE/Eurostat, 2005:46). Esto significa por definición que todas las innovaciones deben contener un grado de novedad y diferencial en cuanto al mercado.

Tres conceptos de la innovación son considerados por el *Manual*: nuevos para la empresa, nuevos en el mercado y nuevo para el mundo (2005:46). Además incluye cuatro tipos de innovación: de producto, de procesos, de comercialización (*marketing*) y de innovación organizativa:

- La innovación del producto

La introducción de un bien o servicio que es nuevo o mejorado significativamente con respecto a sus características o uso previsto. Esto incluye mejoras significativas en sus especificaciones técnicas, componentes y materiales, software incorporado, facilidad de uso u otras características funcionales.

- La innovación de los procesos

La implementación, en un proceso de producción, de un método nuevo o significativamente mejorado. Esto incluye cambios significativos en técnicas, equipo y software.

- Innovación de la comercialización

La implementación de un nuevo método de comercialización que implica cambios significativos en el diseño del producto o su envase, la colocación de productos en el mercado y las promociones.

- La innovación organizativa

La implementación de un nuevo método organizativo en las prácticas comerciales de una empresa, la organización del lugar de trabajo o las relaciones internas y externas (OCDE/Eurostat, 2005:48-52).

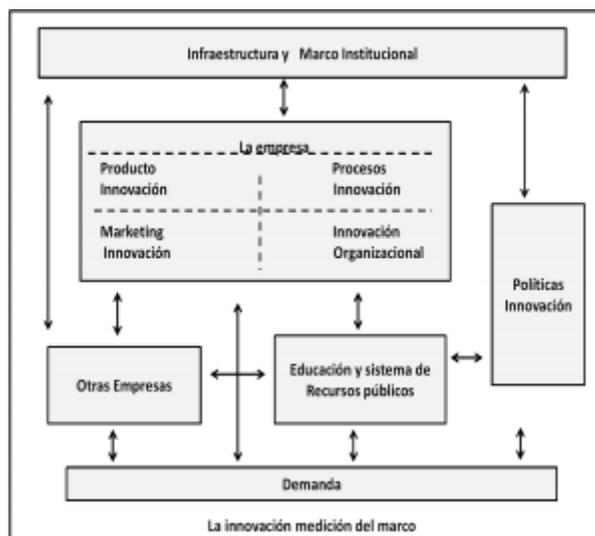
Las representaciones de los sistemas de innovación regionales aplicadas al Centro pueden conllevar estrategias y políticas para fomentar la innovación, pero la literatura no es clara acerca de cuándo una región puede considerarse como un sistema de innovación. La cuestión de lo empírico de la representación de los sistemas de innovación es una de los más discutidas en el ámbito de la investigación.

A continuación se presentan algunas propuestas. Según la OCDE, los actores de la innovación clave de un sistema nacional de innovación –que se definen en el estrecho contexto– se puede dividir en cinco categorías principales:

- Los gobiernos y las instituciones adscritas a ellos.
- Las empresas privadas y los institutos de investigación que financian universidades e instituciones afines, y otras organizaciones públicas y privadas –laboratorios y organizaciones tecnológicas de transferencia–.
- Los centros de investigación conjunta.
- Las oficinas de patentes.
- Las organizaciones que tienen como fin la formación (OCDE 2002).

Para el modelo del Centro se tendrán en cuenta las definiciones que propone el SNI basadas en la OCDE, que plantea un modelo estándar en el que la demanda es un actor explícito. Este modelo se muestra en la Figura 7.

Figura 7. Modelo de innovación



Fuente: OECD/Eurostat (2005). *Manual de Oslo*, p.34.

Todos estos modelos proponen un desarrollo interesante; pero ¿cómo se enmarcan en un centro de I + D para el caso de materiales acústicos? La propuesta es, entonces, el análisis y el seguimiento por medio de indicadores. Medir la innovación tiene cada vez más interés en las esferas pública y privada. Los políticos están muy interesados en la medición de la innovación para tener una base para el diseño y evaluación de las políticas dirigidas a impulsar los sistemas de innovación.

En 1997 la OCDE consideró tres enfoques analíticos para los sistemas de innovación nacional:

- Encuestas de innovación a nivel de la empresa  
Bajo este enfoque, las empresas deben ser interrogadas acerca de sus fuentes de conocimiento relevante para la innovación, los gastos en I + D, otros aportes a la innovación, el rendimiento relacionado con I + D y otros resultados de la innovación.

- Análisis de los centros que se enfocan en las interacciones entre determinados tipos de empresas y sectores, que pueden agruparse en función de sus características tecnológicas y de redes. Estos centros, denominados *clústeres*, pueden utilizarse para analizar los flujos de conocimiento en un sistema de innovación nacional.
- Flujos de conocimiento internacional. Existe una mayor apertura de los sistemas de innovación con respecto a muchas formas de flujos de conocimiento –incluyendo la tecnología– adquiridos del extranjero, ligados al capital y los bienes intermedios, las compras de patentes y licencias extranjeras, las alianzas técnicas entre empresas de diferentes países, el comercio de servicios –como el de consultorías técnicas–, la inversión extranjera directa y las publicaciones internacionales.

A pesar de esto, el potencial de innovación todavía parece estar determinado principalmente por las capacidades a nivel sub-nacional. Los vínculos internacionales son vitales para permitir la absorción del conocimiento del exterior y la difusión de nuevas tecnologías, en particular para el desarrollo de las economías nacionales.

Los indicadores de disponibilidad se refieren a los flujos internacionales de conocimiento: datos sobre los flujos de pagos de tecnología, difusión global de las patentes, comercio de tecnología incorporada y asociaciones conjuntas de I + D; y aunque no es complicado aplicarlos a nivel nacional, sí lo es a nivel regional.

En el campo de la acústica se requiere un fuerte impulso en la creación de empresas y el desarrollo de productos y dispositivos que conlleven a la creación de patentes; si las universidades no investigan sobre el tema, las empresas tienden a quedarse estancadas y terminan desconociendo la evolución mundial, desarrollando los mismos productos de hace más de treinta años. El referente para esto es el número de patentes que se producen, y en ese aspecto la ubicación en el área del control de ruido en el escalafón internacional no es tan favorable.

Una manera de evaluar un sistema de innovación es considerar un conjunto de variables claves y analizarlas en busca de la caracterización de la estructura del sistema, los vínculos entre los actores y las innovaciones llevadas a cabo por las empresas, en particular con respecto a su tendencia y el impacto en la competitividad y el desarrollo económico y social. El Centro debe ajustarse al marco del SNI, teniendo en cuenta las variables más relevantes:

- Las empresas, universidades y centros de investigación –en este caso, los laboratorios especializados en acústica– desempeñan un papel crucial en la consolidación del sistema de innovación y deben estimular procesos innovadores.
- Las proporciones de los esfuerzos mostrados para generar, adquirir y adaptar nuevos conocimientos o para mejorar las capacidades de investigación y de innovación tecnológica y organizativa en relación con los agregados nacionales permiten inferir el tamaño y alcance del sistema.
- Los resultados concretos de las actividades de los actores del sistema, junto con sus interacciones, permiten la evaluación del impacto.
- Los patrones que los esfuerzos de las combinaciones y relaciones tienen dentro del sistema son cruciales, porque no hay pruebas de que diferentes estrategias de innovación conduzcan a diferentes impactos para entender el despliegue del sistema con el tiempo.

- Los marcos micro y macroeconómico deben ser evaluados, teniendo en cuenta un enfoque sistémico.

Por tanto, la NTC 5801 (INCONTEC, 2008b) propone que las organizaciones establezcan políticas de I + D + i en afinidad con el SNI. Esta norma está basada en su mayoría en la norma UNE 166002: 2006, además de contener la experiencia de gestión de I + D + i de profesionales y organizaciones relevantes en este ámbito.

## 1.12 Metodología

Para llevar a cabo el primer objetivo planteado se realizó una búsqueda de las principales normas acústicas internacionales de metrología, con el fin de estructurar los servicios que prestará el Centro. Las normas fueron halladas diseñando búsquedas en los principales servicios prestados por laboratorios de metrología en materiales del mundo y regidas por las normas de la American Society for Testing and Material (ASTM) y consultas en manuales especializados en materiales acústicos (Bruneau y Potel, 2009); también se consultaron las normas ISO y las normas UNE.

Con estas normas se definieron las necesidades que debe suplir el Centro con respecto a los diferentes proyectos de investigación y a la creación de nuevos productos relacionados con el área de la acústica. Estos productos deben cumplir con las especificaciones y controles de manera estricta, para entrar a competir a nivel internacional, y para que sea un referente a nivel regional, nacional y mundial en cuanto a control de ruido acústico se refiere.

Para dar respuesta al segundo objetivo se procedió a realizar un diagnóstico de los procesos tecnológicos en nuevos materiales y dispositivos acústicos. Para esto se aplicó la metodología Delphi, que consiste en consultar a un panel de expertos en sonido y acústica de diferentes formaciones profesionales –ingenieros acústicos, de sonido, físicos y civiles, entre otros–, realizando dos rondas de preguntas: la primera, exponiendo la actualidad de los laboratorios en la región y el país; y la segunda, definiendo cuáles son las necesidades en temas de investigación y laboratorios. De estas rondas se llegaron a consensos y conclusiones determinantes que permitieron definir y diagnosticar en qué estado se encuentra actualmente el área de la acústica, qué necesidades tienen las empresas del sector tecnológico y qué importancia tiene el Centro en la creación de empresas y en el aporte de nuevo conocimiento en el área. El diagnóstico también permitió proponer canales de comunicación entre los investigadores, para fortalecer los proyectos de investigación actuales y definir posibles alianzas en el futuro que permitan consolidar la región como pionera en materia de control de ruido y metrología acústica.

En la metodología Delphi aplicada en este proyecto se pueden identificar una fase exploratoria y dos rondas, que fueron adaptadas de la siguiente forma:

1. Fase exploratoria

En ella se delimitaron el contexto, los objetivos, el diseño y los recursos humanos, logísticos y materiales, y se presentó a los participantes la información del primer cuestionario, acorde con los objetivos de la investigación. Esta fase la realizó el equipo investigador, lo que redujo la cantidad de encuestas.

2. Primera ronda

Los expertos recibieron el cuestionario con los temas por evaluar, para calificarlos según los objetivos del estudio y su criterio profesional.<sup>4</sup> El equipo investigador organizó las respuestas, las analizó estadísticamente y preparó el cuestionario de la siguiente ronda.

### 3. Segunda ronda

Los expertos recibieron el nuevo cuestionario, donde podrían reconsiderar sus valoraciones y presentar argumentos en cada tema. El equipo investigador consolidó las respuestas, las analizó y basado en dicha información tomó la decisión final respecto de cada tema.

El estudio recolectó información relacionada con estudios de tendencias y nuevas líneas de investigación en el área de laboratorios y materiales acústicos, sondeos de productos de las empresas del sector, investigaciones que se vienen trabajando en otras universidades en los ámbitos académico e investigativo, revisión de publicaciones y textos de prestigio de acústica e ingeniería de sonido, y trabajos de grado de maestrías y doctorados de áreas afines a la acústica. Igualmente se consultaron fuentes bibliográficas relacionadas con las metodologías aplicadas.

Posteriormente se definió la conformación del panel de expertos, donde se buscó que estos tuviesen amplia experiencia y trayectoria en el tema de estudio –tanto en el campo laboral como en el académico–, un nivel de estudios mínimo, y que hubieran participado en eventos internacionales y presentado publicaciones.

#### 1.12.1 Fase exploratoria. Primer cuestionario

Este cuestionario se basó en información conocida de los estudios, publicaciones, textos y demás fuentes de información consultadas previamente. Toda la información recopilada fue organizada de tal forma que pudiese ser clasificada en áreas y temas de investigación que, se consideran, estarán vigentes hasta 2023. Las cinco áreas identificadas son: futuras líneas de investigación, diagnóstico actual de los laboratorios y centros de investigación en acústica, relación universidad/empresa en el sector acústico, proyectos y servicios actuales y futuros, y centros de I + D; y en cada una de ellas se definieron subtemas.

El cuestionario consta de ocho páginas. En la primera parte cada experto se identifica y diligencia la información que permita validar que cumple con el perfil definido para ser catalogado como tal. La segunda parte corresponde a las preguntas formuladas, que están orientadas a identificar los temas que, ellos consideran, serían relevantes para el área de materiales y laboratorios de acústica hacia 2023.

El cuestionario se envió a los expertos junto con una carta de presentación de la Facultad de Artes y Humanidades del ITM, a través del grupo de investigación en ingeniería de audio y acústica perteneciente al programa de Informática Musical, donde se les explica el estudio que se está realizando y el objetivo que se busca alcanzar.

Como resultado de esta ronda se clasificaron los temas en un conjunto de “temas prioritarios” para la mayoría de los participantes. Esta selección se hizo teniendo en cuenta aquellos cuya calificación modal fue de 4 o 5 –siendo 5 de alta prioridad, 1 de ninguna prioridad y N para los temas que los expertos consideraron que no conocían o no sabían responder– y que además obtuvieron un porcentaje de consenso mayor al promedio del grupo.

---

<sup>4</sup> Los *expertos* son aquellos que poseen un alto grado de conocimientos sobre el tema de estudio, ya sea porque se han dedicado a la investigación y estudios de aspectos relacionados con el tema, o bien porque en su experiencia profesional el tema ha constituido parte importante de su trabajo (Manrique, 2000).

En la parte de “Diagnóstico y situación actual de los laboratorios y servicios” se hizo la clasificación inversa, es decir, los participantes debían clasificar los servicios actuales en la siguiente forma: 5, situación actual excelente, ninguna prioridad; 1, situación actual deficiente, alta prioridad; y N, para los temas que consideraron que no conocían o no sabían responder.

El segundo conjunto de temas fue “Temas en discusión”, pues a pesar de tener una calificación de 4 o 5 en la moda estadística, su porcentaje de consenso era inferior al promedio del grupo. También pueden considerarse en este conjunto los temas cuyo valor modal es mayor que 3 y su porcentaje de consenso es superior al promedio del grupo.

El tercer grupo es el de “Temas no prioritarios”, que son los que su valor modal es menor que 4 y su porcentaje de consenso es inferior al promedio del grupo.

#### 1.12.2 Primera ronda Delphi

El segundo cuestionario se basó en los resultados de la ronda exploratoria y se centró en obtener argumentos que pudiesen ser de utilidad al equipo investigador para análisis posteriores. Dicho cuestionario estaba clasificado en cada una de las áreas, y ellas a su vez tenían dos columnas: “Temas prioritarios” y “Temas en discusión”. Este cuestionario fue enviado a los expertos junto con la carta de presentación, donde se daban las instrucciones para su diligenciamiento.

Los participantes debían intercambiar temas entre las dos columnas, llevando “Temas en discusión” a “Temas prioritarios” y viceversa; dicho intercambio debía sustentarse con argumentos válidos, según los conocimientos del experto. El diseño del cuestionario fue realizado de tal forma que facilitaba las respuestas y restringía a los expertos de cualquier modificación sobre su diseño.

Durante la preparación del segundo cuestionario se identificaron temas que no habían sido incluidos en el estudio desde un principio, y que fueron presentados a los expertos como preguntas libres en la ronda exploratoria, dada la relevancia que están teniendo en los campos investigativo y empresarial: materiales acústicos alternativos, síntesis de materiales compuestos reforzados, silenciadores y acústica ambiental. Para ellos se realizó un análisis especial, ya que metodológicamente no era posible evaluarlos conjuntamente con los demás, por no haber sido incluidos en la ronda exploratoria.

#### 1.12.3 Segunda ronda Delphi

Los documentos generados y los resultados obtenidos se clasificaron en varios grupos, acordes con el avance cronológico del proceso:

- Clasificación de áreas y temas de investigación
- Árbol temático
- Panel de participantes
- Cartas de invitación e instrucciones para los participantes
- Encuestas presentadas a los participantes
- Respuestas de los participantes en las dos rondas Delphi
- Tablas de datos derivadas de las respuestas de los participantes
- Gráficas para análisis de resultados

#### 1.12.4 Investigación de las facultades de ingeniería acústica y afines en Colombia y el mundo

La búsqueda de información respecto a programas de ingeniería acústica y afines se realizó por medio de consultas de páginas web y documentos obtenidos de las propias universidades. Se consultaron las siguientes universidades:

##### Colombia

- Universidad Nacional (ingeniería civil, arquitectura, ingeniería física, materiales)
- Universidad de Antioquia (ingeniería civil, ingeniería de materiales, física)
- Universidad San Buenaventura (ingeniería de sonido)

##### América Latina y España

- Universidad Austral de Chile
- Universidad Tecnológica de Chile
- Universidad de las Américas, Chile
- Universidad Politécnica de Valencia
- Universidad Politécnica de Madrid
- Universidad de Valladolid

##### Del mundo

- University of Salford, Reino Unido (M. Sc. in Environmental/Mechanical Acoustics)
- University of Miami (Musical Engineering)
- Technical University of Denmark
- University of Southampton, Reino Unido
- Universität der Künste, Berlín

#### 1.12.5 Publicaciones especializadas

Se recurrió a estudios de reconocidas sociedades de consultoría a nivel internacional y publicaciones especializadas en acústica:

- Acoustical Society of America
- ASA Underwater Acoustics Technical Committee
- Audio Engineering Society
- Institute of Acoustics

#### 1.12.6 Clasificación de áreas y temas de investigación

Los proyectos y temas de investigación obtenidos en forma desagregada fueron clasificados en cinco grandes grupos denominados *áreas*, que, a su vez, estaban compuestas por diversos temas:

- Futuras líneas de investigación
- Diagnóstico actual de los laboratorios y centros de investigación en acústica
- Relación universidad/empresa en el sector acústico
- Proyectos y servicios actuales y futuros en el campo de la acústica
- Centros de I + D y de servicios

### 1.12.7 Panel de participantes

Para llevar a cabo un estudio Delphi es necesario contar con un panel de expertos en los temas que se vayan a tratar. Por esta razón se buscaron profesionales con experiencia en el área de acústica y materiales, tanto en la empresa privada como pública y en la academia.

En esta ocasión fueron invitados 35 expertos, de los cuales 26 respondieron el primer cuestionario e igual el segundo.

### 1.12.8 Perfil de los expertos

Para la selección de los diferentes panelistas que participaron en las rondas Delphi se definió previamente el perfil de los diferentes expertos, tal como se describe a continuación:

#### Perfil académico

- Ingeniero de sonido, ingeniero acústico, ingeniero civil, ingeniero de materiales, arquitecto.
- Ingeniero con especialización, maestría o doctorado en el área de acústica y control de ruido y nuevos materiales.
- Profesional con desempeño reconocido en el área de acondicionamiento y aislamiento acústico.

#### Perfil de empresa, donde la acústica y el diseño de materiales acústicos es su principal función

- Directivos
  - Profesional con especialización, maestría o doctorado
  - Experiencia directa con las áreas de materiales acústicos mínima de 10 años

#### Perfil de empresa de acondicionamiento acústico y aislamiento de ruido

- Directivos
  - Profesional con especialización, maestría o doctorado
  - Experiencia mínima de tres años en cargos directivos en empresas de este sector
- Analistas y consultores
  - Profesional: ingeniero acústico, de sonido o arquitecto
  - Experiencia mínima de cinco años

#### Perfil de la empresa educativa

- Docente: ingeniero acústico, de sonido o ingeniero de materiales.
- Profesional con estudios de especialización, maestría o doctorado en el área de acústica, control de ruido y nuevos materiales.
- Profesional investigador con resultados relevantes en el área.
- Experiencia mínima de cinco años.

### 1.12.9 Cartas de invitación e instrucciones para los participantes

Una vez se identificaron las áreas de interés y sus respectivos temas, se procedió a invitar formalmente a los participantes del panel y se les presentó la primera encuesta. Para las rondas siguientes se elaboraron cartas de presentación e instrucciones similares a la primera, junto con los respectivos formularios de encuestas (V. Anexos).

#### 1.12.10 Encuestas presentadas a los participantes

El Anexo A muestra las cartas de presentación y las instrucciones, y el formulario con la encuesta de la ronda correspondiente para que fuera calificada por cada experto.

#### 1.12.11 Respuestas de los participantes en las dos rondas Delphi

Los resultados obtenidos en la primera ronda, con un total de 26 participantes, se muestran para cada área en el Anexo D. Cada participante calificó los diferentes temas con un valor entre 1 y 5, según su importancia en relación con el área de materiales acústicos.

#### 1.12.12 Tablas de datos derivadas de las respuestas de los participantes

Las tablas de datos derivadas de las respuestas de los participantes hacen referencia a los grupos de prioridad de los diferentes temas, la distribución de frecuencias en las calificaciones, y la priorización y selección de tema.

Para fortalecer la metodología Delphi y la consulta con los expertos, se realizó un ejercicio de vigilancia tecnológica, cuyo principal objetivo es definir líneas de investigación, tendencias tecnológicas en materiales acústicos y normas internacionales en metrología y acústica.

Los siguientes son sus principales componentes:

- Definición de las ecuaciones de búsqueda en las bases de datos para descripción del entorno
- Búsqueda de centros de I + D en la región y el país para identificación necesidades
- Estrategias para la recopilación de información
- Búsqueda y captación de información de productos como artículos y patentes
- Validación de la información
- Análisis y organización de la información por medio de gráficos y estadísticas clasificados por año, autor y país

Se hizo la búsqueda con software avanzado –como Vantage Point–, para dar más veracidad y determinar los principales investigadores y centros de desarrollo expertos en el tema de la acústica; también se hizo un rastreo de las principales patentes en el mundo relacionadas con dispositivos acústicos y centros de investigación en nuevos materiales acústicos; asimismo se analizó la información y se obtuvieron resultados que permitieron identificar los puntos débiles, en la región y el país, acerca de los adelantos tecnológicos y las innovaciones desarrollados en el área de control de ruido.

También se expusieron y analizaron los diferentes componentes que intervienen en el modelo del Centro, entre ellos los de nivel organizacional –como el modelo de los tres planos–, la investigación básica, el desarrollo tecnológico y la comercialización de nuevos productos, así como modelos como el de la triple hélice –que juegan un papel muy importante en el desarrollo de nuevos proyectos de investigación donde participan los empresarios–, las unidades de investigación en las universidades y la inversión de proyectos por entidades estatales como Colciencias.

Otro de los componentes expuestos es el modelo matemático relev (*research laboratory, evaluation*), cuyo objetivo es medir el rendimiento de los laboratorios dedicados a I + D, con el fin de facilitar la identificación de cuáles son los más y los menos productivos. Con este componente se puede hacer un análisis y evaluar la producción de los laboratorios, con el fin de controlar la producción científica y tecnológica desarrollada en temas de acústica.

El resto de los componentes aportó definiciones y conceptos interesantes para el diseño del modelo del Centro desde el punto de vista organizacional y el concepto de innovación al servicio –por tratarse de un centro de I + D que tiene como una de sus principales funciones la metrología acústica–. Otro componente es el concepto de *traslación* o *traducción de conocimiento*, fundamental para el desarrollo del proceso de seguimiento de los proyectos desde la concepción de la idea, la investigación básica, el diseño de prototipos y, finalmente, el proceso de comercialización del producto.

Para completar los componentes se analizaron en detalle las NTC 5800, 5801 y 5802; de estas se tomaron las terminologías y los principales componentes de la gestión de I + D, que tienen como principios la siguiente metodología: *planificar* –establecer objetivos–, *hacer* –implementar el procedimiento de sistematización de I + D + i–, *verificar* –realizar seguimiento y controlar– y *actuar* –tomar decisiones para mejorar continuamente–.

Posteriormente se continuó con los cinco caminos propuestos en la norma sobre el proceso de I + D + i: el análisis del mercado potencial –con actividades como vigilancia tecnológica, inteligencia competitiva y prospectiva tecnológica entre otras–; la recirculación que existe entre las diferentes etapas del proceso de I + D + i, por ejemplo entre la fase de introducción, los diseños y las pruebas –en este caso, materiales y dispositivos acústicos–; la relación entre innovación e investigación, concentradas en resolver problemas –en este caso, en el campo de la acústica–; los proyectos que surjan de los resultados de investigación; y, finalmente, la recirculación y realimentación de los resultados de I + D + i.

Por otra parte se tuvieron en cuenta las funciones de la unidad de gestión de I + D + i y se tomó como base para el diseño del Centro el proceso de I + D + i propuesto en las NTC, fundamentado en el modelo modificado de enlaces en cadena de Kline y Rosenberg (1985). Además, se usó el análisis del entorno interno y externo del proceso de I + D + i presente en las organizaciones. En lo que respecta a la norma 5802, se analizaron las diferentes fases del desarrollo de un proyecto de I + D + i, así como el seguimiento y la identificación del mercado potencial –en este caso, el de materiales y dispositivos acústicos–.

Finalmente, los componentes anteriores permitieron realizar el diseño del modelo del Centro a través de la identificación de dichos componentes y la relación entre ellos. La estrategia usada tuvo en cuenta los aspectos claves del sistema de gestión de I + D + i, tales como los compromisos del personal directivo en el establecimiento de las políticas de I + D + i, la mejora continua y la revisión de la gestión; asimismo se dimensionaron los mecanismos del sistema de comunicación, tanto interna como externa.

El modelo del Centro se desarrolló teniendo en cuenta todos los requisitos exigidos por las fases expuestas en las normas:

- Política de I + D + i del sistema de gestión
- Interconexión de herramientas: vigilancia tecnológica, previsión tecnológica, prospectiva y metodología Delphi
- Análisis interno y externo
- Conformación de unidades de gestión de I + D + i

En cada fase se definieron los aspectos que conformarán el modelo:

- Objetivo: qué se debe hacer en cada fase
- Implementación: cómo se debe hacer
- Responsables: quién lo debe de hacer o controlar

- Documentación: documentos generados que lo soportan

Con todos los elementos anteriores se procedió a construir el modelo teórico conceptual del Centro, enlazando las normas acústicas y las normas de gestión de I + D + i; además se correlacionaron las diferentes variables y se definieron las entradas y salidas del Centro, visto como un sistema dinámico. La metodología implantada para construir el gráfico fue la de diagramas causales, que hacen parte de la estructura de sistemas dinámicos.

Los diagramas causales son fundamentales para la dinámica de sistemas, pues sirvieron de guías para la elaboración y comprensión del modelo. Al diagrama causal también se le suele llamar *hipótesis dinámica*.

Para el modelo del Centro se establecieron relaciones entre una variable, que se representaron mediante flechas y que ligan los elementos entre sí.<sup>5</sup>

Se establecieron relaciones causales entre los componentes principales de las normas y el sistema de gestión de I + D + i, y así se diseñó el modelo conceptual, con ayuda del software Vensim.

### 1.12.13 Metodología general para modelizar

#### 1. Descripción del problema

- Especificación de los objetivos y los condicionantes, y levantamiento de información en lenguaje natural. Para esto se seleccionó y se desarrolló el método Delphi y el proceso de vigilancia tecnológica.

#### 2. Construcción de un modelo conceptual

- Elección de los objetos, elementos o variables que tengan alguna relación con los objetivos propuestos. En este caso fue el método Delphi.
- Identificación de las relaciones causa/efecto entre los elementos seleccionados

Métodos sugeridos: diagrama causal, diagrama de subsistemas, diagrama hidrodinámico o de Forrester, análisis multi-variante y métodos similares. Se establecen las definiciones de las variables de entrada: datos; y las variables de salida: resultados.

#### 3. Ayuda de programas informáticos para construir los diagramas causales

- El software Vensim

---

<sup>5</sup> *Relación causal*: aquella en la que un elemento *A* determina a otro *B*, con relación de causa a efecto.

## 2 Determinación de las normas internacionales en mediciones acústicas

### 2.1 Medición y caracterización acústica de materiales

Las normas internacionales requeridas para el Centro fueron halladas diseñando búsquedas en los principales servicios prestados por los laboratorios de metrología en materiales del mundo y regidas por las normas de la American Society for Testing and Material (ASTM) y consultas en manuales especializados en materiales acústicos –Bruneau y Potel, 2009–); también se consultaron las normas ISO y UNE.

Son diversos los parámetros que caracterizan acústicamente un material: impedancia superficial, porosidad, tortuosidad, impedancia característica compleja, constante de propagación, longitud característica térmica, etcétera. Entre todos ellos hay dos que permiten caracterizar completamente los materiales de tipo poroso y fibroso: la impedancia característica compleja ( $Z$ ) y la constante de propagación compleja ( $G$ ). Estos parámetros están directamente relacionados con la capacidad de absorción acústica de los materiales (Zeqiri, Scholl y Robinson, 2010).

Existen tres métodos de medición para los materiales acústicos:

1. Métodos de medida en tubos
2. Métodos de medida en cámara reverberante
3. Métodos de medida en campo libre

El método de tubos es el más utilizado en la mayoría de laboratorios. La norma utilizada para estos ensayos es la UNE-EN ISO 10534-2.

El invento del tubo de impedancia acústica como método de medida para caracterizar materiales acústicamente se debe al físico alemán August Adolf Eduard Eberhard Kundt (1839-1894), sucesor de H. von Helmholtz y director del Berlin Physical Institute.

Los métodos de cámara reverberante y cámara anecoica no se utilizan en Colombia debido a los altos costos de este tipo de salas.

### 2.2 Modelos matemáticos según las normas internacionales

Los modelos que permiten determinar la impedancia acústica característica y la constante de propagación de los materiales fibrosos a partir de sus propiedades físicas se clasifican en empíricos, fenomenológicos y microestructurales (Juliá Sanchis, 2008).

#### 2.2.1 Modelo de Delany y Bazley

Desarrollado en 1970; posiblemente el más conocido de los modelos matemáticos para los materiales absorbentes del sonido de tipo fibroso.

En este modelo se presentan los valores de la impedancia característica y de la constante de propagación para un conjunto de materiales absorbentes del sonido de tipo fibroso (Delany y Bazley, 1970), y se determinan la impedancia característica compleja ( $Z$ ) y la constante de propagación compleja ( $G$ ) con las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1. Impedancia característica compleja ( $Z$ ) y constante de propagación compleja ( $\Gamma$ ) (Delany y Bazley, 1970)

$$Z = \rho_0 c_0 \left[ 1 + 0'0571 \left( \frac{\rho_0 f}{\sigma} \right)^{-0'732} - j 0'087 \left( \frac{\rho_0 f}{\sigma} \right)^{-0'732} \right]$$

$$\Gamma = \frac{2\pi f}{c_0} \left[ 1 + 0'0978 \left( \frac{\rho_0 f}{\sigma} \right)^{-0'732} - j 0'189 \left( \frac{\rho_0 f}{\sigma} \right)^{-0'732} \right]$$

Donde  $\sigma$  es la resistencia específica al flujo por unidad de espesor, que depende principalmente de la densidad del material y del diámetro de la fibra.

Ecuación 2. Relación de la frecuencia y la resistencia específica al flujo por unidad de espesor (Delany y Bazley, 1970)

La resistencia específica al flujo puede determinarse experimentalmente con la técnica del tubo de impedancia acústica –como se explicará más adelante–.

$$10^{-3} \leq \frac{f}{\sigma} \leq 1$$

Los materiales con los que trabajaron Delany y Bazley son de alta porosidad –el *factor de porosidad* es la relación entre el volumen de aire en los poros y el volumen total del material–.

### 2.2.2 Modelo de Miki

El modelo matemático desarrollado por Miki (1990) se basa en el de Delany y Bazley, con una serie de modificaciones. Este modelo fue desarrollado para la caracterización de materiales porosos, especialmente materiales bicapa.

Tanto el modelo de Delany y Bazley como el de Miki se limitan a materiales con porosidad cercana a la unidad.

Según Miki, la impedancia característica ( $Z$ ) y la constante de propagación ( $\Gamma$ ) vienen dadas por las siguientes ecuaciones:

Ecuación 3. Impedancia característica ( $Z$ ) y constante de propagación ( $\Gamma$ ) (Miki, 1990)

$$Z = \rho_0 c_0 \left[ 1 + 0'070 \left( \frac{f}{\sigma} \right)^{-1'45} - j 0'107 \left( \frac{f}{\sigma} \right)^{-1'45} \right]$$

$$\Gamma = \frac{2\pi f}{c_0} \left[ 0'160 \left( \frac{f}{\sigma} \right)^{-1'45} + j \left( 1 + 0'103 \left( \frac{f}{\sigma} \right)^{-1'45} \right) \right]$$

### 2.2.3 Modelo de Allard y Champoux

Allard y Champoux desarrollaron en 1992 nuevas ecuaciones que sustituyen al modelo de Delany y Bazley. Además, sus ecuaciones también son válidas a bajas frecuencias. Este modelo establece la dependencia de la propagación del sonido en los materiales fibrosos con el diámetro de las fibras y la densidad del material.

En este modelo, la impedancia característica ( $Z$ ) y la constante de propagación ( $\Gamma$ ) están dadas por las siguientes ecuaciones:

Ecuación 4. Impedancia característica ( $Z$ ) y constante de propagación ( $\Gamma$ ) (Allard y Champoux, 1992)

$$Z = \sqrt{\rho(\omega) \cdot \kappa(\omega)}$$

$$\Gamma = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sqrt{\frac{\rho(\omega)}{\kappa(\omega)}}$$

Donde  $\rho(\omega)$  es la densidad dinámica (en  $\text{kg/m}^3$ ) y  $\kappa(\omega)$  es el módulo de compresibilidad efectivo dinámico (en  $\text{N/m}^2$ ).

Estos valores, para el aire a temperatura ambiente y a presión atmosférica, se expresan con las siguientes ecuaciones:

Ecuación 5. Densidad dinámica y módulo de compresibilidad efectivo dinámico (Allard y Champoux, 1992)

$$\rho(\omega) = 12 + \sqrt{-0.0364 \left( \frac{\rho_0 f}{\sigma} \right)^2 - j0.1144 \left( \frac{\rho_0 f}{\sigma} \right)^2}$$

$$\kappa(\omega) = \frac{j2964 + \sqrt{282 \left( \frac{\rho_0 f}{\sigma} \right)^2 + j249 \left( \frac{\rho_0 f}{\sigma} \right)^2}}{j2117 + \sqrt{282 \left( \frac{\rho_0 f}{\sigma} \right)^2 + j249 \left( \frac{\rho_0 f}{\sigma} \right)^2}}$$

Donde  $f$  es expresada en Hz y  $\sigma$  en Rayls/m.

Las ecuaciones anteriores solo son válidas para incidencia normal y bajo la hipótesis de que los materiales tienen unos factores de tortuosidad y porosidad elevados –cercanos a la unidad–.

#### 2.2.4 Impedancia acústica en materiales homogéneos de una capa

Zwicker y Kosten (1949) definieron la impedancia acústica a incidencia normal en un material homogéneo de espesor con la siguiente ecuación:

Ecuación 6. Impedancia acústica (Zwicker y Kosten, 1949)

$$Z_i = Z \frac{Z_0 \cdot \cosh(\Gamma \cdot l) - Z \cdot \sinh(\Gamma \cdot l)}{Z_0 \cdot \sinh(\Gamma \cdot l) - Z \cdot \cosh(\Gamma \cdot l)}$$

Donde  $Z_0$  es la impedancia posterior de la capa (*backing impedance*),  $Z$  es la impedancia característica y  $\sigma$  es la constante de propagación.

Ecuación 7. Impedancia compleja (Zwikker y Kosten 1949)

$$Z = R + jX$$

$$\Gamma = \alpha + j\beta$$

La impedancia característica se relaciona con el coeficiente de reflexión ( $r$ ) en la siguiente ecuación:

Ecuación 8. Relación de la impedancia característica con el coeficiente  $r$  (Zwikker y Kosten 1949)

$$|Z| = \frac{(1+r)}{(1-r)}$$

### 2.2.5 Impedancia acústica en materiales multicapa

La impedancia en los materiales multicapa puede calcularse aplicando la ecuación de la impedancia de los materiales monocapa para cada material sucesivamente, así:

Ecuación 9. Impedancia acústica de materiales multicapa (Zwikker y Kosten 1949)

$$Z_0 = Z_i \frac{Z_{i+1} \cdot \cosh(\Gamma_i \cdot l_i) + Z_i \cdot \sinh(\Gamma_i \cdot l_i)}{Z_{i+1} \cdot \sinh(\Gamma_i \cdot l_i) + Z_i \cdot \cosh(\Gamma_i \cdot l_i)}$$

Donde el subíndice  $i$  se refiere a la capa  $i$ -ésima, empezando por la capa más cercana a la terminación rígida.

## 2.3 Modelo actual propuesto

Como ya fue dicho, en los materiales considerados isótropos y homogéneos la propagación del sonido queda determinada por los valores de la impedancia característica y la constante de propagación. En los modelos de Delany y Bazley y Miki, las variables que definen la impedancia característica ( $Z = R + jX$ ) y la constante de propagación ( $\Gamma = \alpha + j\beta$ ) quedan determinadas en las siguientes ecuaciones:

Ecuaciones 10-13. Variables que definen la impedancia característica según los modelos de Delany y Bazley (1970) y Miki (1990)

$$R = \rho_0 c_0 (1 + A_1 \cdot C^{-0.4})$$

$$X = -\rho_0 c_0 A_2 \cdot C^{-0.4}$$

$$\alpha = \frac{2\pi f}{c_0} A_3 \cdot C^{-0.6}$$

$$\beta = \frac{2\pi f}{c_0} (1 + A_4 \cdot C^{-0.6})$$

Los coeficientes  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7$  y  $A_8$  se obtienen mediante el método de ajuste por mínimos cuadrados, y el parámetro  $C$  se denomina *frecuencia normalizada* y viene dado por la siguiente ecuación:

Ecuación 14. Frecuencia normalizada

$$C = \frac{\rho_0 f}{\sigma}$$

La Tabla 2 presenta los coeficientes  $A_1$  a  $A_8$  para los diferentes modelos de medición.

Tabla 1. Coeficientes  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7$  y  $A_8$

Modelo	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$
Delany y Bazley	0,057	0,754	0,087	0,752	0,188	0,595	0,098	0,7
Miki	0,079	0,632	0,120	0,632	0,179	0,619	0,122	0,618
Dunn y Davern	0,114	0,369	0,099	0,758	0,168	0,715	0,136	0,491
Garai y Pompili	0,078	0,623	0,074	0,66	0,158	0,571	0,121	0,53
Rockwool®	0,084	0,703	0,085	0,695	0,114	0,883	0,213	0,577

Fuente: E. Juliá Sanchis (2008). *Modelización, simulación y caracterización acústica de materiales para su uso en acústica arquitectónica*.

## 2.4 Caracterización acústica

Los dos métodos utilizados para esta caracterización son el que establece la norma UNE-EN ISO 10534-2, para la determinación del coeficiente de absorción acústica, y el descrito por Ingard y Dear, para la medida de la resistencia específica al flujo (Juliá Sanchis, 2008, citando a Ingard y Dear).

### 2.4.1 Coeficiente de absorción acústica en el tubo de impedancia acústica

Para la medida de la impedancia acústica superficial se siguen las recomendaciones de la norma UNE-EN ISO 10534-2, denominada “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 2: método de la función de transferencia” (Juliá Sanchis, 2008: 76).

El método descrito en esta norma se aplica para la determinación del coeficiente de absorción acústica de materiales absorbentes del sonido a incidencia normal, mediante un tubo de impedancia acústica denominado *tubo de Kundt*; este tiene dos micrófonos y un sistema digital de análisis de señal.

El cálculo del coeficiente de absorción acústica ( $\alpha_n$ ) no es más que el cálculo del cociente entre la energía acústica absorbida por la superficie de la muestra de ensayo –sin retorno– y la energía acústica incidente, para el caso de una onda plana con incidencia normal.

La Figura 8 muestra el montaje del tubo de impedancia utilizado para la medida del coeficiente de absorción acústica, según la norma UNE-EN ISO 10534-2.

Figura 8. Montaje de equipo de medida en tubo de impedancia acústica según la norma UNE-EN ISO 10534-2



Fuente: E. Juliá Sanchis (2008). *Modelización, simulación y caracterización acústica de materiales para su uso en acústica arquitectónica.*, p. 76.

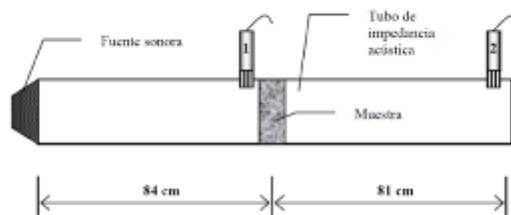
Se determina la función de transferencia acústica compleja a partir de las señales de los dos micrófonos, para obtener el coeficiente de reflexión complejo a incidencia normal, el coeficiente de absorción a incidencia normal y la impedancia normalizada del material (Juliá Sanchis, 2008: 77).

#### 2.4.2 Resistencia específica al flujo en un tubo de impedancia acústica

La *resistencia al flujo* es la relación entre la diferencia de presión sonora en dos puntos y la velocidad (Juliá Sanchis, 2008: 91). El método experimental utilizado por Ingard y Dear permite obtener el valor de la resistencia específica al flujo para unas determinadas frecuencias.

La Figura 9 muestra el esquema del montaje.

Figura 9. Montaje de Ingard y Dear en un tubo de impedancia acústica



Fuente: E. Juliá Sanchis (2008). *Modelización, simulación y caracterización acústica de materiales para su uso en acústica arquitectónica.*, p. 91.

### 2.5 Normas internacionales de caracterización de materiales acústicos para el Centro

Las normas internacionales que debe cumplir el Centro para prestar servicios de metrología cumplen con el lineamiento estratégico del ITM y la gestión de los laboratorios como apoyo estratégico a las empresas de cada sector, en este caso, en el área de acústica. Estas normas son las siguientes:

- Medición de la aislación sonora aérea en laboratorio: paneles, cielorrasos, ventanas, fachadas, etcétera. ISO 140, parte III.
- Medición de la aislación sonora aérea de paneles in situ. ISO 140, parte IV.
- Medición de la aislación sonora aérea de cerramientos in situ. ASTM E336.
- Medición de la aislación sonora aérea de fachadas in situ. ISO 140, parte V.
- Medición de la aislación sonora al impacto de terminaciones de pisos (losas) in situ. ISO 140, parte VI.

- Medición de la aislación sonora al impacto de terminaciones de pisos in situ. ISO 140, parte VII.
- Medición de la absorción sonora de materiales homogéneos, montajes y cielorrasos absorbentes. ISO R354.
- Medición de la absorción sonora de materiales homogéneos porosos. ASTM C 384-72.
- Elementos constructivos y materiales. Medida de la absorción acústica en una cámara reverberante. UNE-EN ISO 354: 2004.
- Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carretera. Medida de la absorción acústica en una cámara reverberante. UNE-EN ISO 1793-1: 1998.
- Medida del aislamiento acústico al ruido aéreo entre locales. UNE-EN ISO 140-4: 1999.
- Medida del aislamiento acústico al ruido aéreo de fachadas –método global del altavoz–. UNE-EN ISO 140-5: 1999.
- Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústico y la impedancia, con ayuda de tubos de impedancia. Parte 1: método de la tasa de ondas estáticas. ISO 10534-1: 1996.
- Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústico y la impedancia con ayuda de tubos de impedancia. Parte 2: método de la función de transferencia. ISO 10534-2: 1998.

La Figura 10 muestra la estructura de servicios en metrología que prestará el Centro, teniendo en cuenta las principales normas internacionales.

Figura 10. Modelo de metrología y normas del Centro



Fuente: elaboración del autor.

### **3 Diagnóstico de los laboratorios para la caracterización de materiales acústicos en la región y el país**

Para diagnosticar los procesos y los laboratorios actuales de la región y el país se analizaron los diferentes resultados y temas prioritarios señalados por el panel de expertos encuestados a través de la metodología Delphi. A continuación se muestran estos datos, que llevarán a determinar los elementos fundamentales del modelo organizacional del Centro.

#### **3.1 Resultados y análisis de la información**

La primera ronda Delphi consistió básicamente en el cálculo de la distribución de las frecuencias para las calificaciones de los temas y del porcentaje de consenso para cada uno, y la selección de los grupos de prioridad; y la segunda, en la eliminación de temas y la selección de temas prioritarios.

##### **3.1.1 Distribución de frecuencia para las calificaciones de los temas de la primera ronda Delphi**

En la primera ronda, los temas de menor importancia fueron calificados con un valor de 1; los de mayor importancia, con un valor de 5; y con una “N” cuando el tema no era conocido por el experto. En otros subtemas –por ejemplo, la calificación de los servicios y laboratorios de acústica del país– se asigna un 1 como la peor calificación –tema de prioridad alta–; y un 5 como excelente –no amerita ser un tema prioritario–. Estos resultados se presentan en el Anexo D. A partir de estas calificaciones se hicieron las tablas que muestran la distribución de las calificaciones para los temas de las áreas de estudio.

En las tablas de las páginas siguientes se observa el resultado de las respuestas de los expertos relacionadas con la visión integral de las tendencias en la investigación y el desarrollo futuro de nuevos materiales acústicos a nivel nacional y global.

En referencia al estado actual de los laboratorios de acústica, los expertos consideran que los proyectos de innovación y prestación de servicios relacionados con la caracterización de materiales están en un nivel muy bajo y que urge, en la actualidad y el futuro, inversión para este tipo de investigaciones en el país. También se observa la importancia que los expertos empiezan a asignarles a temas como el control de ruido y vibraciones y a la ingeniería acústica. Aquellos en color verde son los temas prioritarios.

##### **3.1.2 Porcentaje de consenso para cada tema**

Con los datos obtenidos en la primera ronda (V. Anexo C) se determinaron los primeros temas prioritarios, tomando como base el valor modal de cada calificación y el porcentaje de consenso.

$$\% \text{ de consenso} = \text{frecuencia modal} / \text{frecuencia total} \times 100$$

##### **3.1.3 Definición de los grupos de prioridad**

Se estableció que en la primera ronda Delphi un tema sería considerado prioritario si presentaba un porcentaje de consenso superior al promedio de su área correspondiente y tenía un valor modal superior a 4.

Aquellos temas cuyo valor modal fue mayor o igual a 4, pero con porcentaje de consenso menor al promedio de su área, se clasificaron como temas en discusión.

Los temas que no quedaron en ninguno de los grupos anteriores fueron considerados como no prioritarios.

La Tabla 3 muestra el resultado de la tabulación de la información de la primera ronda.

Tabla 3. Tabulación de la primera ronda Delphi

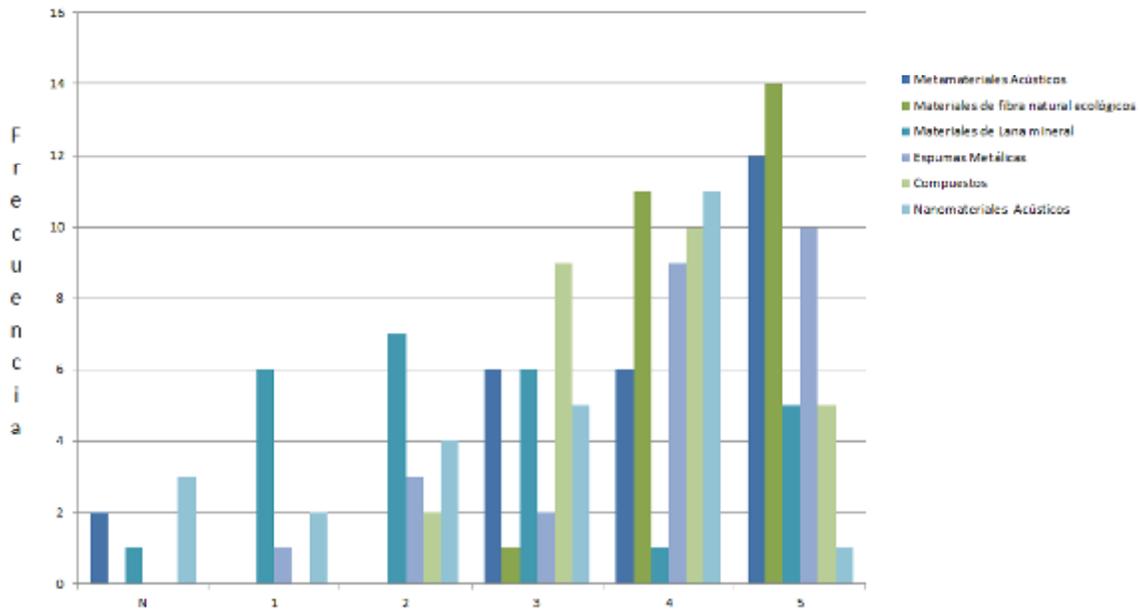
CALIFICACIÓN PRIMERA RONDA DELPHI																MODA	PERCENTUAL	PERCENTUAL	PERCENTUAL	PERCENTUAL	PERCENTUAL	PERCENTUAL																										
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z																							
1. Definir la escala de prioridad de los temas de investigación y el desarrollo de materiales nuevos, materiales acústicos y sus propiedades.																																																
Materiales para Acústica																							5	17	18	24,75	47,06	SI																				
Materiales de fibra natural y vegetal																							5	14	26	52,00	SI																					
Materiales de zona minera																							2	7	26	36,00	NO																					
Fibras naturales																							5	10	26	36,00	NO																					
Composites																							4	10	26	36,00	NO																					
Materiales de Acústica																							4	11	26	42,31	NO																					
6. Calificar de 1 a 5 la utilidad de los procedimientos actuales en la región para el desarrollo de materiales acústicos.																																																
Medición de absorción sonora en laboratorios portátiles, no calibrados, no traza, etc. (ISO 140 parte III)																							1	10	26	37,69	53,00	NO																				
Medición de absorción sonora en salas de pruebas in situ (ISO 140 parte IV)																							1	11	26	42,31	SI																					
Medición de absorción sonora en salas de conferencias (ISO 140 parte V)																							4	10	26	36,00	SI																					
Medición de absorción sonora en salas de fiestas in situ (ISO 140 parte V)																							1	18	26	37,69	NO																					
Medición de absorción sonora e impacto de barreras de absorción de placa (barras) in situ (ISO 140 parte VI)																							3	10	26	36,00	SI																					
Medición de absorción sonora e impacto de barreras de absorción de placa (ISO 140 parte VII)																							1	10	26	37,69	SI																					
Medición de absorción sonora de materiales homogéneos, isotrópicos y anisotrópicos (ISO 1594)																							1	10	26	37,69	SI																					
Medición de absorción sonora de materiales homogéneos porosa (ASTM C 394-72)																							1	14	26	52,00	NO																					
Materiales absorbentes y materiales: Medida de la absorción sonora en una cámara reverberante (ISO 10534-1)																							1	18	26	37,69	NO																					
Dispositivos reducidos de ruido de tráfico en carreteras. Medida de la absorción sonora en una cámara reverberante. UNE-EN ISO 1792-1:1999																							1	5	26	42,31	NO																					
Medida de aislamiento acústico al ruido aéreo en salas (UNE-EN ISO 140-4:1999)																							1	16	26	53,85	SI																					
Medida de aislamiento acústico al ruido aéreo de fachadas (Método indirecto del laboratorio) (UNE-EN ISO 15901-1)																							1	16	26	53,85	SI																					
Método de determinación del coeficiente de absorción sonora y la impedancia acústica de materiales absorbentes, como el método de la sala de ondas esféricas (ISO 10534-2:1999)																							1	11	26	42,31	NO																					
7. Según su experiencia con la inversión en materiales y sus propiedades, ¿cómo se le clasificaría el desarrollo de nuevos materiales acústicos en el área de la acústica para un periodo de 2017 a 2022 como la ciudad priorizará los siguientes temas:																																																
Nuevos Materiales acústicos																							5	17	26	65,00	SI																					
Acústica de la edificación																							5	16	26	61,54	SI																					
Ruido y vibraciones																							5	18	26	69,23	SI																					
Acústica ambiental																							5	15	26	57,69	NO																					
Acústica ambiental: absorción y optimización de espacios																							5	18	26	69,23	SI																					
8. Según su criterio, la investigación, la innovación y el desarrollo de nuevos materiales y dispositivos acústicos en sala de ondas esféricas se le clasificaría como:																																																
Ingeniería acústica																							5	16	26	69,23	SI																					
Acústica arquitectónica																							5	18	26	69,23	SI																					
Ingeniería de sonido																							5	11	26	42,31	NO																					
Ingeniería acústica																							5	14	26	53,85	SI																					

Fuente: elaboración del autor.

Los temas resaltados en verde fueron tenidos en cuenta para la segunda ronda.

La Figura 11 muestra la prioridad en las investigaciones relacionadas con nuevos materiales acústicos.

Figura 11. Temas prioritarios de la primera ronda Delphi



Fuente: elaboración del autor.

### 3.2 Temas eliminados en la segunda ronda Delphi

Para la segunda ronda Delphi se les presentó a los expertos la información en dos grupos de temas: los prioritarios y los de discusión, y se les pidió escoger un número total de temas de ambos grupos en una cantidad no superior a la indicada en la primera ronda y argumentar las razones del cambio realizado. Las respuestas obtenidas permitieron eliminar los temas que los expertos no tuvieron en cuenta.

#### 3.2.1 Selección final de los temas en la segunda ronda Delphi

La selección de temas prioritarios en esta ronda identificó los temas de mayor prioridad de la encuesta, teniendo en cuenta que el número de temas seleccionado debía ser igual al número de temas que contenía el grupo (V. Anexo C).

#### 3.2.2 Análisis de consenso alcanzado

Para realizar este análisis se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Los participantes de las dos rondas debían ser los mismos; por lo tanto, se conservaron los 26 participantes iniciales.
- Se calculó el valor modal tomando como base las calificaciones asignadas a los temas en la primera ronda. Si este valor fue de 4 o 5 –es decir, que fue considerado prioritario en la primera ronda por la mayoría de participantes–, entonces se mantiene constante o invariable durante la segunda ronda.
- Los participantes tienen la opción de cambiar la calificación de los temas en la segunda ronda, permitiendo que aquellos considerados de prioridad dudosa o baja –cuya calificación fue inferior al valor modal– ingresen al grupo de prioridad alta –con un valor superior o igual al de la moda–; y de

manera contraria, aquellos que fueron considerados inicialmente como de prioridad alta pasen a la baja o sean descartados en la segunda ronda.

- Los participantes que priorizan y seleccionan los mismos temas durante las dos rondas no incrementan ni disminuyen el consenso, y los temas permanecen constantes.

### 3.2.3 Medición del consenso para cada tema

El cálculo de consenso logrado entre las dos rondas se realizó en la siguiente forma:

- Se identificaron los participantes comunes en las dos rondas: 26.
- Las calificaciones de la primera ronda se tomaron como base para la segunda ronda.
- Los participantes marcaron con una X las casillas correspondientes a los temas prioritarios del formulario de la segunda ronda; luego se remplazaron estas X por los valores de calificación asignados en la primera ronda. Así se determinaron los temas que no fueron considerados prioritarios inicialmente, es decir, se identificaron cuáles de esas calificaciones fueron menores al valor modal de la primera ronda por cada tema.

## 3.3 Análisis del puntaje alcanzado

El segundo análisis se basó en la información obtenida en las encuestas, teniendo en cuenta el concepto del total de participantes en las diferentes rondas. Este análisis hace referencia al porcentaje de respuestas positivas alcanzadas por cada tema con respecto al total de participantes en la respectiva ronda.

Como ya fue mencionado, la participación de expertos en las dos rondas fue de 26. Y los temas considerados como prioritarios se seleccionaron con el siguiente criterio:

$$\% \text{ de consenso} = \text{frecuencia modal} / \text{frecuencia total} \times 100$$

Temas con % de consenso > % del consenso promedio son prioritarios

Los que no cumplieron con este criterio fueron considerados temas en discusión.

## 3.4 Análisis gráfico del puntaje alcanzado

En la segunda ronda, el ejercicio consistió en revisar los temas en discusión e identificar si algunos de ellos debían considerarse como prioritarios y viceversa. Como el objetivo es ser selectivo en la identificación de prioridades, el grupo de temas prioritarios no puede aumentarse, por lo cual la metodología exige que si un nuevo tema ingresa, debe salir otro –aquel que se considere que no tiene más importancia que el tema que se vaya a ingresar–; además, este número no debe exceder el 30 % del total de los temas en cada grupo prioritario.

Para cada tema ingresado o descartado del grupo prioritario debe haber una justificación clara y concisa que sustente esta recomendación, pues tales argumentaciones serán la base de la segunda ronda de la encuesta (para ello se proporciona el espacio respectivo en el formulario). Como fue explicado, los temas prioritarios de la primera ronda pueden salir; y, de manera inversa, los temas en discusión pueden entrar, siempre y cuando el consenso sea mayor que el porcentaje de promedio del consenso.

Los temas prioritarios que no fueron marcados con una *X* y cuyo porcentaje de consenso es mayor que el porcentaje de consenso promedio se consideran de prioridad muy alta; y si el porcentaje de consenso es menor que el porcentaje promedio de consenso se consideran prioritarios.

En los temas en discusión que fueron marcados con una *X* y argumentados para pasar a la categoría de prioritarios, el consenso debe ser superior al porcentaje de consenso promedio; y si no fueron por marcados y el consenso es menor que el porcentaje de consenso promedio se descartan.

Las tablas siguientes<sup>6</sup> muestran los resultados de la primera ronda Delphi con sus respectivos porcentajes de consenso para los temas de cada área.

Tabla 4. Visión integral de las tendencias en la investigación y el desarrollo futuro sobre nuevos materiales acústicos a nivel regional, nacional y global

Subtema	Moda	Frecuencia modal	Número de encuestados	% de consenso	% promedio de consenso
Metamateriales acústicos	5	12	26	46,1538462	41,02564103
Materiales de fibra natural ecológicos	5	14	26	53,8461538	41,02564103

Tabla 5. Situación actual de los laboratorios y centros de metrología en el área de la acústica a nivel regional y nacional

Subtema	Moda	Frecuencia modal	Número de encuestados	% de consenso	% promedio de consenso
Laboratorios de acústica con cámaras reverberantes	1	13	26	50	40,10989011
Laboratorios de acústica con cámaras anecoicas	2	14	26	53,8461538	40,10989011
Laboratorios de absorción y resistencia de flujo	1	13	26	50	40,10989011
Laboratorios con tubo de impedancia	2	11	26	42,3076923	40,10989011

Tabla 6. Aporte científico y tecnológico de las universidades en el área de la acústica

Subtema	Moda	Frecuencia modal	Número de encuestados	% de consenso	% promedio de consenso
Investigación aplicada en acústica	5	18	26	69,2307692	55,76923077
Formación en control de ruido y vibraciones	5	15	26	57,6923077	55,76923077
Asesoría y servicios en acústica y nuevos materiales	5	17	26	65,3846154	55,76923077
Ejecución de proyectos urbanos y acústica arquitectónica	5	19	26	73,0769231	55,76923077

Tabla 7. Enfoque de la universidad para propiciar una relación dinámica con la empresa

Subtema	Moda	Frecuencia modal	Número de encuestados	% de consenso	% promedio de consenso
Investigaciones conjuntas	5	24	26	92,3076923	63,46153846

<sup>6</sup> Las Tablas 4 a 20 son elaboraciones del autor.

Tabla 8. Proyectos y servicios relacionados con la acústica y su importancia actual

Subtema	Moda	Frecuencia modal	Número de encuestados	% de consenso	% promedio de consenso
Medición de aislación sonora aérea de materiales y elementos constructivos. Determinación del tiempo de reverberación de salas.	3	9	26	34,6153846	31,25
<i>Asistencia técnica</i> Asesoramiento en sistemas de medición. Elaboración de procedimientos de calibración.	1	9	26	34,6153846	31,25
<i>Investigación y desarrollo</i> Diseño de equipos de medición acústicos.	1	13	26	50	31,25
<i>Capacitación</i> Cursos de capacitación relacionados con el área de la acústica y el control de ruido.	1	12	26	46,1538462	31,25

Tabla 9. Calidad de los laboratorios actuales en la región y en el país para el desarrollo de materiales acústicos

Subtema	Moda	Frecuencia modal	Número de encuestados	% de consenso	% promedio de consenso
Medición de aislación sonora aérea de paneles in situ. ISO 140, parte IV	1	17	26	65,3846154	58,9025641
Medición de aislación sonora aérea de cerramientos in situ. ASTM E336	1	18	26	69,2307692	58,9025641
Medición de aislación sonora al impacto de terminaciones de pisos (losas) in situ. ISO 140, parte VI	1	18	26	72	58,9025641
Medición de aislación sonora al impacto de terminaciones de pisos in situ. ISO 140, parte VII	1	19	26	73,0769231	58,9025641
Medición de absorción sonora de materiales homogéneos, montajes y cielorrasos absorbentes. ISO R354		18	26	69,2307692	
Medida de aislamiento acústico al ruido aéreo entre locales. UNE-EN ISO 140-4: 1999	1	16	26	61,5384615	58,9025641
Medida de aislamiento acústico al ruido aéreo de fachadas (método global del altavoz). UNE-EN ISO 140-5: 1999	1	16	26	61,5384615	58,9025641

Tabla 10. Conceptos sobre la inversión en tecnología que debe hacerse para I + D + i sobre nuevos proyectos relacionados con el área de la acústica para el período 2013-2023

Subtema	Moda	Frecuencia a modal	Número de encuestados	% de consenso	% promedio de consenso
Nuevos materiales acústicos	5	17	26	65,3846154	60
Acústica de la edificación	5	16	26	61,5384615	60
Ruido y vibraciones	5	16	26	61,5384615	60
Acondicionamiento acústico y sonorización de espacios	5	16	26	61,5384615	60

Tabla 11. Áreas de I + D + i para el desarrollo de nuevos materiales y dispositivos acústicos

Subtema	Moda	Frecuencia modal	Número de encuestados	% de consenso	% promedio de consenso
Acústica arquitectónica	5	18	26	69,2307692	60,76923077
Ingeniería acústica	5	19	26	73,0769231	60,76923077

Tabla 12. Servicios que prestan los laboratorios actuales en la región y el país para la caracterización de nuevos materiales acústicos en los eventos o procesos

Subtema	Moda	Frecuencia modal	Número de encuestados	% de consenso	% promedio de consenso
Aislamiento acústico	1	11	26	42,3076923	39,74358974
Coefficiente de absorción	1	11	26	42,3076923	39,74358974
Aislamiento acústico: reducción de ruido, pérdida de transmisión sonora, pérdidas de inserción	1	12	26	46,1538462	39,74358974
Aislamiento vibratorio	1	11	26	42,3076923	39,74358974
Determinación de las propiedades intrínsecas de un material: propiedades mecánicas, módulo de Young, módulo de cortante, factor de pérdida, densidad	1	11	26	42,3076923	39,74358974
Propiedades acústicas de materiales porosos: tortuosidad, porosidad, resistencia al flujo estático del aire, longitud característica viscosa, longitud característica térmica	1	14	26	53,8461538	39,74358974

Las tablas siguientes muestran los temas no prioritarios de la primera ronda Delphi.

Tabla 13. Visión integral de las tendencias en la investigación y el desarrollo futuro sobre nuevos materiales acústicos a nivel regional, nacional y global (II)

Subtema	% de consenso	% promedio de consenso
Materiales de lana mineral	26,9230769	41,02564103
Espumas metálicas	38,4615385	41,02564103
Compuestos	38,4615385	41,02564103
Nanomateriales acústicos	42,3076923	41,02564103

Tabla 14. Situación actual de los laboratorios y centros de metrología en el área de la acústica a nivel regional y nacional (II)

Subtema	% de consenso	% promedio de consenso
Laboratorio centralizado de microscopía electrónica	30,7692308	40,10989011
Laboratorios con cámaras de transmisión de ruido aéreo	23,0769231	40,10989011
Laboratorios con cámaras de transmisión de ruido de impacto	30,7692308	40,10989011

Tabla 15. Aporte científico y tecnológico de las universidades en el área de la acústica (II)

Subtema	% de consenso	% promedio de consenso
Extensión académica	46,1538462	55,76923077
Investigación básica	50	55,76923077
Prácticas empresariales	34,6153846	55,76923077
Macroproyectos	50	55,76923077

Tabla 16. Enfoque de la universidades para propiciar una relación dinámica con la empresa (II)

Subtema	% de consenso	% promedio de consenso
Asesorías y consultorías	61,5384615	63,46153846
Prácticas empresariales	53,8461538	63,46153846
Rotaciones y pasantías	46,1538462	63,46153846

Tabla 17. Situación de los proyectos y servicios relacionados con la acústica y su importancia actual y futura

Subtema	% de consenso	% promedio de consenso
<b>Ruido</b> Determinación de niveles de exposición sonora, certificación acústica de los elementos de protección auditiva, control de ruido y vibraciones, medición y evaluación de ruido en viviendas, certificación acústica de productos, determinación de emisión sonora de maquinaria y vehículos (actual)	26,9230769	31,25
<b>Vibraciones</b> Medición y evaluación de vibraciones ocupacionales en maquinaria, construcciones y vehículos; ensayo de vibraciones de dispositivos según normas técnicas, calibración de instrumental de vibraciones (actual)	53,8461538	31,25
<b>Vibraciones</b> Medición y evaluación de vibraciones ocupacionales en maquinaria, construcciones y vehículos; ensayo de vibraciones de dispositivos según normas técnicas, calibración de instrumental de vibraciones (futura)	30,7692308	45,6043956
<b>Electroacústica</b> Calibración de instrumental electroacústico, micrófonos de laboratorio, calibradores, medidores e integradores de nivel sonoro, dosímetros de exposición sonora, analizadores de espectro (actual)	50	31,25
<b>Electroacústica</b> Calibración de instrumental electroacústico, micrófonos de laboratorio, calibradores, medidores e integradores de nivel sonoro, dosímetros de exposición sonora, analizadores de espectro (futura)	26,9230769	45,6043956
<b>Acústica arquitectónica</b> Medición de aislación sonora aérea de materiales y elementos constructivos, determinación del tiempo de reverberación de salas (futura)	46,1538462	45,6043956
<b>Asistencia técnica</b> Asesoramiento en sistemas de medición. Elaboración de procedimientos de calibración (futura)	38,4615385	45,6043956
<b>Investigación y desarrollo</b> Diseño de equipos de medición acústicos (futura)	38,4615385	45,6043956
<b>Capacitación</b> Cursos de capacitación relacionados con el área de acústica y control de ruido. (futura)	38,4615385	45,6043956

Tabla 18. Calidad de los laboratorios actuales en la región y el país para el desarrollo de materiales acústicos (II)

Subtema	% de consenso	% promedio de consenso
Medición de aislación sonora aérea en laboratorio: paneles, cielorrasos, ventanas, fachadas, etc. ISO 140, parte III	57,6923077	58,9025641
Medición de aislación sonora aérea de fachadas in situ. ISO 140, parte V	57,6923077	58,9025641
Medición de absorción sonora de materiales homogéneos porosos. ASTM C 384-72	53,8461538	58,9025641
Elementos constructivos y materiales. Medida de la absorción acústica en una cámara reverberante. UNE-EN ISO 354: 2004	50	58,9025641
Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carretera. Medida de la absorción acústica en una cámara reverberante. UNE-EN ISO 1793-1: 1998	34,6153846	58,9025641
Acústica Determinación del coeficiente de absorción acústico y la impedancia, con ayuda de tubos de impedancia. Parte 1: método de la tasa de ondas estáticas. ISO 10534-1: 1996	46,1538462	58,9025641
Acústica Determinación del coeficiente de absorción acústico y la impedancia con ayuda de tubos de impedancia. Parte 2: método de la función de transferencia. ISO 10534-2: 1998	53,8461538	58,9025641
Acústica Materiales absorbentes para utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica. ISO 11654:1997	57,6923077	58,9025641

Tabla 19. Concepto sobre la inversión en tecnología que debe hacerse para I + D + i sobre nuevos proyectos relacionados con el área de la acústica, para el periodo de 2013-2023 (II)

Subtema	% de consenso	% promedio de consenso
Acústica ambiental	50	60
Áreas de I + D + i en nuevos materiales y dispositivos acústicos		
Ingeniería de sonido	42,3076923	60,76923077
Ingeniería de materiales	50	60,76923077

Tabla 20. Servicios que prestan los laboratorios actuales en la región y el país para la caracterización de nuevos materiales acústicos en los eventos o procesos (II)

Subtema	% de consenso	% promedio de consenso
Modelos matemáticos y simulación acústica: modelos analíticos para la simulación acústica de materiales multicapa, análisis de elementos finitos e infinitos, análisis estadístico de energía	23,0769231	39,74358974
Software especializado para el diseño de materiales acústicos multicapa	34,6153846	39,74358974
Evaluación no destructiva y pruebas de materiales compuestos por ultrasonido y emisión acústica	30,7692308	39,74358974

### 3.5 Segunda ronda Delphi

En esta ronda se ratificaron los temas prioritarios por el 100 % de los encuestados y se acordó pasar algunos de los temas en discusión a temas prioritarios; además se agregaron temas propuestos a los expertos en las preguntas libres.

Los temas prioritarios de la segunda ronda fueron los siguientes:

#### 3.5.1 Área de nuevas líneas de investigación en materiales acústicos

- Espumas metálicas
- Síntesis de materiales compuestos reforzados
- Silenciadores

### 3.5.2 Mejoramiento situación actual los laboratorios

- Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústico y la impedancia, con ayuda de tubos de impedancia. Parte 1: método de la tasa de ondas estáticas. ISO 10534-1: 1996.
- Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústico y la impedancia, con ayuda de tubos de impedancia. Parte 2: método de la función de transferencia. ISO 10534-2: 1998.
- Acústica. Materiales absorbentes para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica. ISO 11654: 1997.

### 3.5.3 Área de la relación universidad/empresa

- Spin-off<sup>7</sup>
- Formación en maestrías y doctorados en el área de la acústica
- Creación de la carrera de ingeniería acústica
- Asesorías y consultorías

### 3.5.4 Situación de los proyectos y servicios alrededor de la acústica

- Ruido. Determinación de los niveles de exposición sonora, certificación acústica de los elementos de protección auditiva, control de ruido y vibraciones, medición y evaluación de ruido en viviendas, certificación acústica de productos, determinación de la emisión sonora de maquinaria y vehículos (futuro).
- Vibraciones. Medición y evaluación de las vibraciones ocupacionales en maquinaria, construcciones y vehículos; ensayo de las vibraciones de dispositivos según las normas técnicas; calibración de instrumental de vibraciones (actual).
- Electroacústica. Calibración de instrumental electroacústica, micrófonos de laboratorio, calibradores, medidores e integradores de nivel sonoro, dosímetros de exposición sonora, analizadores de espectro (futuro).

### 3.5.5 Inversión en tecnología necesaria para I + D + i sobre nuevos proyectos relacionados en el área de la acústica, para el período 2013-2023

- Acústica ambiental
- Ingeniería de materiales

La Tabla 21 muestra la tabulación obtenida en la segunda ronda Delphi

---

<sup>7</sup> Proyecto de emprendimiento nacido de otro proyecto o de una empresa.



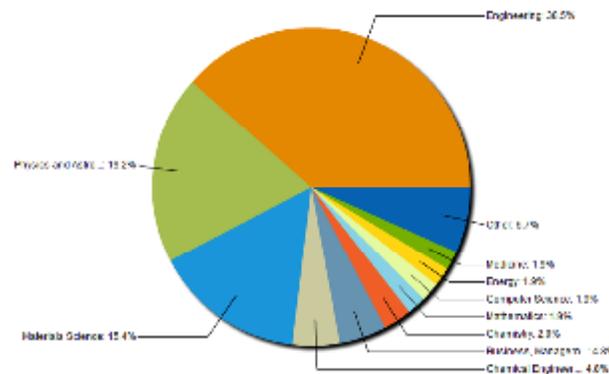
## 4 Proceso y análisis de vigilancia tecnológica en nuevos materiales y dispositivos acústicos

Este capítulo expone la búsqueda de datos y el análisis de la información necesaria para diseñar el modelo del Centro que permita desarrollar nuevas líneas de investigación en el campo de la acústica y el tratamiento, acondicionamiento y aislamiento acústicos.

### 4.1 Investigación y desarrollo (I + D)

La Figura 12 muestra las áreas temáticas relacionadas con I + D de nuevos materiales y dispositivos acústicos.

Figura 12. Áreas temáticas relacionadas con I + D de nuevos materiales y dispositivos acústicos\*



#### 4.1.1 Ecuaciones de búsqueda

Para la elaboración de las ecuaciones de búsqueda se delimitaron los temas a la acústica en particular. El inconveniente principal fue encontrar artículos que coincidieran con los centros de I + D y acústica; por lo tanto, se procuró buscar temas relacionados con modelos de I + D y cruzarlos con temas de nuevos materiales acústicos aplicados al control de ruido.

La Tabla 22 muestra las ecuaciones de búsqueda propuestas.

Tabla 22. Ecuaciones de búsqueda

Ecuación 1	Ecuación 2
= (Metamateria* or “panels absorbent” or biomaterial* or metamateria* or “paneles absorbentes” or biomaterial*s or biomasa or “panel absorbent”) and (Acoustics or acústica) and (laborator* or group* or institute or university or organization or laborator* or grupo or instituto or organización or universidad) and (“R&D” or	= (“absorbent panels” or “paneles absorbentes” or biomaterial* or “panel absorbent”) and (Acoustics or acústica) and (laborator* or group* or institute or university or or laboratorio or grupo or instituto or organización or universidad) and (“R&D” or “R+D” or “R&D” or “research and development” or “ investigación y desarrollo” or “I+D” or “I+D” or I&D) and (Innovation or Innovación) and (“Model structural” or “organizational model” or “causal diagram”)

\* Las Figuras 12 a 18 fueron tomadas del sitio web de Scopus. <http://188.165.118.17:2065/term/analyzer.url?sid=9261654D2139129A06FAA43AED1D0D17.53bsOu7mi7A1NSY7fPjflg%3a110&origin=resultslst&src=s&s=TITLE-ABS-KEY%28Acoustic+materials%29&sort=plf-f&sdt=sisr&sot=b&sl=33&count=2630&analyzeResults=Analyze+results&ref=%28panels+acoustics%29&txGid=9261654D2139129A06FAA43AED1D0D17.53bsOu7mi7A1NSY7fPjflg%3a17>

<p>“R+D” or “R &amp; D” or “research and development” or “ investigación y desarrollo” or “I+D” or “I+D” or I&amp;D) and (Innovation or Innovación) and (“Model structural” or “causal model “ or “organizational model” or “diagrama causal” or “modelo estructural” or “modelo organizacional” or “diagram causal”)</p>	
<p>Ecuación 3</p> <p>= ((absorbent W/3 panel*) or "paneles absorbentes" or biomaterial*) and (Acoustics or acústica) and (laborator* or institutu* or universi* or laborator* or institutu* or organizaci* or universida*) and ("R&amp;D" or "R+D" or "R &amp; D" or "research and development" or " investigación y desarrollo" or "I+D" or "I+D" or I&amp;D) and ("organizational model" or "causal diagrams")</p>	<p>Ecuación 4</p> <p>= (Acoustic* or acústica) and (laborator* or institutu* or universi* or laborator* or institutu* or organizaci* or universida*) and ("R&amp;D" or "R+D" or "R &amp; D" or "research and development" or " investigación y desarrollo" or "I+D" or "I+D" or I&amp;D) and ("causal diagram" or "organizational model")</p>
<p>Ecuación 5</p> <p>= (laborator* or institutu* or universi* or laborator* or institutu* or organizaci* or universida*) and ("R&amp;D" or "R+D" or "R &amp; D" or "research and development" or " investigación y desarrollo" or "I+D" or "I+D" or I&amp;D) and ("causal diagram" or "structural model")</p>	<p>Ecuación 6</p> <p>= ("R&amp;D" or "R+D" or "R &amp; D" or "research and development" or "investigación y desarrollo" or "I+D" or "I+D" or I&amp;D) and ("causal diagram" or "dynamic systems") and (modelo or model) and "kline model"</p>
<p>Ecuación 7</p> <p>= TITLE-ABS-KEY( ("R&amp;D" or "R+D" or "R &amp; D" or "research and development" or " investigación y desarrollo" or "I+D" or "I+D" or I&amp;D) and acoustic* and materials)</p>	<p>Ecuación 8</p> <p>= TITLE-ABS-KEY(("R&amp;D" or "R+D" or "R &amp; D" or "research and development" or " investigación y desarrollo" or "I+D" or "I+D" or I&amp;D ) and (materia* W/5 acousti*))</p>

Fuente: elaboración del autor.

La Figura 13 muestra el mapa de publicaciones entre 1973 y 2013; como puede verse, entre 2001 y 2003 apareció el mayor número de ellas, y aumentó nuevamente a partir de 2011. Este incremento evidencia la importancia del desarrollo de nuevos materiales –entre estos, los nanomateriales y los metamateriales– y sugiere claramente la urgencia de desarrollar nuevos centros de desarrollo tecnológico.

Figura 13. Mapa de publicaciones por año (1973-2013)



#### 4.1.2 Palabras claves relacionadas

Entre 1973 y 2013 han aumentado las palabras claves (*key words*). La Tabla 23 muestra que el término *research and development* (investigación y desarrollo) ha crecido como consecuencia de las nuevas investigaciones y desarrollos en el campo de la acústica, principalmente en aplicaciones militares. El tema del ruido acústico (*acoustic noise*) también ha tenido un comportamiento ascendente, ya que muchos de

los países en desarrollo implementan políticas y normas de control de ruido acústico en las ciudades, específicamente para el uso de materiales de construcción de viviendas que cumplan con las normas de aislamiento acústico.

El término *composite materials* (materiales compuestos) tiene un comportamiento estable, aunque es posible que aumente a corto plazo, debido a la necesidad de desarrollar nuevos materiales ecológicos a partir de fibras naturales que tengan excelentes condiciones de absorción del sonido y que, al contrario de las fibras de vidrio, no presenten contaminación.

Tabla 23. Palabras claves de con mayor índice de publicación (1973-2013)

Puesto	(1973-2013)		(2003-2013)		
1	Research and development	0	1	Research and development	9
2	Research and development management		8	Research and development management	5
3	Acoustic noise		7	Acoustic noise	5
4	Acoustics		7	Acoustics	4
5	Acoustics waves		5	Acoustic variables control	3
6	Acoustic impedance		4	Acoustic impedance	4
7	Composite materials		4	Composite materials	3
8	Attenuation		3	Attenuation	3

Fuente: elaboración del autor.

Las investigaciones que lideran los temas de acústica y materiales acústicos aparecen principalmente en las *Proceedings<sup>8</sup> of the SPIE* (The International Society for Optics and Photonics) y en menor cantidad en los artículos de ultrasonido del IEEE (The Institute of Electrical and Electronic Engineers). La Tabla 24 y la Figura 14 muestran las revistas con mayor número de publicaciones.

Tabla 24. Revistas con mayor número de publicaciones relacionadas con los temas de acústica y materiales acústicos (1973-2013)

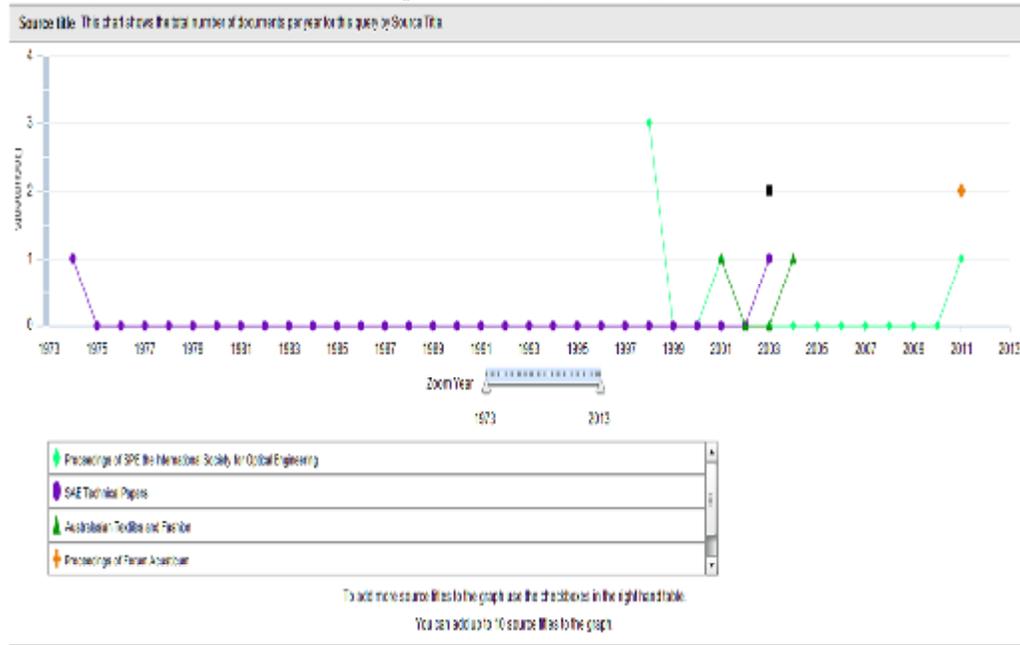
Puesto	(1973-2013)		(2003-2013)	
1	Proceedings of the SPIE (The International Society for Optics and Photonics)	5	Proceedings of Forum Acusticum	2
2	SAE (The Society of Automotive Engineers) Technical Papers	2	Proceedings of the IEEE (The Institute of Electrical and Electronic Engineers) Ultrasonics Symposium	2
3	Australasian Textiles and Fashion	2	13 <sup>th</sup> International Congress on Sound and Vibration 2006, ICSV 2006	1
4	Proceedings of Forum Acusticum	2	50 <sup>th</sup> AIAA (The American Institute of Aeronautics and Astronautics) Aerospace Sciences Meeting 2012, Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition	1
5	Proceedings of the IEEE (The Institute of Electrical and Electronic Engineers) Ultrasonics Symposium	2	8 <sup>th</sup> European Conference on Noise Control 2009, Euronoise 2009. Proceedings of the Institute of Acoustics	1
6	8 <sup>th</sup> International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation Control and Human Machine Interface Technologies 2012, NPIC and HMIT 2012: Enabling the Future of Nuclear Energy	1	8 <sup>th</sup> International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation Control and Human Machine Interface Technologies 2012, NPIC and HMIT 2012: Enabling the Future of Nuclear Energy	1

<sup>8</sup> *Proceedings*: actas.

7	American Society of Mechanical Engineers MED (Manufacturing Engineering Division)		American Society of Mechanical Engineers MED (Manufacturing Engineering Division)	
8	Aviation Week and Space Technology, Nueva York		Australasian Textiles and Fashion	

Fuente: elaboración del autor.

Figura 14. Instituciones y eventos académicos líderes en publicaciones (1973-2013)



#### 4.1.3 Autores líderes

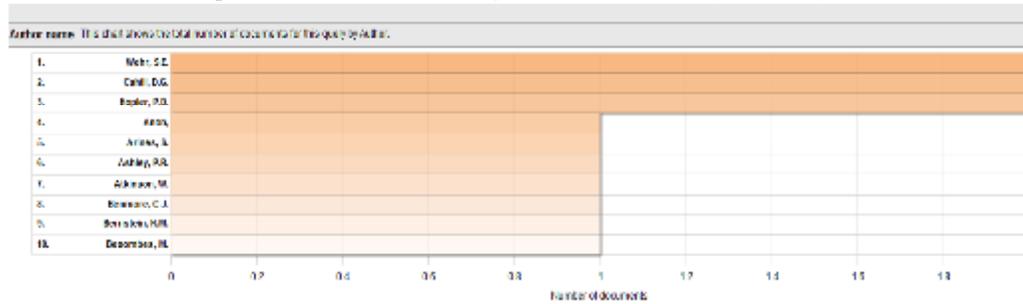
La Tabla 25 y la Figura 15 muestran los autores que más publican sobre acústica y materiales acústicos. Debido a su complejidad y al hecho de que el cruce de información entre los centros de desarrollo de I + D con la acústica apenas inician su actividad, los resultados son pocos.

Tabla 25. Autores líderes en publicaciones sobre acústica y materiales acústicos (1973-2013)

Puesto	(1973-2013)	(2003-2013)
1	P. D. Hopler	D. G. Cahill
2	D. G. Cahill	S. Arines
3	S. E. Wehr	P. R. Ashley
4	Anon	W. Atkinson
5	S. Arines	C. J. Benmore
6	P. R. Ashley	M. Besombes
7	W. Atkinson	C. L. Brantley
8	C. J. Benmore	

Fuente: elaboración del autor.

Figura 15. Autores líderes en publicaciones sobre acústica y materiales acústicos (1973-2013)



#### 4.1.4 Organizaciones y universidades líderes en investigación sobre acústica y control de ruido

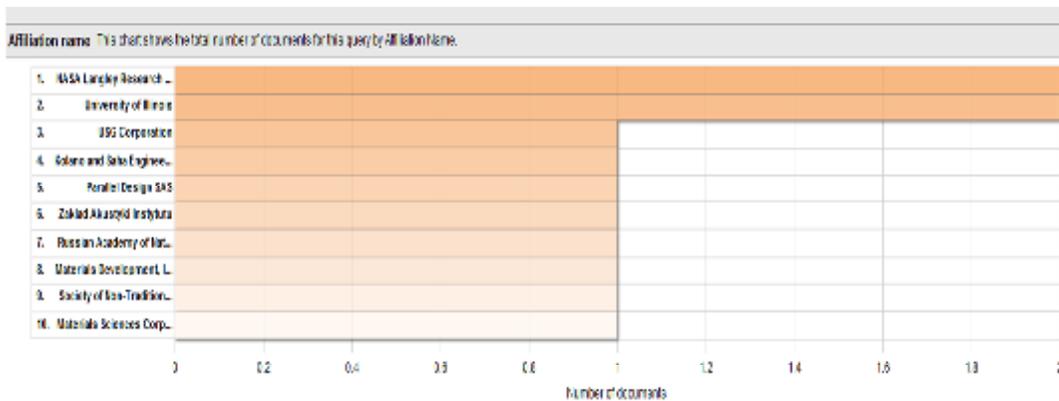
La Tabla 26 y la Figura 16 muestran las principales organizaciones y universidades dedicadas a la investigación en acústica y control de ruido. La NASA (The National Aeronautics and Space Administration) lidera este trabajo desde la década de 1970.

Tabla 26. Organizaciones y universidades líderes en la investigación sobre acústica y control de ruido (1973-2013)

Puesto	(2003-2013)	(1973-2013)
1	University of Illinois	NASA Langley Research Center
2	Kolano and Saha Engineers, Inc.	University of Illinois
3	Parallel Design SAS	USG Corporation
4	Russian Academy of Natural Sciences	Kolano and Saha Engineers, Inc.
5	Materials Development, Inc.	Parallel Design SAS
6	Materials Sciences Corporation	Zaklad Akustyki Instytutu
7	Laboratory for Quality Control in Dwellings	Russian Academy of Natural Sciences
8	Centre de Transfert de Technologie du Mans	

Fuente: elaboración del autor.

Figura 16. Organizaciones y universidades líderes en la investigación sobre acústica y ruido (1973-2013)



#### 4.1.5 Países líderes en publicaciones académicas

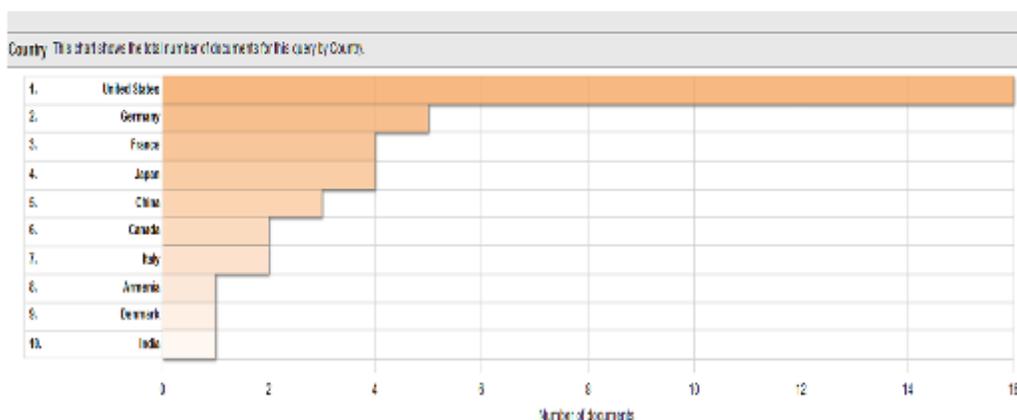
La Tabla 27 y la Figura 17 muestran los países líderes en publicaciones académicas relacionadas con el área de investigación sobre acústica y control de ruido.

Tabla 27. Países líderes en publicaciones académicas relacionadas con el área de investigación sobre acústica y control de ruido (1973-2013)

Puesto	(1973-2013)		(2003-2013)	
1	Estados Unidos	16	Estados Unidos	10
2	Alemania	5	China	3
3	Francia	4	Francia	3
4	Japón	4	Japón	3
5	China	3	Italia	2
6	Canadá	2	Armenia	1
7	Italia	2	Canadá	1
8	Armenia	1	Dinamarca	1

Fuente: elaboración del autor.

Figura 17. Países líderes en publicaciones académicas relacionadas con el área de investigación sobre acústica y control de ruido (1973-2013)



#### 4.1.6 Tipos de productos de publicación

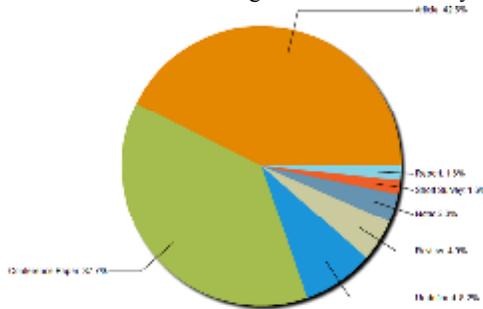
La Tabla 28 y la Figura 18 muestran los tipos de productos de publicación en el área de investigación sobre acústica y control de ruido.

Tabla 28. Tipos de productos de publicación en el área de investigación sobre acústica y control de ruido (1973-2013)

Puesto	Tipo de publicación (2003-2013)		Total de publicaciones (1973-2013)	
1	<i>Journals</i> (revistas)	5	<i>Journals</i>	32
2	Conference proceedings (actas)	14	Conference proceedings	21
3	<i>Trade publications</i> (publicaciones comerciales)	5	<i>Trade publications</i>	7
4			<i>Reports</i> (reportes)	1

Fuente: elaboración del autor.

Figura 18. Tipos de productos de publicación en el área de investigación sobre acústica y control de ruido (1973-2013)



#### 4.1.7 Artículos científicos sobre acústica y control de ruido

La Tabla 29 muestra las referencias bibliográficas de los artículos de investigación más recientes sobre acústica y control de ruido.

Tabla 29. Referencias bibliográficas de los artículos científicos más recientes sobre acústica y control de ruido

<p>Wang, X., Ho, V., Segalman, R.A. y Cahill, D. G. (2013). Thermal conductivity of high-modulus polymer fibers. <i>Macromolecules</i>, 46 (12), 4937-4943. <a href="http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0.084879535113&amp;partnerID=40&amp;md5=d974a8f6b98fb42f9d254d3b68d1b6e6">http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0.084879535113&amp;partnerID=40&amp;md5=d974a8f6b98fb42f9d254d3b68d1b6e6</a> [Tipo: artículo. Fuente: Scopus].</p>
<p>Hoffmann, R., Ferguson, D., Wheelock, A. y Patton, J. (2012). The spacecraft charging and instrument calibration laboratory: A new frontier in American Spacecraft Charging R&amp;D. <i>50<sup>th</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition</i>, art. AIAA 2012-0716. <a href="http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0.084873819681&amp;partnerID=40&amp;md5=1650629a2bfa2e13e7a7f9f22dace00e">http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0.084873819681&amp;partnerID=40&amp;md5=1650629a2bfa2e13e7a7f9f22dace00e</a> [Tipo: conferencia. Fuente: Scopus].</p>
<p>Rodig, T. y Schonecker, A.J. (2012). Preparation and characterization of acoustic transducers based on lead-free ceramics. <i>IEEE International Ultrasonics Symposium</i>, art. 6562408, pp. 2218-2221. <a href="http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0.084882311017&amp;partnerID=40&amp;md5=665b2ea0f3716c088b322750268d14ba">http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0.084882311017&amp;partnerID=40&amp;md5=665b2ea0f3716c088b322750268d14ba</a> [Tipo: conferencia. Fuente: Scopus].</p>
<p>Daw, J., Rempe, J. y Crepeau, J. (2012). Update on ultrasonic thermometry development at Idaho National Laboratory. <i>8<sup>th</sup> International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control, and Human-Machine Interface Technologies. NPIC and HMIT 2012: Enabling the Future of Nuclear Energy</i>. 1, pp. 413-426. <a href="http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0.084880493589&amp;partnerID=40&amp;md5=67e3d8b216b20598505314c3ee02a397">http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0.084880493589&amp;partnerID=40&amp;md5=67e3d8b216b20598505314c3ee02a397</a> [Tipo: conferencia. Fuente: Scopus].</p>
<p>Le Roux, J. C., Pachebat, M. y Dalmont, J. P (2012). A new impedance sensor for industrial applications. <i>Proceedings of the European Conference on Noise Control</i>, pp. 1036-1041. <a href="http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0.84865974208&amp;partnerID=40&amp;md5=e9922c8273c78b9e48bc7bb7ba543b66">http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0.84865974208&amp;partnerID=40&amp;md5=e9922c8273c78b9e48bc7bb7ba543b66</a> [Tipo: conferencia. Fuente: Scopus].</p>
<p>Weber, R. J. K., Benmore, C. J., Tumber, S. K., Tailor, A. N., Rey, C. A., Taylor, L. S. y Byrn, S.R (2012). Acoustic levitation: Recent developments and emerging opportunities in biomaterials research. <i>European Biophysics Journal</i>, 41 (4), 397-403. <a href="http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0.84860293320&amp;partnerID=40&amp;md5=07fae6a248fd5b0804a4e10640b6c99">http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0.84860293320&amp;partnerID=40&amp;md5=07fae6a248fd5b0804a4e10640b6c99</a> [Tipo: artículo. Fuente: Scopus].</p>
<p>Di Bella, A. y Pontarollo, C. M. (2011). Comparison of uncertainties in acoustic measurements in building with different test methods. <i>Proceedings of Forum Acusticum</i>, pp. 1359-1363. <a href="http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0.84866038062&amp;partnerID=40&amp;md5=3fc1e95d67a15c0c5d17f708716b1ae2">http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0.84866038062&amp;partnerID=40&amp;md5=3fc1e95d67a15c0c5d17f708716b1ae2</a> [Tipo: conferencia. Fuente: Scopus].</p>
<p>Fuente, M., Arines, S., Elguezabal, P., Pérez, M. y de Rozas, M. J. (2011). Industrialized lightweight floors for multi-storey dwellings in Spain. <i>Proceedings of Forum Acusticum</i>, pp. 1665-1668. <a href="http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0.084866007546&amp;partnerID=40&amp;md5=20851dcad35e53ceea05f9648ab7af48">http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0.084866007546&amp;partnerID=40&amp;md5=20851dcad35e53ceea05f9648ab7af48</a> [Tipo: conferencia. Fuente: Scopus].</p>
<p>Li, J. L.-W. y Hong, W. (2011). Microwave research and development in China. <i>European Microwave Week 2011</i>:</p>

"Wave to the Future", art. 6102003, pp. 1332-1335. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84862907533&partnerID=40&md5=fc6ea464f67c80383abec62a573d3321> [Tipo: conferencia. Fuente: Scopus].

Ruffin, P. B., Brantley, C. L., Edwards, E., Roberts, J. K., Chew, W., Warren, L. C., Ashley, P. R., Everitt, H. O., Webster, E., Foreman, J. V., Sanghadasa, M., Crutcher, S. H., Temmen, M. G., Varadan, V., Hayduke, D., Wu, P. C., Khoury, C. G., Yang, Y., Kim, T.-H., Vo-Dinh, T., Brown, A. S. y Callahan, J. (2011). Nanotechnology research and development for military and industrial applications. *Proceedings of SPIE*, art. 798002, <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-79956137686&partnerID=40&md5=4c5f1ae653539d12e4f3f1f5c2a34d89> [Tipo: conferencia. Fuente: Scopus].

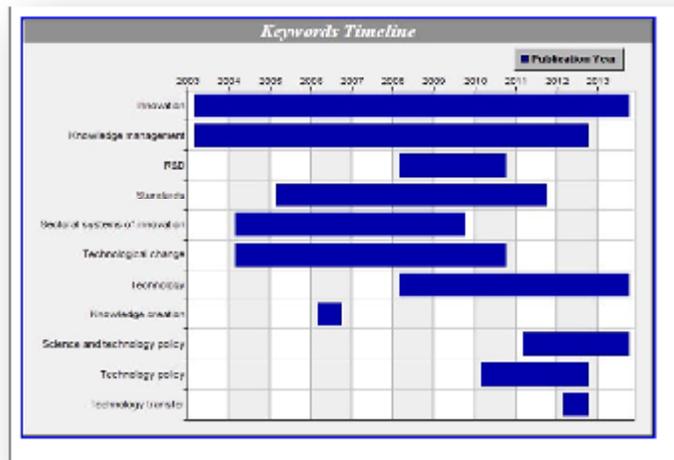
Lü, F.-X. Progress in research and application development of CVD diamond film (2010). *Cailiao Rechuli Xuebao/Transactions of Materials and Heat Treatment*, 31 (1), 15-28. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77949557946&partnerID=40&md5=f7cbd17e22cd39718c4c09aac02f4f6d> [Tipo: artículo. Fuente: Scopus].

Fuente: elaboración del autor.

## 4.2 Análisis de la búsqueda de información en el sitio web ScienceDirect usando Vantage Point\*

Para esta investigación se aplicó la ecuación de búsqueda excluyendo la palabra *acoustic*, pues la idea era encontrar modelos de centros de I + D relacionados con materiales en ingeniería. La Figura 19 muestra que el término *innovation* ha tenido muy buena dinámica a través del tiempo, al igual que *knowledge management* (gestión del conocimiento), que está muy relacionado con los centros de I + D. Y la Figura 20 muestra a los autores relacionados con el término *research* (investigación).

Figura 19. Palabras claves en ScienceDirect usando Vantage Point (2003-2013)



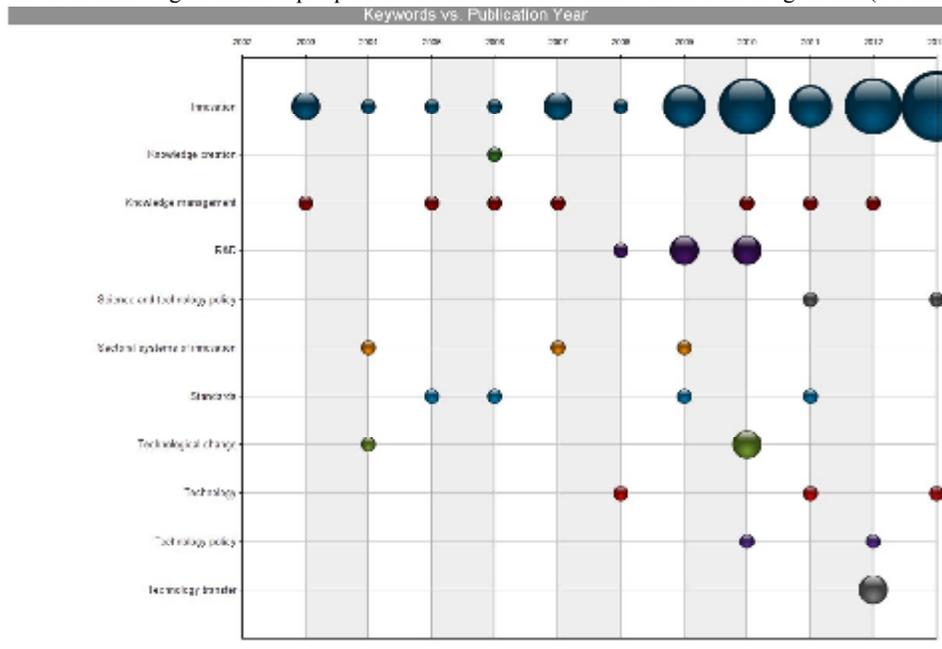
\* Vantage Point es un programa de control exclusivo de la Vicerrectoría de investigaciones del ITM. Las capturas de pantalla de las figuras siguientes fueron hechas con este programa, razón por la cual sus fuentes no se anotan.

Figura 20. Autores por tema en ScienceDirect usando Vantage Point

Reset		Authors						
		1	2	3	4	5	6	
		# Records	27	8	5	4	3	2
Keywords	# Records	Show Values >= 1 and <= 2 Cooccurrence # of Records						
		Innovation	Knowledge management	R&D	Standards	Technology	Technology policy	
	1	3	Gassmann, Oliver	1		1		
	2	3	Walsh, Steven		2		1	
	3	2	Allarakhia, Minna	2			1	
	4	2	Borini, Felipe Mendes	1				
	5	2	Lee, Jaegul					1
	6	2	Rubin, Edward S.					1
	7	2	Sydow, Jörg	1				
	8	2	Teece, David J.	1		1		
	9	2	Tseng, Ming-Lang		1			
10	2	Windeler, Arnold	1					

La Figura 21 muestra el crecimiento de las palabras claves relacionadas con R & D (investigación y desarrollo) e *innovation* (innovación). Este dato es interesante, ya que el modelo del Centro tiene relación con esta última; tal como se ha visto en la literatura presentada, existen laboratorios y centros de I + D que desarrollan productos y servicios diferenciables y con impacto económico y social.

Figura 21. Crecimiento de la investigación anual por palabras claves en ScienceDirect usando Vantage Point (2002-2013)



Las Figuras 22 y 23 muestran la actividad de investigación por autores a nivel mundial: los que más publican, sus relaciones y cómo algunos lo hacen de manera conjunta, conformando nuevas comunidades

académicas. Colombia no aparece, lo que demuestra el vacío de conocimiento existente en el país y la falta de estructura tecnológica para desarrollar actividades de I + D.

Figura 22. Investigación a nivel mundial por autores en ScienceDirect usando Vantage Point

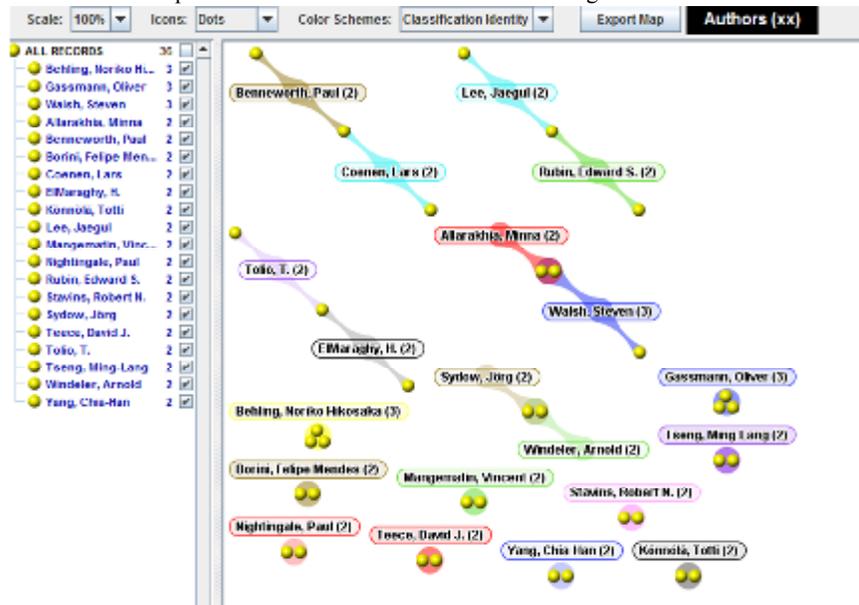
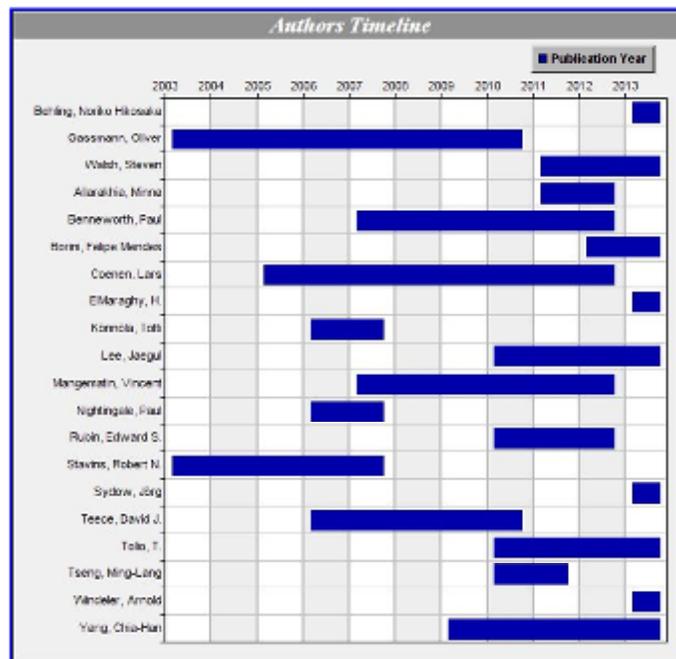


Figura 23. Autores por año en ScienceDirect usando Vantage Point (2003-2013)



### 4.3 Análisis de la búsqueda de información en el sitio web Scopus usando Vantage Point

La Figura 24 muestra la cantidad de artículos relacionados con las palabras claves *research and development* (investigación y desarrollo), *acoustic noise control* (control de ruido ) y *acoustic composite materials* (materiales acústicos compuestos). Estas palabras fueron introducidas al buscador Scopus para encontrar relaciones con centros de I + D para nuevos dispositivos acústicos.

La Figura 25 muestra el crecimiento en temas como nuevos materiales acústicos, paneles absorbentes, metamateriales, ruido acústico, aislamiento y acondicionamiento. En los países europeos ya existe una legislación para regular el control de ruido en las edificaciones, con el propósito de disminuir al máximo la contaminación acústica.

Figura 24. Palabras claves por tema en Scopus usando Vantage Point

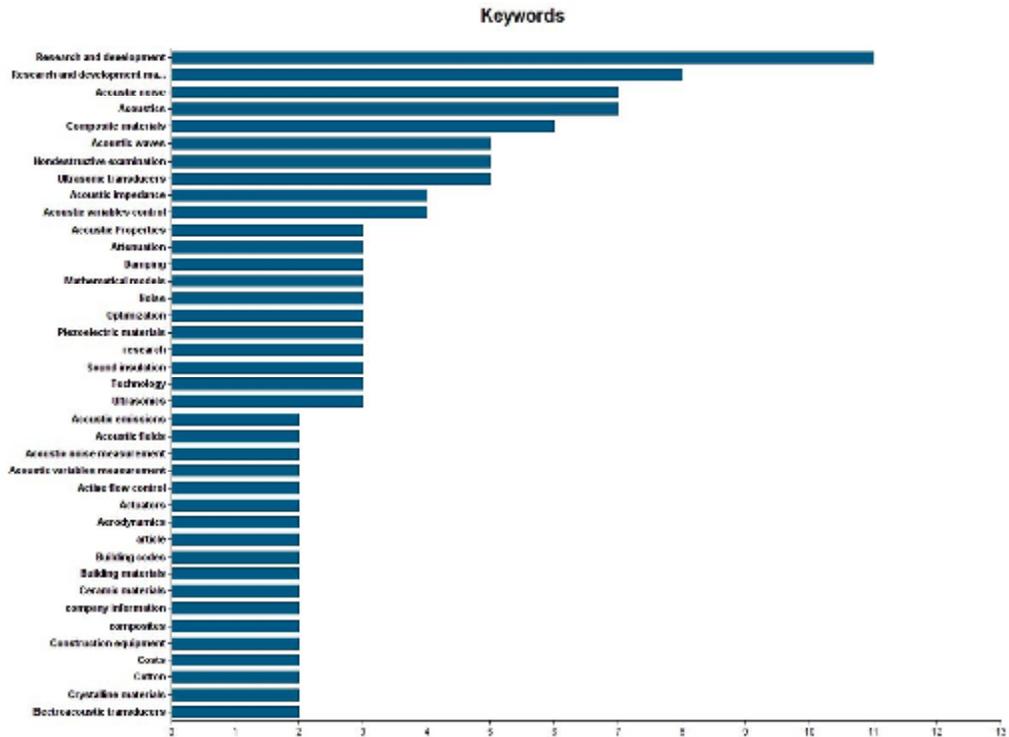
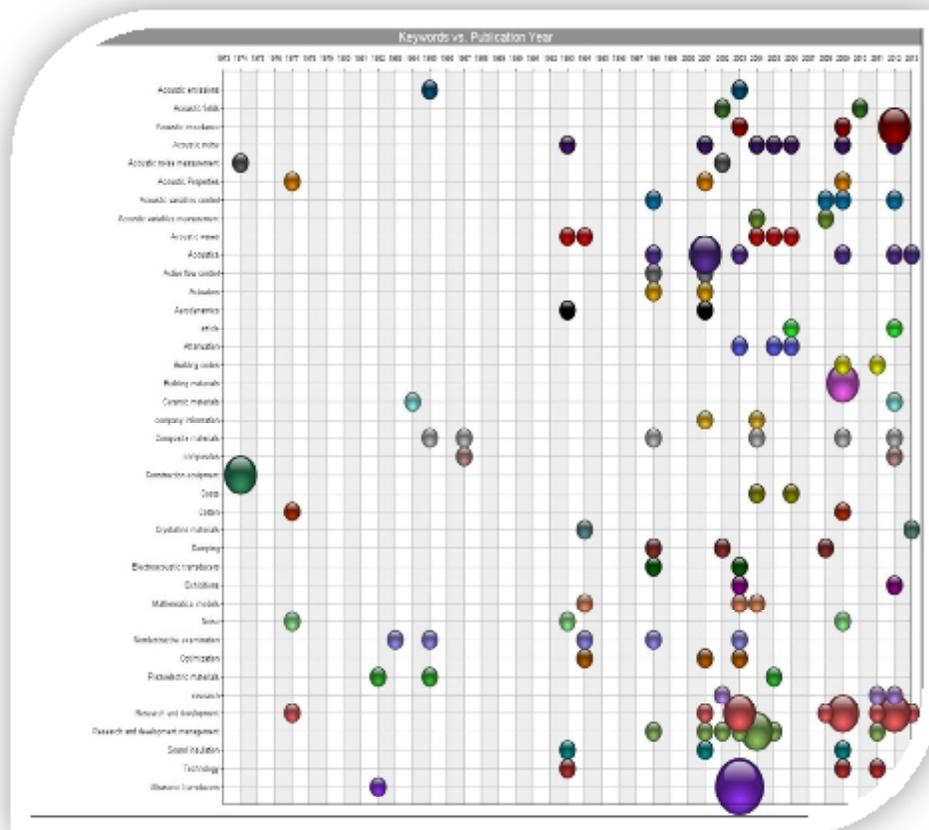
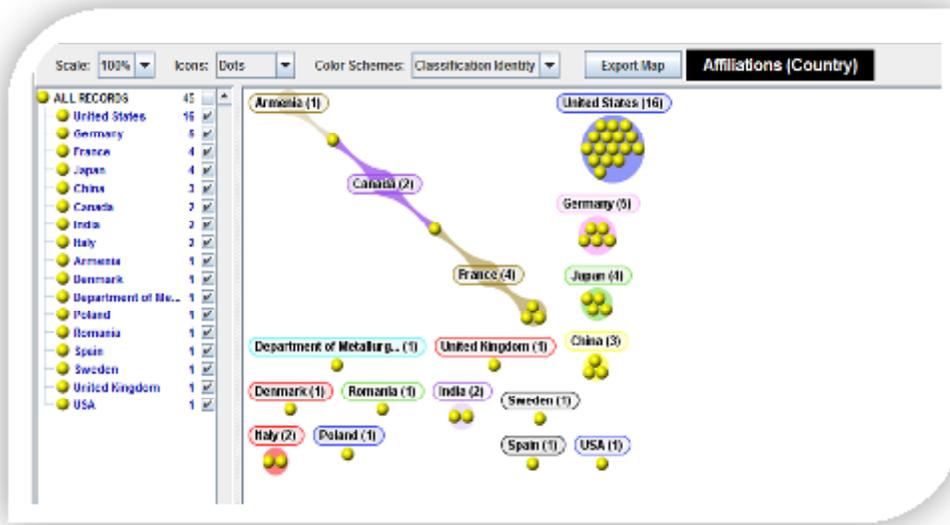


Figura 25. Crecimiento de la investigación anual por palabras claves en Scopus usando Vantage Point (1973-2013)



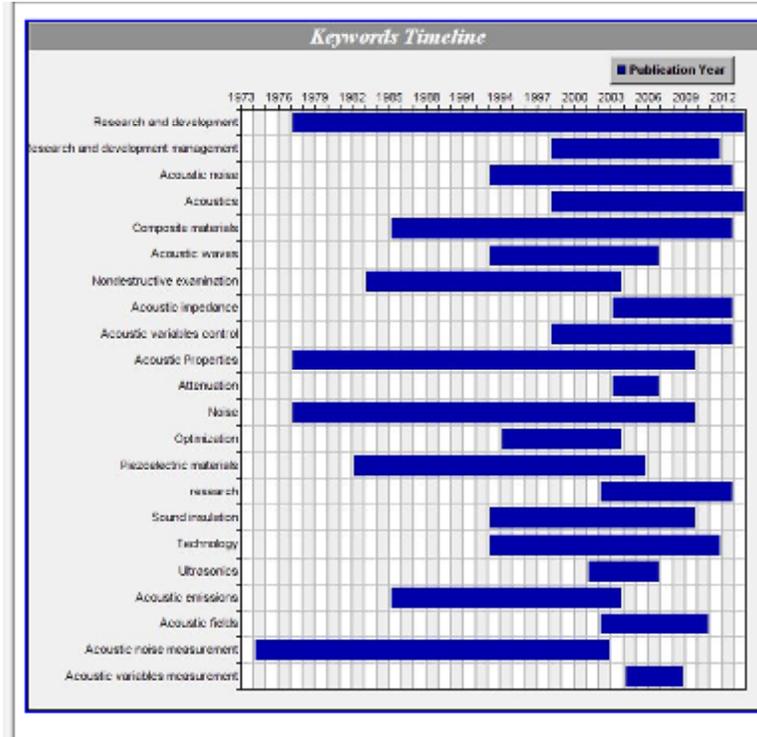
La Figura 26 muestra las diferentes redes académicas y científicas por países. Es interesante notar que con excepción de Canadá y Francia, en los demás países se trabaja aisladamente.

Figura 26. Investigación a nivel mundial por países en Scopus usando Vantage Point



La Figura 27 muestra cómo el término *research and development* es el que abarca más trabajos, seguido de *research and development manager* y *acoustic noise, acoustics* y *composite materials*. Hasta ahora no se ha encontrado la combinación de I + D con laboratorios y centros de investigación en acústica.

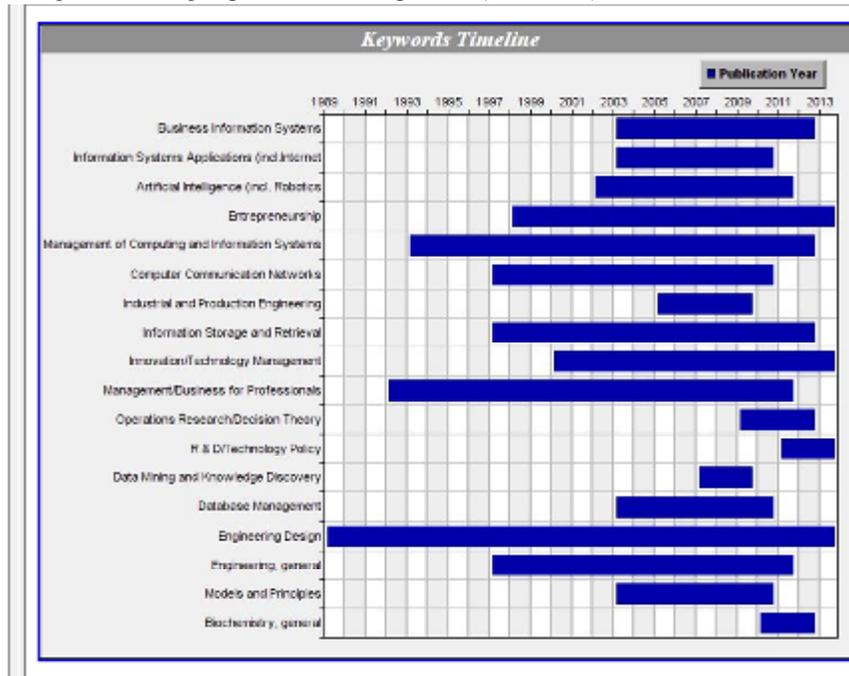
Figura 27. Palabras claves por tema y año en Scopus usando Vantage Point (1973-2012)



#### 4.4 Análisis de la búsqueda de información en el sitio web Springer usando Vantage Point

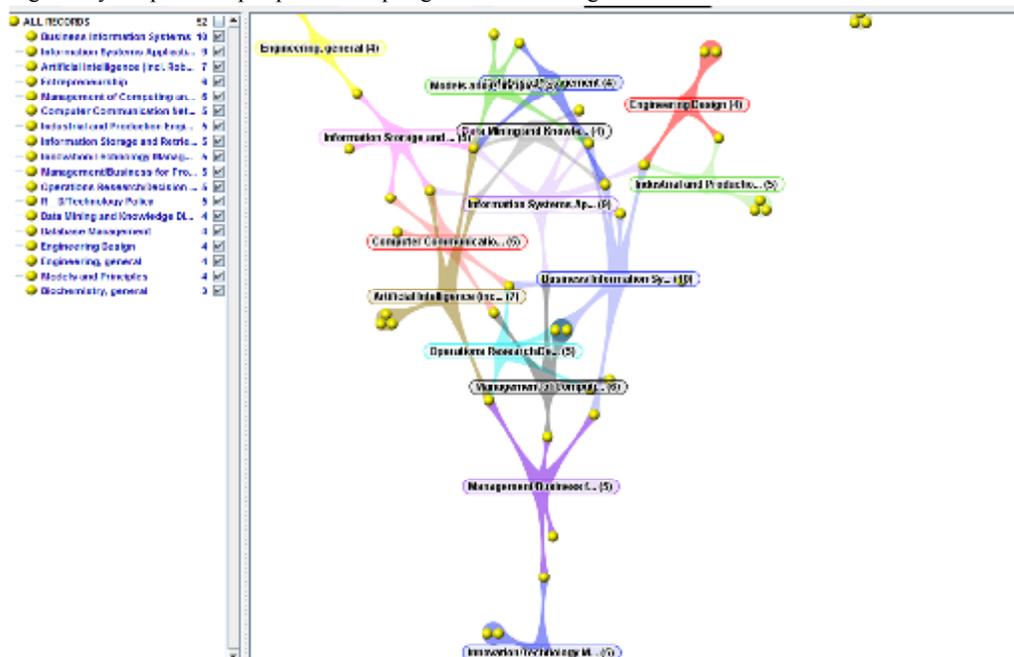
La Figura 28 muestra los resultados en este buscador, que fueron pocos. Al variar la ecuación de búsqueda hubo hallazgos interesantes en el campo de los modelos de I + D, pero al relacionar este término con acústica se redujeron considerablemente.

Figura 28. Palabras claves por tema en Springer usando Vantage Point (1989-2013)



La Figura 29 muestra las redes de cooperación entre países.

Figura 29. Investigación y cooperación por países en Springer usando Vantage Point

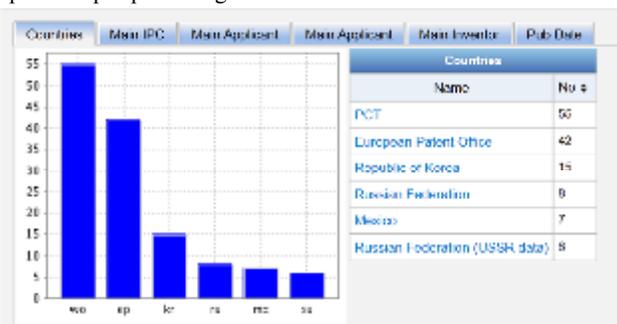


#### 4.5 Análisis de la búsqueda de información de patentes en el sitio web de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI)

Para esta búsqueda se usaron las palabras claves *acoustical materials*, con el propósito de encontrar la frecuencia en las innovaciones relacionadas con la caracterización de materiales y reunir información acerca de sus diferentes estructuras de aislamiento y control de ruido, teniendo en cuenta en todo caso que esta área tiene diferentes campos y podrían haberse seleccionado otras alternativas –como *acoustic panels*–.

La Figura 30 muestra que en el área de la acústica las patentes están concentradas en The Patent Cooperation Treaty, PCT (Tratado de Cooperación de Patentes) y la Oficina Europea de Patentes, seguidas por Corea del Sur –con I + D en nuevos materiales para el control de ruido–, Rusia –con materiales para el control de ruido en los aviones– y México –con siete patentes de polímeros con aislamiento térmico y acústico para carros–.

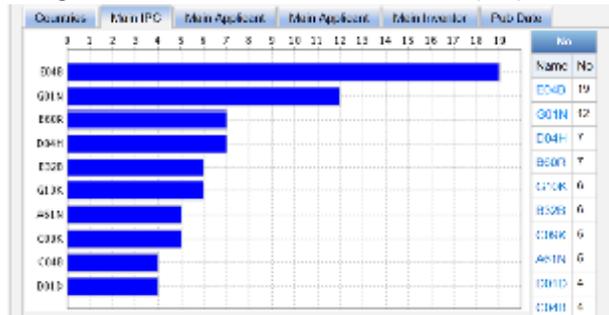
Figura 30. Número de patentes por países según la OMPI



Fuente: OMPI. Sitio web: <http://www.wipo.int/portal/es/>

La Figura 31 muestra que la mayoría de las patentes se concentran en el rubro “Estructuras generales de edificios”, E04B: paredes, tabiques, techos, pisos, techos, aislamiento y otras protecciones – el objetivo principal de la búsqueda–. En segundo lugar está “Investigacion o analisis de materiales para la determinacion de sus propiedades químicas y físicas”, G01N, crucial para la caracterización de los materiales acústicos, debido a su porosidad. Sigue luego “Fabricacion de tejidos textiles”, D04H, que abarca la construcción de fibras o materiales filamentosos útiles en los materiales de acondicionamiento. En cuarto lugar está “Partes de vehículos”, B60R, para el control de ruido. Y, finalmente, en quinto lugar está “Dispositivos generadores de sonidos”, G10K, que incluye el sonido que producen los juguetes A63H 5 / 00 y los métodos o dispositivos de protección en amortiguación. El resto de los ítems no tiene mucha pertinencia con el objetivo de esta investigación.

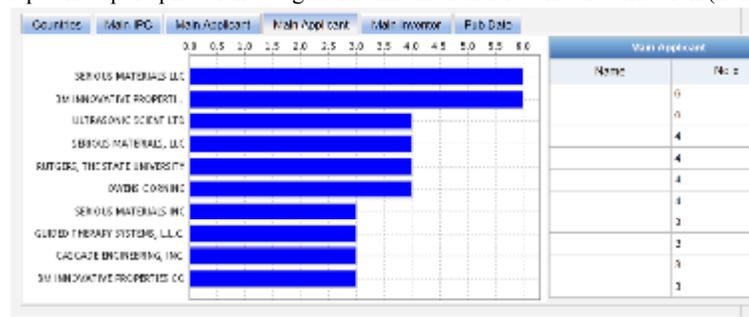
Figura 31. Clasificación de las patentes según The International Patent Classification (IPC)



Fuente: OMPI. Sitio web: <http://www.wipo.int/portal/es/>

La Figura 32 muestra que el primer lugar de las patentes es para el área de materiales concretos aplicados en aislamiento acústico, muros y techos. En el tercer puesto está el desarrollo de patentes relacionadas con las medidas de los materiales acústicos por medio de resonancia de ultrasonido. Y en el cuarto, las patentes relacionadas con estudios físicos y químicos de algunos materiales con aplicaciones acústicas a nivel molecular.

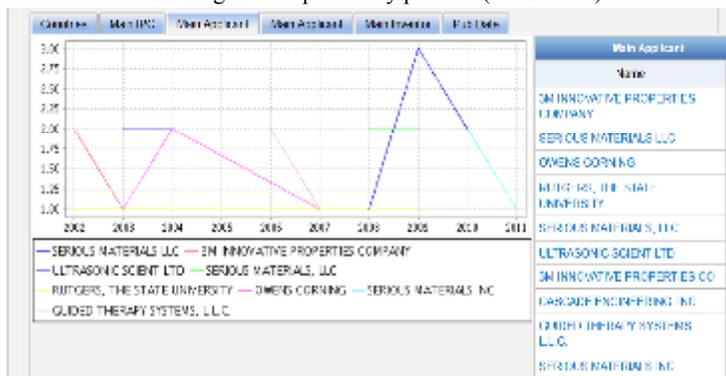
Figura 32. Clasificación de las patentes por aplicaciones según The International Patent Classification (IPC)



Fuente: OMPI. Sitio web: <http://www.wipo.int/portal/es/>

La Figura 33 muestra el crecimiento de las investigaciones por área y por año.

Figura 33. Aplicaciones y crecimiento de las investigaciones por área y por año (2002-2011)

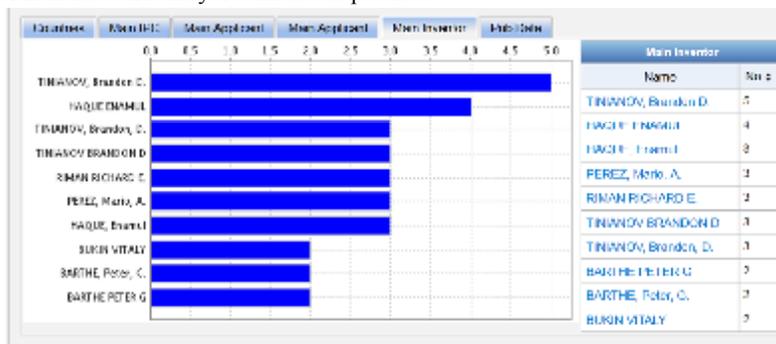


Fuente: OMPI. Sitio web: <http://www.wipo.int/portal/es/>

#### 4.6 Inventores

Como principal inventor, con cinco patentes aparece en la Figura 34 Brandon Tinianov –desarrollos en materiales acústicos, insonorización con amortiguación mejorada en la frecuencia seleccionada y métodos para la fabricación, entre otras–, seguido de Enamul Haque, con cuatro patentes –fabricación de polímeros con importantes aplicaciones en el control de ruido en vehículos y tres patentes sobre materiales y compuestos–; y en cuarto lugar está el mexicano Mario Pérez –desarrollos en microfibras, útiles en la caracterización de materiales–.

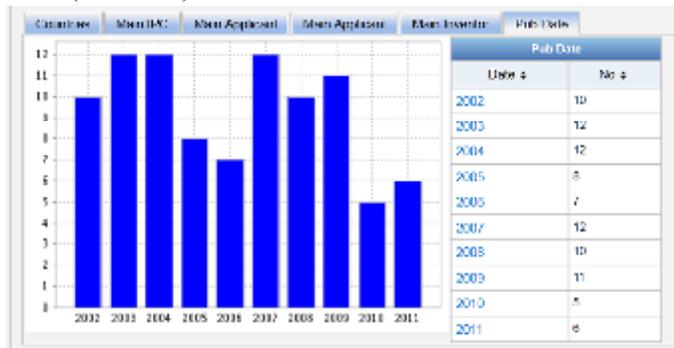
Figura 34. Inventores a nivel mundial con la mayor cantidad de patentes



Fuente: OMPI. Sitio web: <http://www.wipo.int/portal/es/>

La Figura 35 muestra las variables en el tiempo de los registros de patentes. En 2002 hubo un interés marcado en I + D de patentes, que creció y pasó, en 2003 y 2004, a la innovación en los materiales para el control de ruido de vehículos, y bajó entre 2005 y 2006. En 2007 y 2008 los registros de patentes subieron, debido a los nuevos desarrollos de estos materiales; y en 2010 bajaron, por la aparición de nuevas tecnologías para el control electrónico del ruido de espumas metálicas y polímeros, para terminar, en 2011, con la aparición de materiales de lana mineral fabricados a partir de materiales reciclables.

Figura 35. Registro de patentes por año (2002-2011)



Fuente: OMPI. Sitio web: <http://www.wipo.int/portal/es/>

#### 4.7 Conclusiones del análisis

En el análisis anterior se observa cómo en la mayoría de las bases de datos consultadas no se registra ningún tipo de producto académico ni investigativo acerca de la acústica en nuestro país; y el panorama es el mismo cuando analizamos búsqueda de patentes que tengan que ver con dispositivos acústicos. La escasa infraestructura de laboratorios y centros de investigación reduce la productividad de las diferentes empresas dedicadas al diseño y modelamiento de dispositivos, y las empresas existentes deben caracterizar los productos en otros países; todo esto dificulta los procesos de innovación en el campo.

Como puede evidenciarse, Colombia no tiene una trayectoria visible en el área de la acústica, pues apenas se está comenzando en el proceso. Con este tipo de investigaciones se trata de demostrar la necesidad de fortalecer los diferentes laboratorios en las universidades y la creación de nuevos pregrados y redes de investigación que cubran los requerimientos de mediciones, normas y regulaciones acústicas, sobre todo en el tema de control de ruido.

## 5 Principales componentes que intervienen en el modelo del Centro. Hallazgos y modelos existentes

El objetivo fundamental de los centros de I + D para nuevos materiales y dispositivos acústicos serán las innovaciones en productos y servicios, así como los procesos de fabricación, esenciales para las empresas. En este caso, no se trata solo de centros de metrología acústica pasivos, sino que, además, deben generar nuevo conocimiento y nuevos productos. El modelo de sistemas dinámicos que se adopta en este caso enlaza, relacionándolos, el ciclo de innovación de productos del centro de I + D con el ciclo de innovación del proceso de fabricación, y permite el análisis de las consecuencias dinámicas de diferentes actividades de la gestión de innovación. Se utiliza el análisis a largo plazo y una forma dinámica en la toma de decisiones para sustituir los métodos estáticos de los centros de I + D y los laboratorios existentes; en consecuencia, el pensamiento sistémico sustituye el pensamiento lineal que han tenido la mayoría de estos. Este sistema de pensamiento se basa en el hecho de que la importancia del bucle de realimentación dominante genera cambios relativos, dependiendo del tiempo y las condiciones (Choi y Kim, 2008).

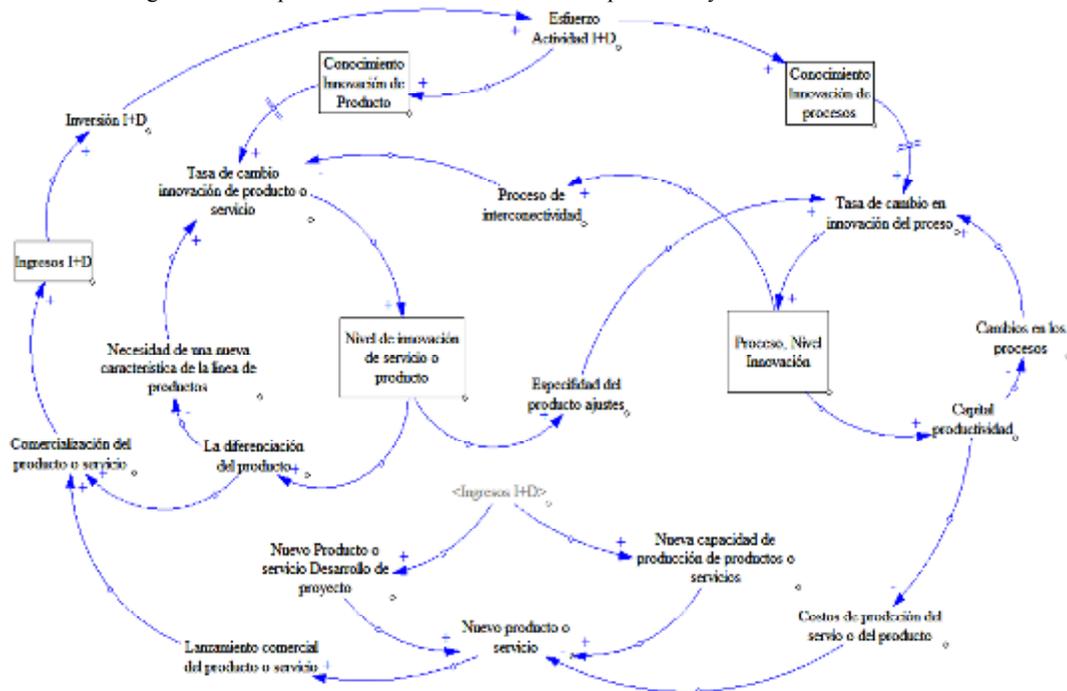
En consecuencia, la metodología de dinámica de sistemas es una herramienta prospectiva fundamental que ayuda al análisis del comportamiento dinámico en la generación de productos y nuevo conocimiento en los centros de I + D, con el fin de tomar decisiones acertadas para la asignación de los recursos de la innovación tecnológica. Además, en este análisis dinámico se proporciona información significativa a los operadores y las políticas tecnológicas mediante la selección de una cartera de inversión y las variables controlables para la optimización de los beneficios del centro I + D, prestándoles un servicio completo y avanzado a las empresas del sector –en este caso, de acústica–.

El modelo de innovación tecnológica de los centros de I + D con enfoque dinámico se basa en la relación de causa y efecto. En general, la empresa o universidad se apropia de los presupuestos de inversión según la intensidad de la I + D, sobre la base de las ganancias acumuladas. Con este enfoque, los centros apoyarían las empresas y tendrían autofinanciamiento y autosostenibilidad, ya que con la prestación de servicios de metrología y generación de nuevos productos y servicios se libraría la inversión, a largo plazo, de la infraestructura y de los equipos de laboratorio.

La empresa aumenta los recursos de I + D; así, los recursos humanos y materiales estarían enlazados con el centro, pues se asigna un presupuesto para los proyectos, lo que podría conducir a la innovación tecnológica. Dichos recursos se destinan a la innovación de productos y procesos, elevando así las existencias de conocimiento innovador que conduzca a la innovación de estos productos y procesos. En este contexto se aumentaría el índice actual de las patentes que, de hecho, son muy pocas en el área de los materiales acústicos.

En este modelo, como se muestra en la Figura 36, se calcula la esperanza de vida de los conocimientos en las acciones de I + D de la empresa, a partir del ciclo de vida de la tecnología y la duración de las existencias de conocimiento de las industrias relacionadas, con antelación para el año que comienza, teniendo en cuenta el promedio anual del aumento de la inversión en I + D y la obsolescencia de conocimiento dentro de un período, así como el retardo de tiempo fijo para la I + D; por eso, el análisis se lleva a cabo mediante la función de “retardo fijo” en la simulación de dinámica de sistemas.

Figura 36. Modelo del diagrama causal para un centro de I + D de nuevos productos y servicios



Fuente: K. Choi y S. W. Kim (2008). From R&D to commercialization: A system dynamic approach. *Asian Journal on Quality*, 9(3), 123-144.

Para lograr la competencia global es fundamental que una empresa tenga un portafolio de diversos productos y el tiempo para comercializarlos. Una empresa debe ser lo más expedita posible en la presentación de nuevos productos que se caractericen por su diversa funcionalidad, la alta calidad y el bajo precio, y, además, que tengan una visión ecológica; también debe tener la capacidad de producir una cantidad masiva de ellos; este es el camino hacia el éxito en los negocios (Ford y Sterman, 1998; Lundvall, 1992). Por lo tanto, los factores claves que determinan el éxito de una empresa –en este caso, un centro de I + D– son una cartera de productos con diversa configuración y la flexibilidad en las fases de producción.

Las investigaciones existentes sobre innovación tecnológica no le han prestado la suficiente atención a la interrelación entre las novedades que se encuentran en el proceso de innovación tecnológica de las empresas o los centros de I + D ni han hecho hincapié en la relación directa y unilateral que existe entre la inversión en este tipo de innovación y aquella que afecta los resultados económicos de una empresa. Este enfoque ofrece los mejores medios para la toma de decisiones mediante la comprensión de la relación implícita de la innovación tecnológica, y propone alternativas basadas en la innovación de servicios, procesos y productos.

En primer lugar el proceso dinámico de la innovación tecnológica se hace mediante el análisis de diferentes relaciones dinámicas con respecto a la innovación tecnológica existente y la modelación y cuantificación del sistema. En otras palabras, este enfoque investiga los elementos estructurales de la interacción de la innovación tecnológica y supera las limitaciones implícitas del modelo lineal a través de la presentación de la retroalimentación de la relación e interacción entre los componentes estructurales.

En segundo lugar muestra el proceso cíclico con respecto a la inversión en I + D, la innovación tecnológica, la generación de ganancias y la reinversión. Las investigaciones existentes solo han explicado las inversiones en I + D en relación con el crecimiento de una empresa o la innovación

tecnológica y la generación de beneficios mediante un enfoque parcial y estático; sin embargo, en lo que respecta a la innovación tecnológica, la investigación analiza la I + D, la innovación tecnológica y la generación de beneficios dentro de un enfoque integral y dinámico.

En tercer lugar las políticas de innovación en las empresas están en conformidad con las normas colombianas del SNI. Hasta ahora, en sus políticas de inversiones, las empresas han hecho esfuerzos constantes para la innovación de productos, con el fin de maximizar los beneficios en el corto plazo, y han dejado a un lado la innovación tecnológica –en productos, procesos y servicios–, que son parámetros fundamentales de toda institución. Por lo tanto el modelo propuesto sugiere un mecanismo para la toma de decisiones de inversión en el aspecto dinámico, a mediano y largo plazo, según sea la situación de la empresa o universidad y la estructura del mercado.

En cuarto lugar la propuesta intenta cuantificar el intervalo del ciclo de vida de I + D y del desarrollo de los productos (Choi y Kim, 2008: 12-18). En este modelo no todo es bueno, ya que el intervalo es definido arbitrariamente, lo que dificulta la medición precisa de cada parámetro; además, aunque se puede llevar a cabo un análisis de sensibilidad multivariante para cada uno, puede haber errores en la configuración de la simulación de sensibilidad y, por lo tanto, requiere de un análisis más objetivo y detallado de los datos, con el fin de comprobar la validez del modelo para cada empresa o universidad. Cabe señalar que este modelo podría presentar diferentes resultados cuando se aplica a otra industria o a diferentes procesos innovadores; así, las futuras investigaciones deben preparar una estrategia adicional para las diferentes instituciones, basada en la teoría de la innovación tecnológica. La investigación debe incorporar más datos sobre el comportamiento de los consumidores en el proceso de venta de materiales acústicos, desde la presentación de un nuevo producto de innovación tecnológica –para la compra por parte de los clientes–, hasta la reinversión en I + D con los beneficios obtenidos. Aunque la innovación tecnológica hace énfasis en productos superiores y más baratos que los existentes, en términos de función y la calidad, el proceso de introducción de un nuevo producto, desde el punto de vista del cliente, abre las puertas para otro tema de investigación.

### **5.1 Modelo matemático para medir la productividad de un centro de I + D y de laboratorios**

El objetivo de este modelo es medir el rendimiento de los laboratorios dedicados a la I + D. Para facilitar la identificación de cuáles son los más y los menos productivos, con este modelo se pueden hacer análisis y autocríticas acerca de qué tan productivos son los laboratorios –en este caso, los acústicos–; además, los resultados sirven para respaldar las políticas de una organización y planear eficientemente la financiación de la investigación, ya sea pública o privada.

El principal resultado del sistema de investigación es el conocimiento, que puede presentarse en diversas formas: información en artículos y libros, prototipos innovadores, patentes, conocimientos técnicos, consultorías o entrenamiento de personal. Esta salida se produce por la investigación, con fondos emitidos por el gobierno o adquiridos en el mercado, y se invierte en diversas formas: creación de laboratorios, compra de equipos especializados, libros, revistas y bases de datos, entre otras.

Sea cual sea la orientación el conocimiento es producido por los laboratorios de investigación, que hoy en día tienen, en caso de ser públicas, obligaciones con las entidades del gobierno para el aumento de la eficiencia.

De hecho, el Reino Unido –entre otros países– ha establecido una comisión para analizar la eficacia de las instituciones universitarias. Este informe, conocido como el reporte Jarratt, recomienda una serie de

aspectos para mejorar la gestión de la llamada “revolución científico-académica”, a través de las siguientes directrices:

- Un enfoque integrado para la toma de decisiones.
- El desarrollo y uso de una serie de indicadores de rendimiento, teniendo en cuenta las entradas y salidas, con el fin de mejorar la eficiencia y permitir la comparación entre los diversos institutos científicos; o sea que matemáticamente es posible decir lo siguiente:
  - Resultados de la investigación de laboratorio =  $f(\text{personas, bienes, organización})$ .
  - El laboratorio de investigación no se identifica por la suma de los tres elementos anteriores, sino que es el resultado de su combinación, según ciertas reglas que hacen las leyes del sistema organizativo.

### 5.1.1 Verificación y evaluación del modelo

¿Cómo es posible distinguir los institutos con alta productividad y las personas con baja productividad? ¿Cómo puede medirse el rendimiento sistémico en un laboratorio? ¿Se puede medir? ¿Cómo pueden agruparse los indicadores de productividad científica? Estas preguntas pueden resolverse a través de un modelado matemático aplicado a los institutos de investigación.

La literatura existente sobre la evaluación de los laboratorios de investigación se basa en gran parte en análisis bibliométricos y tecnométricos. Los indicadores bibliométrico y tecnométrico no cuentan con los argumentos disponibles para medir las actividades de producción científica: son solo datos estadísticos estáticos; además, la evaluación debe tener en cuenta la actividad tácita –que puede compararse con la parte sumergida de un iceberg–, es decir, que no es visible, aunque sí muy importante. Esta propuesta de modelo matemático, creada por el científico italiano Mario Coccia (1999), plantea que los organismos de investigación o los laboratorios son entidades que funcionan dentro de un sistema macro representado por una organización de gran tamaño –por ejemplo, los laboratorios de investigación pública de I + D–, que a su vez son parte de un sistema aún más grande, y son manejados por funcionarios y proyectados a mediano y largo plazo.

Un *sistema* es un conjunto formado por elementos materiales e inmateriales que interactúan y se coordinan entre sí, con el fin de alcanzar un objetivo común. Los organismos de investigación son *sistemas particulares*, configurados y ejecutados por personas que desarrollan un proceso de investigación científica, utilizando principalmente recursos asignados por el Estado o la sociedad. La investigación y los laboratorios, al igual que las empresas de fabricación, pueden considerarse *sistemas abiertos*, ya que intercambian energía, materiales, información, etc. con el ambiente –que está por fuera del sistema–, generando retroalimentación e influenciados por su comportamiento pasado. Los centros de investigación establecen elementos que se conectan para llevar a cabo el proceso de producción científica que se genera como salida, es decir, el material de investigación, esencial para el aumento de la riqueza de las naciones (Coccia, 1999: 8). Según este autor, si tenemos en cuenta que los organismos de investigación de un sistema producen bienes y servicios en su entrada, y la producción –los procesos de la actividad científica– en su salida, es posible modelarlo matemáticamente con las siguientes definiciones:

$$S_{ors} = f(P, B, O \dots)$$

Donde:

$S_{ors}$  = sistema de los organismos de investigación científica

$P$  = personal de investigación

$B$  = activos o bienes

$O$  = organización

El sistema de investigación no se identifica por la suma de los tres componentes, sino que es el resultado de su combinación según ciertas reglas que forman el funcionamiento del sistema. La actividad del sistema se expresa en un proceso unitario en el que es posible identificar los procesos vinculados con aquellos que interactúan. La primera componente,  $P$ , (personal de investigación) es la más importante en las unidades de investigación, en razón a que está en la base de la dinámica cognitiva –los medios de creación y difusión del conocimiento– de los organismos de investigación hacia el exterior. El conocimiento nace a nivel individual y luego se amplifica y se multiplica dentro del sistema de una organización. A diferencia de las empresas, los organismos de investigación no solo crean conocimiento: también lo transfieren a un nivel macro hacia el mundo exterior, donde se convierte en conocimiento difuso para el desarrollo del sistema económico.

El componente  $B$  (activos o bienes) representa todos los recursos disponibles, con excepción de los humanos: laboratorios, bibliotecas, bases de datos y equipos de cómputo. Los medios son adquiridos por los organismos de investigación o las instituciones financieras, y son asignados por el Estado o las directivas de los laboratorios privados.

Por último, el componente  $O$  (organización) afecta tanto al personal ( $P$ ) como a los activos o bienes ( $B$ ), ya que representa el proceso en el cual las fuerzas económicas que actúan sobre el sistema establecen una relación con las operaciones que se llevarán a cabo para alcanzar los objetivos trazados.

El sistema de los órganos de investigación presenta los siguientes aspectos:

1. La entrada está formada por los recursos del sistema que generan los procesos cognitivos. En un laboratorio de investigación esto incluye el factor humano, la información, las ideas, los equipos, las bibliotecas, las estructuras y las fuentes de financiación. Si el laboratorio está en una empresa, el trabajo de investigación se lleva a cabo sobre la base de las peticiones específicas de comercialización, producción, divisiones de planificación, etcétera. Si es público, el trabajo se enfoca en proyectos de investigación básica independientes y comisiones recibidas de organismos externos públicos o privados. El proceso de producción de un organismo de investigación transforma la entrada en salida mediante la realización de proyectos de investigación, cursos de formación, actividades de servicio, etcétera.

2. Las salidas de los centros de investigación incluyen la publicación de libros, manuales, documentos, informes y proyectos, fórmulas, software e innovaciones como productos, procesos y patentes. Estas salidas convierten la transferencia del conocimiento al modo explícito, aunque algunos estudios muestran que los organismos de investigación, sobre todo los públicos, llevan a cabo dicha transferencia al modo tácito, a través de la formación interna y cursos externos. Por otro lado, gracias a la competencia y a la disponibilidad de equipos avanzados, los centros también ofrecen servicios innovadores como consultorías, homologación, acreditación, calibración y certificación, entre otros.

3. El sistema que absorbe la salida debe diferenciar entre una empresa privada y un organismo público de investigación. En el primer caso, se encarga principalmente de la producción y el *marketing* o de la administración de las empresas que forman parte del grupo. En el segundo, el destinatario de la transferencia es más generalizado, e incluye los usuarios que varían en función de si la salida es explícita o tácita; en el caso de esta última, los principales beneficiarios son las universidades interesadas en aumentar el nivel educativo para crear el capital humano que contribuya al desarrollo de un país (Coccia, 1999: 9).

El modelo es llamado por Coccia el *método relev* (*research laboratory evaluation*, evaluación de la investigación en el laboratorio) (1999: 11), y se basa en el hecho de que la actividad de cada unidad –el laboratorio de investigación– se mide por  $k$  índices ( $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$ ), que encajan matemáticamente en un espacio multidimensional gracias al vector de los valores ( $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$ ). Se utiliza una combinación lineal y se conforma una nueva variable,  $\Omega$ , que representa la puntuación de los resultados de los organismos evaluados, en este caso, los diferentes laboratorios del centro de I + D.

La función de combinación lineal toma la forma de la siguiente ecuación:

$$= i_1x_1 + i_2x_2 + i_3x_3 + \dots + i_kx_k$$

Donde:

$\Omega$  = valor de cada unidad (laboratorio)

$i_i$  = valor escalar

$X_i$  = índices ( $i = 1, 2, \dots, k$ )

## 5.2 Índices para medir las actividades de investigación

El rendimiento científico de los organismos de investigación se mide por una serie de siete índices que se agrupan en cuatro categorías, en donde se consideran todos los aspectos de la vida de los organismos o centros de I + D, los recursos financieros y los aspectos tecnológico y científico.

La medida de los índices financieros tiene dos aspectos: la dependencia de los organismos de investigación de las entidades externas y su capacidad de autofinanciación. Este último es también un indicador de la fuerza de transferencia tecnológica explícita. Los índices de transferencia tácita miden la capacidad de los organismos para transferir conocimientos de manera informal. Los índices bibliométricos miden la capacidad de los organismos para producir artículos científicos en la investigación básica y aplicada, tanto a nivel nacional como internacional. El índice tecnométrico muestra la capacidad de los organismos para generar productos por medio del desarrollo de patentes.

Estos índices se explican a continuación.<sup>9</sup>

### 5.2.1 Índices financieros

Los índices financieros son dos.

$\alpha_i$  (alfa). Es el índice de la dependencia financiera de los organismos de investigación. Muestra el volumen de los recursos financieros suministrados al laboratorio por el cuerpo central para llevar a cabo la investigación científica.

---

<sup>9</sup> A partir de este punto los términos “laboratorio” y “organismo de investigación” se usarán con el mismo significado.

Cada organismo recibe la financiación a través de transferencias de un organismo central. Con el fin de evaluar la dependencia de los organismos de investigación, las cantidades son divididas en cada laboratorio, teniendo en cuenta el personal investigador en el año.

El índice de la dependencia financiera en valor monetario tiene la siguiente fórmula:

$$\alpha_i = \frac{D_i}{P_i} \times 100$$

Donde:

$\alpha_i$  = índice de la dependencia financiera del organismo

$D_i = \sum_{j=1}^m$  suma del  $i$  – ésimo centro y el  $j$  – ésimo fondo o presupuesto del organismo central

$P_i =$  cantidad de personal investigador;  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$   
 $j = 1, 2, \dots, m$

$\beta_i$  (beta). Es el índice de autofinanciación (la medida de la transferencia tecnológica explícita). Este índice mide la capacidad del centro para localizar recursos externos, que es un indicador de la capacidad de transferencia tecnológica explícita.

La capacidad efectiva de los laboratorios de autofinanciación se evalúa por medio de los ingresos generados por las actividades de transferencia tecnológica divididos por la investigación del personal por año.

El índice de autofinanciación tiene la siguiente fórmula:

$$\beta_i = \frac{E_i}{P_i} \times 100$$

Donde:

$\beta_i$  = índice de autofinanciación – financiación del laboratorio

$E_i = \sum_{j=1}^m$  suma del  $i$  – ésimo centro y el  $j$  – ésimo ingresos derivados de la transferencia tecnológica y actividades externas

$P_i = \sum_{j=1}^m$  cantidad de investigadores en el  $i$  – ésimo centro;  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$   
 $j = 1, 2, \dots, m$

### 5.2.2 Índices de transferencia tácita

La transferencia tecnológica tácita representa aquellas actividades que las organizaciones a menudo subestiman porque son invisibles y difíciles de medir, pero que tienen la misma importancia que la transferencia tecnológica formal. La actividad se identifica con los siguientes indicadores:

- Número de personal en la formación de operación dentro de las instituciones
- Número de puestos para docentes/investigadores
- $X$  = índice de personal en formación (Coccia, 1999).

$X$  (equis). Índice de personal en formación

Este índice mide el número de prácticas en el laboratorio e indica, además, la capacidad de transferencia del conocimiento tácito a los beneficiarios –becas titulares, doctores, estudiantes de licenciatura, etc.–.

El índice de personal en formación se construye de la siguiente manera:

$$\chi_i = \frac{T_i}{P_i} \times 100$$

Donde:

$\chi_i$  = índice de transferencia tácito medido con el nivel de entrenamiento del  $i$  – ésimo laboratorio

$T_i = \sum_{i_i}$  cantidad de personal en entrenamiento del  $i$  – ésimo laboratorio

$P_i = \sum_{i_i}$  cantidad de personal involucrado en el  $i$  – ésimo laboratorio;  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$

$\delta$  (delta). Índice de la enseñanza impartida por los investigadores en instituciones externas. Este índice mide los cursos realizados por el personal de los laboratorios y, al igual que el anterior, muestra la capacidad de transferencia informal de conocimiento a través de actividades de enseñanza de los investigadores en instituciones externas –pregrados y posgrados universitarios, escuelas, etc.–.

La fórmula del índice se construye dividiendo el número de cursos realizados por el personal de investigación.

$$\delta_i = \frac{C_i}{P_i} \times 100$$

Donde:

$\delta_i$  = índice de transferencia tácita medida usando la enseñanza de cursos en el laboratorio

$C_i = \sum_{i_i}$  número de cursos realizados por investigadores por fuera del laboratorio

$P_i$  = cantidad de personal investigador en el  $i$  – ésimo laboratorio;  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$

### 5.2.3 Índices bibliométricos

Los índices bibliométricos son dos.

$\varepsilon$  (épsilon). Este índice calcula las publicaciones de un organismo en congresos nacionales así como los informes internos.

La fórmula se construye dividiendo el número de publicaciones por la cantidad de personal investigador.

$$\varepsilon_i = \frac{PN_i}{P_i} \times 100$$

Donde:

$\varepsilon_i$  = índice bibliométrico

$PN_i = \sum_{i_j}$  (sum) en el  $i$  – ésimo laboratorio de publicaciones nacionales

$P_i = \sum_{j=1, 2, \dots, m}$  cantidad de personal investigador del  $i$  – ésimo laboratorio;  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$

$\Phi$  (phi). Este índice calcula las publicaciones internacionales.

La fórmula se construye dividiendo el número de artículos publicados en revistas internacionales por la cantidad de personal investigador.

$$\phi_i = \frac{PIT_i}{P_i} \times 100$$

Donde:

$$\begin{aligned}
 & i_i = \text{índice de publicaciones internacionales por laboratorio} \\
 & PIT_i = \sum_{j=1}^m p_{ij} \text{ (sum) de publicaciones internacionales del } i \text{ - ésimo laboratorio} \\
 & p_{ij} = \text{cantidad de personal investigador del } i \text{ - ésimo laboratorio; } i \in \{1, 2, \dots, n\} \\
 & j = 1, 2, \dots, m
 \end{aligned}$$

#### 5.2.4 Índice tecnométrico

$\gamma$  (gamma). Este índice es la suma del número de patentes para las invenciones de los descubrimientos.

Se calcula de la siguiente forma:

$$i_i = BR_i$$

Donde:

$$\begin{aligned}
 & i_i = \text{índice tecnométrico} \\
 & BR_i = \sum_{j=1}^m b_{ij} \text{ (sum) en el } i \text{ - ésimo laboratorio y la } j \text{ - ésimas patentes; } i \in \{1, 2, \dots, n\} \\
 & j = 1, 2, \dots, m
 \end{aligned}$$

### 5.3 El método relev

Esta metodología evalúa el desempeño de los organismos de investigación –tema central de este trabajo– sobre la base de la medición de los índices que representan las principales actividades realizadas. Los siete índices descritos anteriormente se considerarán elementos de un conjunto asociado a un organismo de investigación (Coccia, 1999).

El modelo básico se describe a continuación y se mantiene bastante simple, con el fin de contener la subjetividad dentro de ciertos límites.

El modelo

$$\begin{aligned}
 & = \text{índice de financiación pública que se atribuye a los organismos de investigación} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) \\
 & = \text{índice de autofinanciación – financiamiento} = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n) \\
 & X = \text{índice de personal entrenado} = (X_1, X_2, \dots, X_n) \\
 & = \text{índice de actividades de enseñanza en la investigación} = (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n) \\
 & = \text{índice de publicaciones internas o nacionales – difusión} = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n) \\
 & = \text{índice de publicaciones internacionales} = (\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n) \\
 & Y = \text{índice tecnométrico basado en patentes} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)
 \end{aligned}$$

Sea  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$  el número de organismos de investigación; y sean las funciones  $A, B, X, \Delta, E, \Phi, \Gamma$ , que se igualan a los índices de evaluación descritos con sus respectivos elementos  $(\alpha_i, \beta_i, \chi_i, \delta_i, \varepsilon_i, \Phi_i, Y_i)$ . Toda esta expresión se iguala a la función de evaluación  $\Omega_{\text{relev}}$ , que modela los resultados de investigación de los laboratorios en la siguiente combinación lineal:

$$\Omega_{\text{relev}}(i) = 3 - \left(\frac{1}{\max. A}\right) \times \alpha_i + \left(\frac{1}{\max. B}\right) \times \beta_i + \left(\frac{1}{\max. X}\right) \times X_i + \left(\frac{1}{\max. \Delta}\right) \times \delta_i + \left(\frac{1}{\max. E}\right) \times \varepsilon_i + 2 \left(\frac{1}{\max. \Phi}\right) \times \Phi_i + (1 \text{ si } Y_i \geq 0; 0 \text{ si } Y_i = 0)$$

Si

$$\begin{aligned}x_1 &= (1/\max. A) \times i \\x_2 &= (1/\max. B) \times i \\x_7 &= (1 \text{ si } Y_i \geq 0; 0 \text{ si } Y_i = 0)\end{aligned}$$

Entonces,

$$i\text{relev}(i) = 3 - X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + 2X_6 + X_7$$

Con las siguientes propiedades:

Propiedad 1

$$\text{Si } i \in \{1, 2, \dots, n\} \text{ y } j \in \{1, 2, \dots, 7\}, X_j = i\text{relev}(i), \text{ entonces } X_j \in [0, 1]$$

Propiedad 2

$$\text{Si } i \in \{1, 2, \dots, n\} \text{ y } j \in \{1, 2, \dots, 7\}, X_j = i\text{relev}, \text{ entonces } i\text{relev}(i)\text{max.} = 10 \\ i\text{relev}(i)\text{min.} = 2$$

Propiedad 3

$$\text{Si } i \in \{1, 2, \dots, n\} \text{ y } j \in \{1, 2, \dots, 7\}; X_j, \text{ entonces } i\text{relev}(i)\text{average} = \text{max.} - \text{min.}/2$$

El modelo relev tiene la siguiente debilidad: casi todos los operadores poseen la misma ponderación en la función; debido a esto es necesario un segundo modelo relev para mejorar el primero. Este segundo modelo utiliza un análisis discriminante teniendo en cuenta todas las variables de salida. El modelo es denominado *método directo* y se basa en una función discriminante con valores estadísticamente hallados, así:

$$M = -5.178 + 1.389X_1 + 1.347X_2 + 1.007X_3 + 0.483X_4 - 0.00871X_5 \text{ (método directo)}$$

Donde:

- $X_1$  = autofinanciamiento
- $X_2$  = entrenamiento (por número de individuos)
- $X_3$  = enseñanza (número de cursos)
- $X_4$  = publicaciones internacionales (número)
- $X_5$  = publicaciones nacionales (número)

#### 5.4 Modelo conceptual interactivo del proceso de innovación y conocimiento

Según la NTC 58001, no existe una manera única de organizar los esfuerzos que se llevan a cabo en la innovación. Las capacidades dinámicas que subvierten las viejas formas de hacer negocios siempre son alimentadas por tres bloques de conocimiento, compuestos por los organismos existentes y perpetuamente renovadas con el conocimiento producido por la sociedad en general:

- El conocimiento tecnológico y científico
- El conocimiento de *marketing*
- El conocimiento organizacional

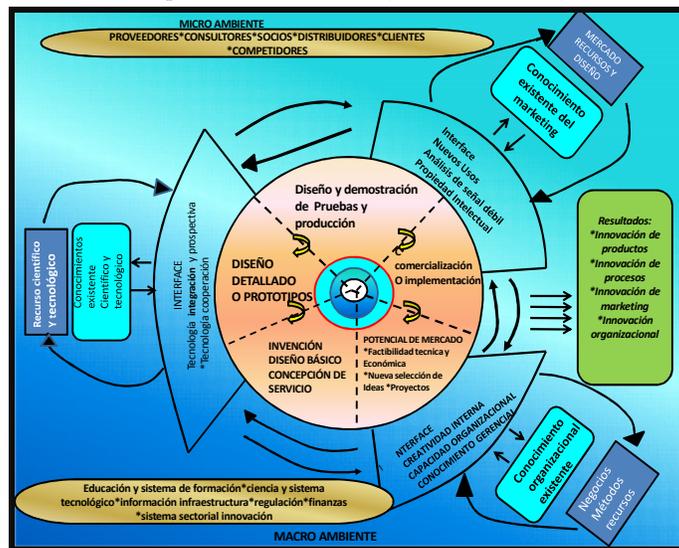
La gestión de la innovación depende de manera crítica de la creación y gestión de interfaces. El modelo conceptual interactivo propone la existencia de tres interfaces fundamentales para el control eficaz de los sistemas abiertos de innovación y de negocios. En este modelo, las interfaces representan la capacidad de comunicarse, y la comunicación es la clave para poner en marcha nuevos ciclos de aprendizaje.

Las interfaces están compuestas por los siguientes elementos:

- Conocimientos tecnológicos: la observación sistemática de los acontecimientos externos.
- Cooperación tecnológica: las alianzas con otras instituciones y organizaciones, con miras hacia el intercambio de información técnica y científica y el desarrollo conjunto de productos y procesos.
- La exploración tecnológica, el monitoreo y el pronóstico: la detección sistemática de oportunidades y los esfuerzos de investigaciones de futuros productos y servicios emergentes.
- Nuevos usuarios: observación y análisis de clientes potenciales y de nuevos mercados.
- Análisis de señal débil: la percepción especializada de los indicadores del cambio futuro.
- Propiedad intelectual: proteger, asimilar y difundir ideas.
- Creatividad interna: los procedimientos que aprovechan la conciencia estratégica de las oportunidades y las amenazas.
- Gobernabilidad favorable: la estructura organizacional que favorezca la innovación.
- Capacidad de organización: la concepción estratégica de las estructuras organizativas que favorezcan la innovación.
- Gestión del conocimiento: la generación, validación, codificación y difusión del conocimiento.

El núcleo de la Figura 37 muestra un conjunto de las rutinas innovadoras (Pavitt, 2002 ) que constituyen la fuerza endógena de la actividad de innovación económica. A este conjunto se le puede llamar *competencias básicas del proceso de innovación*. Así, el centro de la imagen muestra las actividades innovadoras básicas que están conectados en red entre sí mismas. Una vez más, se las puede llamar las rutinas innovadoras que conforman el núcleo de competencias detrás del proceso de innovación.

Figura 37. Modelo conceptual interactivo del proceso de innovación y conocimiento



Fuente: J. Caraça, J. L. Ferreira y S. Mendonça (2007). A chain-interactive innovation model for the learning economy: Prelude for a proposal. Universidad de Lisboa, Department of Economics, School of Economics and Management.

La siguiente es una explicación de las divisiones del núcleo central de la figura:

- Mercado potencial: la fase de identificación de las oportunidades para hacer nuevos negocios, la selección de ideas y proyectos de innovación, el estudio de viabilidad técnica y económica de la invención, y el diseño básico o concepción del servicio. Los proyectos de innovación pueden tener su origen en esta última fase; el diseño básico se aplica principalmente a los bienes, mientras que la concepción es aplicada principalmente a los servicios.
- El diseño detallado y los prototipos: la puesta a punto de la invención a través de la elaboración de detalles.
- Rediseño, demostraciones, pruebas y producción: la fase de adaptación de la innovación que causa los resultados de las demostraciones o pruebas.
- La comercialización o puesta en práctica: la comercialización de las mercancías en el mercado y la implementación de los servicios desarrollados.
- Los actores y las instituciones constituyen el entorno que rodea a la empresa innovadora: se pueden clasificar de la siguiente manera:
  - Macroentorno: conjunto complejo de factores en la evolución, que afectan indirectamente la probabilidad de un éxito técnico y la rentabilidad comercial de la innovación –por ejemplo, la educación–.
  - Sistema e infraestructura pública de la investigación.
  - Microambiente: elementos estrechamente relacionados, que interactúan directamente en los procesos innovadores de una empresa –por ejemplo, la comunicación entre proveedores, competidores y clientes–.

El proceso de innovación genera los siguientes resultados:

- Innovación de los productos y servicios: ya sean nuevos o mejorados de manera significativa.
- Innovación de los procesos: en los métodos de producción; también incluye la introducción de nuevos procesos y la mejora significativa de los actuales.
- *Marketing* de la innovación: cambios fundamentales o incrementales en las formas de operar el diseño de productos, el embalaje, la colocación en el mercado, las promociones y los precios.
- Innovación organizativa: cambios fundamentales o graduales en la estructura –por ejemplo, la organización del trabajo y las alianzas externas– y la estrategia de la empresa en la organización del trabajo productivo–por ejemplo, las prácticas de negocios–.

## 5.5 Modelo de servicios del Centro

En la actualidad, el sector de los servicios es el más importante y el de más rápido crecimiento en el sector empresarial de los países desarrollados. Sin embargo, hace falta una base conceptual para estructurar la ciencia y la innovación de los servicios. Para ello se ha creado un modelo basado en la teoría general de sistemas, cuya estructura principal está constituida por la entrada, el rendimiento y la salida, e incluye un bucle de realimentación y algunos aspectos ambientales. Este modelo describe los aspectos relevantes para la generación y explotación de innovaciones en los servicios.

Para hablar de innovación de servicios es importante conocer su significado. El servicio puede ser considerado como un producto que no es un bien; por lo tanto, los expertos definen el servicio basados en las características que lo diferencian de los bienes. Estas características son: saber, intangibilidad, heterogeneidad, inseparabilidad, perecibilidad y falta de propiedad; sin embargo, un servicio es una utilidad de la aplicación de competencias –es decir, de conocimientos y habilidades– para proporcionar un beneficio en otra entidad.

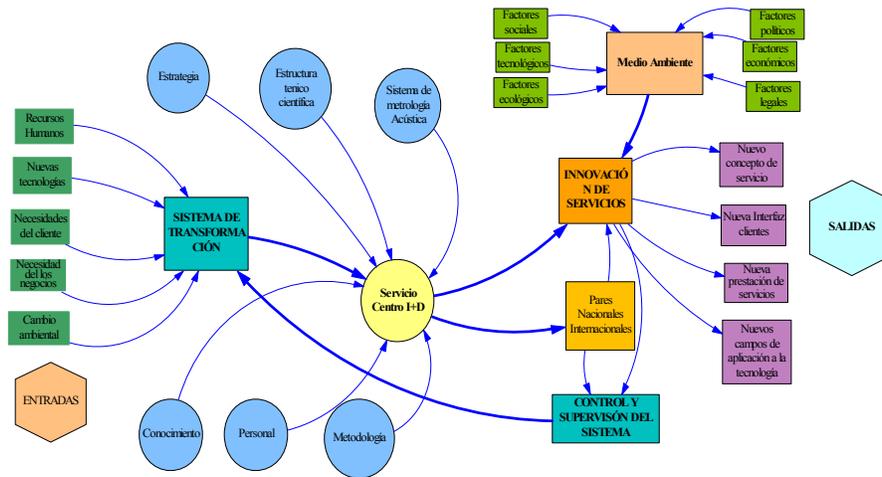
El propósito de un servicio es lograr la creación de valor a través de la integración de los clientes como coproductores. Por lo tanto, el servicio es un activo intangible creado e intercambiado en el mismo momento entre un proveedor –o un sistema de proveedores– y un consumidor, para satisfacer sus necesidades –por ejemplo, la atención al cliente–. La individualidad de las necesidades de cada consumidor determina la heterogeneidad o la variabilidad de un servicio.

Teniendo en cuenta estas definiciones, el término *innovación del servicio* comprende los servicios nuevos y las mejoras en los actuales, al igual que las actividades creativas necesarias para desarrollarlos. En otras palabras, es la generación, diseño y explotación de los activos intangibles, así como los activos creados e intercambiados entre un proveedor y un consumidor en el mismo momento, para satisfacer las necesidades individuales del último.

El modelo general del sistema consiste en dos o más subsistemas, la transformación de una o varias entradas en una sola, y la adición de salidas a través de la interacción entre los subsistemas.

La Figura 38 muestra un ejemplo de la transformación en la innovación del servicio, construida a partir de un sistema con una entrada, el proceso y una salida, y está encerrado por un medioambiente.

Figura 38. Sistema de servicios del Centro



Fuente: elaboración del autor.

Esta retroalimentación es un insumo necesario para la evaluación del desempeño de los sistemas. Por lo tanto, la innovación de los servicios tiene cinco categorías dependientes. Las partes del modelo son las siguientes:

#### Entrada

En primer lugar es necesario confiar en la visión del mercado y cuáles son los servicios que requiere el cliente interesado en mediciones acústicas. Para esto se necesitan unos recursos que definen la competitividad del servicio, con el fin de poder emprender la I + D. Como el servicio es un bien intangible, los recursos humanos son considerados su principal fuente de innovación. El proveedor de servicios puede detectar posibilidades técnicas para explorar posibles fuentes de nuevos servicios o confiar en la extracción de las necesidades del cliente a partir de sus peticiones.

Desde una perspectiva más abstracta, estos dos enfoques complementarios definen la gama completa de las opciones y las necesidades externas que atraerán a los clientes. Las condiciones del negocio deben tenerse en cuenta, ya que representan el punto de inflexión interno para desarrollar innovaciones atractivas. Finalmente, hay una fuente adicional que impulsa la innovación de servicios y que, a menudo, es descuidada: los efectos al medioambiente; por lo tanto, los cambios ambientales se incluyen como una entrada.

#### Salida

Un servicio innovador es un concepto nuevo de él mismo. Por esta razón, las salidas deben incluir la búsqueda de nuevos clientes o una nueva interfaz de ellos, un sistema inédito de entrega o la creación de campos de aplicación de la tecnología, y un sistema impulsador para el desarrollo de nuevos productos y materiales acústicos.

#### Sistema de transformación

Este sistema es el más desafiante. Como ya se explicó, la innovación de servicios comprende la cocreación entre un prestador de estos y un cliente, aunque estos no son los únicos que se integran a él para crear valor; desde una perspectiva más amplia, otros grupos de interés podrían identificarse. Y por el

lado de los proveedores, otros estamentos u organizaciones como universidades y centros de investigación podrían participar.

Por lo tanto, el sistema de transformación representa el aspecto de la integración de los socios de forma explícita, y es una parte esencial de la innovación de servicios. Además, la empresa innovadora de servicios se representa como una parte del sistema de transformación. Este método se concentra explícitamente en el hardware de las organizaciones, la estrategia y su estructura, así como en el software, el estilo, los sistemas, y el personal y sus habilidades.

En resumen, el sistema de transformación consiste en una empresa de servicios innovadora que se relaciona con los socios –clientes, proveedores– a través de la creación de valor.

#### Realimentación

Esta fase representa el monitoreo y el control de la eficiencia y la eficacia de todo el sistema. Además de supervisar la transformación propia de este, la salida generada debe ser evaluada en sus varias etapas de innovación de los servicios durante las fases de desarrollo, ya que es fundamental para el éxito. En general, la evaluación de los servicios tiene que cumplir tres objetivos: tener un proceso de vigilancia y realimentación en la calidad del servicio; que la calidad del servicio sea medible, con el fin de permanecer en altos niveles de calidad; y debe acatar las normas internacionales y contar con las debidas certificaciones. La evaluación tiene que servir de base para la toma de decisiones de la empresa y ayudarla a ubicarse el rankin lo suficientemente arriba, para aumentar la asignación de recursos; por lo tanto, el bucle de realimentación se considera una parte vital de toda la investigación.

#### Medioambiente

El medioambiente que rodea el sistema de transformación puede ser subdividido en diferentes factores de influencia: político, económico, social, tecnológico, ecológico y jurídico.

## 6 Diseño del modelo teórico del Centro

### 6.1 Estructura organizacional del modelo del Centro

A continuación se describen las fases y la estructura contenidas en las NTC y se proponen los objetivos y las funciones, los responsables y la documentación de cada una de las unidades que componen el Centro. Finalmente se presenta el modelo con su diagrama causal.

Es pertinente darle crédito al texto *Guía práctica para abordar la innovación y su gestión en las empresas de sector de la edificación residencial* de A. M. G. Ruiz, G. V. Azkue y A. G. Díez (2008), en el que se basó la estructura organizacional del Centro.

#### 6.1.1 Generalidades

##### Objetivo

- Documentar, implantar y mantener un sistema de gestión de I + D + i orientado hacia el área de la acústica y enfocado en el desarrollo de nuevas líneas de investigación.

##### Funciones

- Identificar las actividades de I + D + i que puedan fortalecer el área de la acústica.
- Determinar la secuencia e interacción de estas actividades.
- Determinar los métodos y criterios necesarios para asegurar la ejecución y el control de los procesos.
- Asegurar la disponibilidad de recursos económicos y de infraestructura –por ejemplo, la dotación de laboratorios especializados en metrología acústica–, y vigilar su estado.
- Trabajar para alcanzar los resultados planificados y superarlos, y concretar la metodología del modelo de traslación y traducción del conocimiento (*know transfer*, KT) descrito.
- Establecer y documentar los mecanismos de protección y explotación de los resultados, y definir y poner en marcha las políticas de propiedad intelectual.

##### Responsables

- El personal directivo
- La unidad de gestión de I + D + i
- El personal encargado de las áreas funcionales y de los procesos

##### Documentación

- ISO 9001. Requisitos del Sistema de Gestión de la Calidad
- NTC-5801. Requisitos del Sistema de Gestión de la Innovación
- NTC-5803. Requisitos de un Proyecto de Innovación

La Figura 39 muestra el mapa de procesos propuesto por Ruiz, Azkue y Díez (2008).

Figura 39. Mapa de procesos para el Centro



Fuente: A. M. G. Ruiz, G. V. Azkue y A. G. Díez (2008). *Guía práctica para abordar la innovación y su gestión en las empresas de sector de la edificación residencial*.

### 6.1.2 Documentación

El sistema necesita de los siguientes documentos:

- Declaración documentada de las políticas y los objetivos de innovación.
- Procedimientos documentados requeridos por las normas técnicas y aquellos otros que sean necesarios para la organización en cuestión, según su tamaño y complejidad, para asegurarse de la planificación eficaz, la operación y el control de las actividades de innovación.
- Instrucciones de trabajo y complemento a los procedimientos.
- Descripción de los proyectos de innovación que incluya cuáles son las investigaciones principales para el desarrollo de nuevos materiales acústicos.
- Registros de los procedimientos y las instrucciones de trabajo. Estos pueden guardarse en papel o soporte informático, según lo fije la empresa o universidad,<sup>10</sup> y estar en conformidad con las normas de calidad y los siguientes objetivos del centro de investigación:
  - Definir la política y los objetivos de innovación en el área de la acústica.
  - Definir los procesos de innovación y su control, plasmándolos en los diferentes procedimientos y documentos del sistema.

### Responsables

- El personal directivo
- El personal de la unidad de gestión de la innovación
- El personal administrativo encargado de los procesos institucionales

<sup>10</sup> A partir de este punto se seguirá usando el término “institución” para referirse simultáneamente a los términos “universidad” y “empresa”.

## Documentación

- NTC 5801. “Requisitos del Sistema de Gestión de la Innovación”
- UNE-EN ISO 9001. “Requisitos del Sistema de Gestión de la Calidad”

### 6.1.3 Control de los documentos

#### Objetivo

- Realizar los procedimientos de control e implantarlos

#### Funciones

- Identificar, revisar y aprobar los documentos
- Identificar el estado de revisión de los documentos
- Actualizar los documentos cuando sea necesario y aprobarlos
- Controlar los documentos obsoletos

#### Responsables

- El centro de investigación de la institución
- El personal de la unidad de gestión de la innovación

## Documentación

- Políticas de innovación y documentación del departamento de investigación de la institución.
- Documentación del control de actividades y del sistema de gestión de la innovación.
- Formatos normalizados para la recolección de datos y las bitácoras de las reuniones.
- Especificaciones de planos y diseños.
- Normas de origen externo y reglamentación aplicable –en caso necesario–.

### 6.1.4 Control de los registros

#### Objetivo

- Establecer e implementar un procedimiento documental para el control de los registros, que proporcione evidencias de la conformidad con estos y de la eficacia de la operación.

Los documentos se deben identificar, recoger, codificar, archivar, recuperar, proteger y mantener, y aquellos que sean obsoletos deben ser destruidos, con independencia del soporte que sea utilizado.

#### Responsables

- El personal directivo del sistema de gestión de la innovación
- El personal de la unidad de gestión de la innovación

### 6.1.5 Responsabilidad del personal directivo

#### Objetivo

- Evidenciar su compromiso con el desarrollo, la implantación y la mejora del sistema de gestión de la innovación.

#### Funciones

- Comunicar a la institución la importancia de las actividades de innovación
- Establecer las políticas y los objetivos del sistema
- Llevar a cabo las revisiones pertinentes
- Crear la unidad de gestión de I + D + i y, cuando proceda, la unidad de I + D + i
- Asegurar la disponibilidad de los recursos necesarios
- Aprobar y revisar los presupuestos de innovación
- Establecer las políticas de protección y explotación de los resultados obtenidos en la innovación

#### Responsable

- El personal directivo

#### Documentación

- El plan de negocios y servicios de la institución
- Las políticas de protección y explotación de los resultados obtenidos en la innovación

### 6.1.6 Enfoque a las partes interesadas

#### Objetivo

- Asegurar el análisis de las necesidades y expectativas de las partes interesadas en el proceso de innovación, teniendo en cuenta que estas pueden ser externas –clientes, accionistas, colaboradores, etc.– o internas –personal o áreas de la misma institución–.

#### Funciones

- Considerar y analizar las demandas de las partes interesadas –externas o internas– en el proceso de innovación.
- Estar atentos a los cambios tecnológicos e innovaciones requeridas por el mercado, particularmente en las áreas del control de ruido acústico y de nuevos materiales.
- Estar atentos a las exigencias legales y reglamentarias actuales y futuras en el área de la acústica.
- Desarrollar estudios prospectivos de nuevos materiales acústicos.
- Dar a los clientes la oportunidad de solicitar demandas específicas de innovación, aprovechando las encuestas de satisfacción, y de pedir prestación de servicios en metrología.

#### Responsables

- El personal directivo
- El personal de la unidad de gestión de la innovación

#### Documentación

- Información de los estudios de prospectiva tecnológica –las innovaciones y los cambios tecnológicos requeridos por el mercado–
- Información de la vigilancia tecnológica
- Fomento de la creatividad
- Información de los clientes
- Estudios de mercados
- Análisis DOFA (debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas)
- Definición de los productos

- Servicios de metrología acústica, normas acústicas y políticas de control de ruido
- Introducción de nuevas leyes o requisitos reglamentarios

#### 6.1.7 Políticas de innovación

##### Objetivo

- Definir las políticas de innovación y ser coherentes con los lineamientos de la institución

##### Funciones

- Programar reuniones de trabajo por parte del personal directivo, para definir o revisar las políticas de innovación.
- Las políticas deben adecuarse a los propósitos de la institución y estar en conformidad con sus políticas –en este caso, las del ITM–, así:
  - Incluyendo el compromiso de mejorar la eficacia del sistema.
  - Proporcionando el marco de referencia para establecer y revisar los objetivos de innovación.
  - Haciéndoles revisiones periódicas.

##### Responsables

- El personal directivo
- El personal de la unidad de gestión de la innovación

##### Documentación

- Estudios de prospectiva tecnológica en nuevos materiales acústicos –en este caso, los de la metodología Delphi descrita anteriormente–
- Información de la vigilancia tecnológica
- Información de los clientes y empresas del sector
- Estudios de mercado de nuevos dispositivos y materiales acústicos
- Análisis de la competencia y fortalecimiento de las redes de colaboración
- Matriz DOFA y análisis estructural
- Definición de los productos
- Información de las demandas de los clientes y proveedores
- Información de los cambios tecnológicos e innovaciones que exige el mercado
- Exigencias legales y reglamentarias actuales y futuras en el área de la acústica

#### 6.1.8 Planificación

##### Objetivo

- Establecer los objetivos de la innovación. Estos deben ser coherentes con las políticas de la institución.

##### Funciones (para ser ejecutadas de manera periódica)

- Recopilar información de los estudios de previsión tecnológica y acondicionamiento de laboratorios
- Recopilar información de la vigilancia tecnológica
- Recoger información de los clientes

- Diseñar estudios de mercado
- Analizar la competencia
- Desarrollar la matriz DOFA y el análisis estructural de variables
- Definir los nuevos productos
- Recopilar información de los cambios tecnológicos e innovaciones que exige el mercado
- Definir las exigencias legales actuales y futuras en el área de la acústica

#### Responsables

- El personal directivo
- El personal de la unidad de gestión de I + D + i

#### Documentación

- Las políticas de innovación
- Las necesidades de la institución
- Las necesidades de los clientes
- Los estudios de previsión y vigilancia tecnológica, de creatividad interna, y análisis interno y externo

### 6.1.9 Planificación del sistema de gestión de la innovación

#### Objetivo

- Planificar el sistema de gestión de la innovación

#### Funciones

- Planificar estratégicamente las actividades de innovación
- Definir la unidad de gestión de I + D + i
- Definir la unidad de I + D + i
- Formar a las personas involucradas en las actividades de innovación
- Definir el sistema de gestión de la innovación
- Validar el sistema de gestión de la innovación
- Establecer los planes de control

#### Responsables

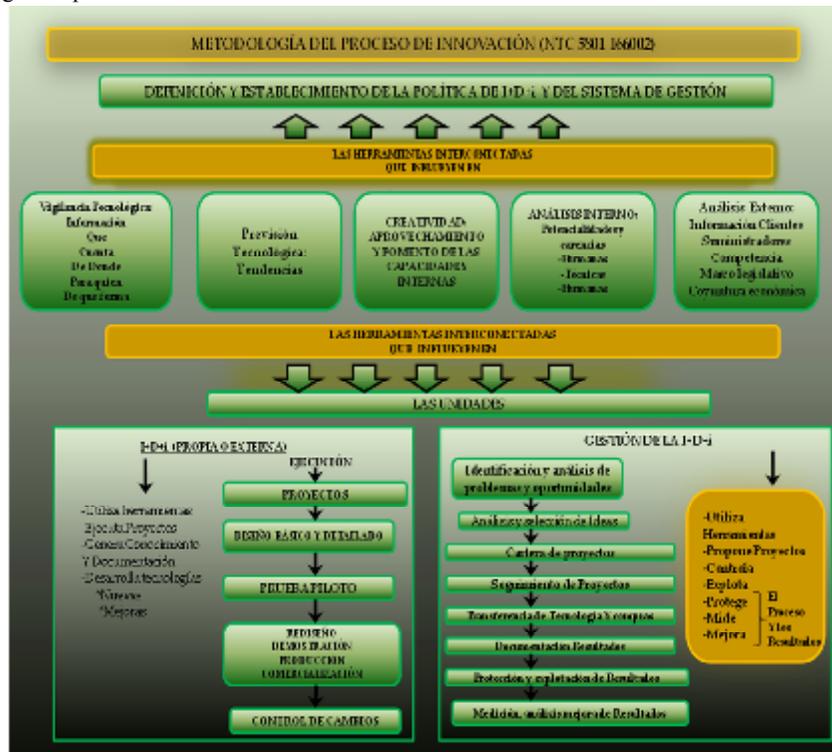
- El personal directivo
- Los encargados de las diferentes áreas funcionales

#### Documentación

- El plan del centro de investigación desarrollado por la institución
- Los diagramas de flujo
- Las técnicas de grupo

La Figura 40 muestra el proceso de innovación del Centro según las NTC y las normas UNE.

Figura 40. Metodología del proceso de innovación del Centro



Fuente: A. M. G. Ruiz, G. V. Azkue y A. G. Díez (2008). *Guía práctica para abordar la innovación y su gestión en las empresas de sector de la edificación residencial*.

## 6.2 Unidad de gestión de la innovación

### 6.2.1 Unidades de innovación

#### Objetivos

- Construir las estructuras de la unidad de gestión de la innovación y la unidad de innovación.
- Definir sus funciones y responsabilidades y asegurar su correcto funcionamiento, según los requisitos de las normas técnicas.
- Definir las funciones y responsabilidades de las dos unidades –la unidad de gestión de I + D + i y la unidad de I + D + i pueden ser una unidad única que realice las funciones de ambas–.

#### Funciones

##### Unidad de gestión de I + D + i

- Utilizar las siguientes herramientas de innovación: vigilancia tecnológica, previsión tecnológica, creatividad y análisis interno y externo
- Identificar y analizar los problemas y oportunidades
- Analizar y seleccionar ideas de innovación
- Encargarse de la planificación, seguimiento y control de la cartera de proyectos
- Realizar la transferencia de tecnología
- Realizar el seguimiento, el control y el procedimiento de la documentación de los resultados
- Realizar la protección y explotación de los resultados

- Realizar la medición, el análisis y las mejoras en los procesos

Unidad de innovación de I + D + i

- Utilizar las herramientas de innovación
- Ejecutar los proyectos de innovación
- Generar conocimiento
- Desarrollar nuevas tecnologías o mejorar las actuales

Responsable

- El personal directivo

Documentación

- NTC 5801. Requisitos para el sistema de gestión de innovación

## 6.2.2 Establecimiento y estructura de las unidades de innovación y de gestión

Objetivos

- Definir las responsabilidades y funciones de las unidades.
- Establecer la definición de su estructura, el grado de descentralización y las dependencias funcionales, entre otros, teniendo en cuenta dichas funciones y las características propias de las empresas del sector acústico.

Funciones

- Implantar la organización y las estructuras operacionales que permitan la gestión y ejecución adecuadas de los proyectos. Para cada proyecto se deberán considerar las siguientes necesidades:
  - Estructurar equipos flexibles que puedan adaptarse a proyectos de diverso tipo y tamaño.
  - Incorporar temporalmente a expertos externos o subcontratarlos de tiempo parcial o completo.
- Desarrollar las actividades en línea con la autoridad y responsabilidad establecidas con los equipos de proyecto, y de estos con otras unidades.
- Desarrollar las estructuras organizativas de las unidades.

Responsable

- El personal directivo

Documentación

- Descripción detallada de los diferentes procesos y de sus interrelaciones dentro de cada una de las unidades, manteniendo el nombre de los proyectos en marcha.

## 6.2.3 Representante de la dirección

Objetivo

- Designar un miembro de la dirección que con independencia de otras responsabilidades controle las actividades de innovación.

#### Funciones

- Asegurar que se establezcan, implanten y mantengan las actividades necesarias para el sistema de gestión de innovación.
- Informar al personal directivo sobre el desempeño del sistema y cualquier necesidad de mejora.

#### Responsable

- El personal directivo

#### Documentación

- Información de recursos humanos sobre el liderazgo y las competencias de los diferentes miembros del personal directivo.

### 6.2.4 Comunicación interna

#### Objetivo

- Asegurar que se establezcan los procesos de comunicación apropiados dentro de la organización, buscando una mayor eficacia del sistema.

#### Función

- Potenciar las herramientas de información interna.

#### Responsables

- El personal directivo
- Los integrantes de las unidades de innovación

#### Documentación

- Formatos de comunicación de diseño sencillo, que sean flexibles y abiertos a estos requisitos y distribuidos por la intranet

### 6.2.5 Revisión por el personal directivo

#### Objetivo

- Revisar el sistema de gestión de la innovación a intervalos definidos, para asegurarse de su conveniencia, adecuación y eficacia continua.

#### Funciones

- Programar reuniones para analizar la adecuación y eficacia del sistema de gestión de la innovación en toda la organización.
- Evaluar las oportunidades de mejora y la necesidad de hacer cambios en el sistema, incluyendo las políticas y los objetivos de I + D + i.

#### Documentación

- Resultados de las auditorías
- Retroalimentación de las partes interesadas
- Seguimiento y medición del proceso de I + D + i
- Información del seguimiento y medición de los resultados del proceso de I + D + i

- Seguimiento de las acciones correctivas y preventivas
- Seguimiento de las revisiones hechas por el personal directivo
- Cambios que podrían afectar al sistema de gestión de I + D + i
- Recomendaciones para las mejoras

#### Responsables

- El personal directivo
- El personal de la unidad de gestión de innovación
- El personal de la unidad de innovación

#### Documentación

- Toda la información necesaria para que el personal directivo pueda hacer la revisión del sistema de gestión.<sup>11</sup>

### 6.2.6 Gestión de los recursos

#### Objetivo

- Determinar y proporcionar los recursos necesarios para las siguientes gestiones:
  - Implantar y mantener la unidad de gestión de I + D + i y mejorar continuamente su eficacia.
  - Aumentar la satisfacción de las partes interesadas, dando respuesta a sus necesidades y expectativas.
  - Fomentar la cooperación con entidades externas que proporcionen conocimiento, metodologías, instrumentos y financiación.

#### Recursos

- Humanos: contratación, formación, sensibilización y motivación del personal –modelo de los tres planos de nivel organizacional–.
- Infraestructuras: edificios, instalaciones, equipos de medición, salas en condiciones acústicas óptimas y servicios de soporte correspondientes.
- Ambiente de trabajo: condiciones ambientales y de seguridad adecuadas.

#### Funciones

- Identificar las necesidades y prever aquellas que sean necesarias en el momento de implantar y mantener el sistema de gestión de la innovación.
- Considerar la posibilidad de buscar la cooperación de entidades externas, de forma que se obtenga una optimización de los recursos disponibles.

#### Responsable

- El personal directivo

---

<sup>11</sup> Las actas de revisión del sistema de gestión de calidad del ITM son un buen ejemplo, aunque los aspectos relacionados con la innovación no se tratan allí.

## Documentación

- El plan de negocio, incluyendo el presupuesto de la institución
- El plan de inversiones
- La planificación de las necesidades físicas y del personal

### 6.2.7 Recursos humanos

El personal que realiza y gestiona las actividades de I + D + i debe reunir los niveles de cualificación, formación y experiencia profesional apropiados que lo califiquen como competente para las actividades que tenga asignadas. La clave del éxito de la innovación es su habilidad para trabajar en equipo y su motivación para alcanzar resultados.

## Objetivos

- Promover la toma de conciencia acerca de la importancia de la innovación
- Impulsar la participación del personal
- Fomentar la creatividad y el trabajo en equipo
- Simplificar y facilitar los aportes de información de las distintas áreas funcionales
- Determinar las competencias necesarias para el personal que realiza y gestiona actividades de innovación

## Funciones

- Identificar las necesidades de competencias e impartir formación adecuada al personal, en el caso de detectar carencias. En este entorno, el reconocimiento del liderazgo es fundamental, pues logra un adecuado equipo de trabajo.
- Identificar las aptitudes, habilidades, conocimientos técnicos y experiencia del personal que se incorpora a la unidad de gestión de la innovación, al igual que su capacidad creativa, la habilidad para trabajar en equipo y comunicarse e interrelacionarse, el grado de interés y responsabilidad, y la capacidad de aprendizaje.
- Implantar en el sistema un cambio organizativo claramente orientado a la innovación, que demande una formación específica para los directivos y los integrantes de la unidad de gestión de I + D + i, en especial para su director.
- La dirección de la unidad de gestión de I + D + i, entre otras actividades, debe:
  - Concretar perfiles y seleccionar personal
  - Definir individualmente sus funciones y relaciones
  - Definir el programa de formación y entrenamiento
  - Establecer y mantener mecanismos de motivación
  - Establecer mecanismos de comunicación efectivos no burocráticos
  - Facilitar relaciones con los colaboradores externos
  - Estudiar e identificar mecanismos que fomenten la creatividad

## Responsables

- El director de la unidad de gestión de I + D + i
- La unidad de gestión e innovación

## Documentación

- Fichas de descripción de los puestos de trabajo relacionados con la innovación.
- Descripción de las competencias de los puestos de trabajo, comparados con los perfiles del personal.
- Mapa de conocimientos técnicos.
- Objetivos y planteamiento estratégico.
- Organigrama y definición de las funciones y perfiles de los puestos de trabajo de las unidades de innovación.

## 6.2.8 Infraestructura

### Objetivo

- Determinar, proporcionar y mantener la infraestructura necesaria para el proceso de innovación. La infraestructura incluye:
  - Edificios, espacio de trabajo y servicios asociados.
  - Equipos para realizar las actividades de I + D + i, cámara anecoica, tubo de impedancia acústica y salas de reverberación.

### Funciones

- Identificar la infraestructura necesaria para llevar a cabo las actividades planificadas de innovación.
- Elaborar un plan de mantenimiento para la infraestructura.
- Los costes derivados de la implantación y utilización de la infraestructura se establecen de forma que sea relativamente fácil su asignación y desglose por actividades o proyectos de innovación.

### Responsables

- El personal directivo
- La unidad de gestión de I + D + i

### Documentación

- Manuales de instrucciones de los equipos
- Plan de mantenimiento

## 6.2.9 Ambiente de trabajo

### Objetivo

- Determinar y gestionar las condiciones del entorno de trabajo necesarias para llevar a cabo las actividades de innovación.

### Funciones

- Determinar las condiciones ambientales y de seguridad que requieren las actividades de innovación.

### Responsable

- La unidad de gestión de I + D + i

## Documentación

- Manuales técnicos y procedimientos operativos que establezcan las condiciones de seguridad, los ambientes de trabajo y la normativa que es preciso cumplir para asegurar la conformidad de los productos y procesos.

## 6.3 Actividades de I + D + i

### 6.3.1 Herramientas

#### Objetivo

Sentar las bases que definan la posición estratégica de las actividades de I + D + i que ha de tomar la institución.

#### Funciones

- Establecer un proceso de vigilancia para realizar de manera sistemática las siguientes gestiones:
  - Capturar, analizar, difundir y explotar información útil para la institución.
  - Alertar sobre innovaciones externas que puedan crear oportunidades o amenazas en el sector. En este caso se debe realizar el proceso de vigilancia tecnológica, e implementar una red que se conecte con otros centros, formando un sistema de conocimiento colaborativo.

#### Responsables

- La unidad de transferencia
- La unidad de gestión de la innovación

#### Documentación

- Los datos obtenidos con los distintos sistemas de captura de información de la institución

### 6.3.2 Previsión

#### Objetivo

- Establecer un proceso sistemático para explorar e identificar los componentes probables de escenarios futuros, con el fin de identificar las tecnologías, productos, mercados emergentes y áreas de innovación necesarios para el desarrollo de la institución.

#### Funciones

- Conseguir información a través de los observatorios de prospectiva tecnológica
- Llevar a cabo técnicas de exploración y de aplicación de normas

#### Responsable

- La unidad de I + D + i

#### Documentación

- Los objetivos de previsión a través de los sistemas de información

### 6.3.3 Creatividad

#### Objetivo

- Presentar ideas que permitan solucionar un determinado problema

#### Función

- Crear unos entornos de trabajo organizado que estimulen el pensamiento creativo. Estos entornos se caracterizan por lo siguiente:
  - Ofrecen una cultura abierta a la innovación y facilitan la comunicación.
  - Disponen de equipos multidisciplinares para los proyectos –en este caso, ingenieros acústicos, ingenieros de sonido, físicos y arquitectos–.
  - Disponen de personas con formación en temáticas de creatividad y resolución de problemas, y utilizan técnicas como la del *brainstorming* (lluvia de ideas), el pensamiento lateral y los mapas mentales, entre otras.

#### Responsables

- El personal directivo
- La unidad de gestión de la innovación

#### Documentación

- Las técnicas y los resultados del *brainstorming*
- Los mapas mentales

### 6.3.4 Análisis interno y externo

#### Objetivos

- Para el análisis interno, establecer un sistema de comparación de la situación actual con la realidad exterior y de cómo la información fluye entre las diferentes partes de la institución.
- Para el análisis externo, establecer un sistema para valorar la importancia de las diferentes ideas innovadoras.

#### Funciones

##### Análisis interno

- Inventariar los recursos humanos y materiales susceptibles de uso en tareas de innovación; catalogar habilidades, conocimientos y potencialidades; analizar factores de éxito y fracaso de proyectos internos pasados; identificar las funciones básicas que se desarrollan en la institución y valorar su adecuación para generar ideas innovadoras.
- Conocer y describir, en el caso de los recursos tecnológicos, las tecnologías genéricas vigentes y su competitividad y potencial tecnológico, a la luz de la estrategia tecnológica adoptada por la institución.
- Proponer la adopción de nuevas estructuras organizativas o modificar las existentes.

##### Análisis externo

- Identificar escenarios de evolución tecnológica en el área de nuevos materiales acústicos
- Identificar casos de proyectos tecnológicos externos de éxito y fracaso
- Obtener datos de la evolución del mercado en el sector estudiado

- Realizar estudios tecnológicos comparativos de productos
- Identificar, valorar y proponer las oportunidades de alianzas tecnológicas

#### Responsable

- La unidad de gestión de la innovación

#### Documentación

- *Benchmarking* (medida de calidad)
- Estudios en investigación de mercados
- Generación de escenarios según ciertos datos e hipótesis de entrada
- Métodos de extrapolación de datos
- Correlaciones –técnicas de correlación entre variables–
- Métodos de previsión –evolución de una variable–

### 6.3.5 Identificación y análisis de problemas y oportunidades

#### Objetivo

- Analizar los problemas y oportunidades que se presentan en las actividades de innovación

#### Funciones

- Analizar los resultados científicos y tecnológicos en conformidad con las políticas de innovación de la institución.
- Hacer seguimiento de los resultados científicos y tecnológicos, para anticiparse a los cambios, y hacer análisis de sistemas dinámicos y diagramas causales.
- Identificar las barreras que impiden la utilización de nuevos conocimientos en la institución y definir un plan para adquirir el conocimiento necesario que permita superar los problemas que aparecen durante el proceso de innovación.
- Identificar posibles colaboraciones externas en materia de investigación y crear redes a nivel internacional para la adquisición de conocimientos.

#### Responsable

- La unidad de gestión de la innovación

#### Documentación

- Estudios de mercados
- Publicaciones técnicas del sector
- Entrevistas con expertos

### 6.3.6 Planificación, seguimiento y control de la cartera de proyectos

#### Objetivo

- Planificar las ideas seleccionadas para desarrollar hasta llegar a la definición de proyectos, si su complejidad y concreción así lo requieren.

#### Funciones

- Revisar y aprobar cada uno de los proyectos

- Realizar una propuesta de actividades
- Elaborar informes del estado de la situación y el progreso de los proyectos, basados en la información proporcionada por la unidad de innovación
- Buscar fuentes de financiación para los proyectos

#### Responsable

- La unidad de gestión de la innovación

#### Documentación

- Las ideas que se han transformado en proyectos
- Los esquemas de criterios de prioridades
- Actas de las reuniones de seguimiento del estado de los proyectos
- Presupuestos aportados por las diferentes áreas funcionales y el conjunto de la institución
- Diagramas PERT (*project evaluation and review techniques*) y de Gantt, y matrices de priorización de proyectos

### 6.3.7 Transferencia tecnológica

#### Objetivo

- Mantener y documentar un sistema de transferencia tecnológica que considere tanto la tecnología propia como la posibilidad de incorporar la ajena.

#### Funciones

- Tramitar la cesión de patentes o de *know-how* –a título de propiedad–
- Tramitar la licencia de patentes o de *know-how* –limitada en el tiempo–
- Elaborar contratos de adquisición y venta de tecnología
- Elaborar contratos de asistencia técnica
- Gestionar cooperación y alianzas para desarrollar proyectos de innovación
- Gestionar la transferencia tecnológica con otros centros tecnológicos, universidades y organismos de innovación

Las *redes de transferencia de tecnología* son organizaciones que prestan servicios para reconocer oportunidades potenciales de oferta y demanda tecnológica, identificar posibles socios y negociar y proponer el mejor acuerdo de transferencia para las partes.

Sus servicios son de consultoría –asesorías en materia de tecnología y temas específicos–.

#### Servicios de formación

##### Formación de docentes

- Intercambio de expertos entre la empresa y el organismo de investigación, que permite disponer de personas con experiencia en el ámbito de la experimentación científica y empresarial.
- Formación de los universitarios en la industria.
- Conferencias y cursos para actualizar los conocimientos técnicos y reorientar al personal de las empresas.

### Servicios de investigación

- Investigación cooperativa: la institución y el organismo de investigación llegan a un acuerdo para realizar conjuntamente una determinada investigación.
- Contrato de I + D: la institución encarga al organismo de investigación la realización de un trabajo concreto, definiendo desde un principio los términos en que este debe llevarse a cabo.
- Transferencia de tecnología: cuando una institución se enfrenta a una necesidad tecnológica que ya ha sido resuelta anteriormente por un organismo de investigación, puede pedir al titular de la tecnología que se la ceda o licencie.

### Responsables

- El personal directivo
- La unidad de gestión de innovación

### Documentación

- Convenios de cooperación
- Identificación de mercados potenciales
- Identificación de necesidades de conocimiento de tecnologías debido a algún tipo de innovación dentro de la organización

### 6.3.8 Proyecto de innovación

#### Objetivo

- Planificar y desarrollar el proceso necesario que convertirá el proyecto de innovación seleccionado en un resultado. Se trata, en la práctica, de ejecutar operativamente el proyecto de innovación aprobado.

#### Función

- Tener en cuenta como orientación las normas técnicas colombianas y aplicarlas de manera oportuna.

### Responsables

- La organización en general
- Las unidades de gestión de la innovación
- Las unidades de innovación

### Documentación

- Descripción de los proyectos
- Informes generados durante el desarrollo de los proyectos

### 6.3.9 Resultados del proceso de innovación

El proceso de innovación puede concluir de dos formas: con un incremento de conocimiento o con un incremento de conocimiento + innovación; debe establecerse, además, un sistema general y unos criterios para documentar, informar, seguir, medir y analizar todos los resultados del proyecto en cuestión.

Los resultados de los procesos de innovación deben darse de tal manera que permitan evaluar el cumplimiento efectivo de los objetivos planteados en las políticas de innovación.

#### Funciones

- Establecer para su implementación un sistema de información de los resultados de la innovación que incluya los siguientes aspectos:
  - Informes finales de los proyectos
  - Descripción de las protecciones de los resultados obtenidos
  - Datos básicos, diagramas, dibujos e informes intermedios
  - Problemas y soluciones específicas y técnicas, procedimientos y equipos utilizados
  - Evaluaciones escritas de los proyectos en su conjunto, incluyendo el conocimiento adquirido, para futuras actividades de innovación

#### Responsables

- La unidad de gestión de la innovación
- La unidad de innovación

#### Documentación

- Diseños modificados
- Actas de las reuniones llevadas a cabo durante el desarrollo de los proyectos de innovación
- Planificación del proyecto
- Definición de los indicadores específicos para cada proyecto de innovación
- Definición de los objetivos para cada proyecto de innovación

### 6.3.10 Seguimiento y medición

#### Objetivos

- Documentar, seguir y medir los resultados del proceso de innovación

#### Funciones

- Definir los criterios para la revisión, selección y aprobación de los resultados.
- Establecer los mecanismos necesarios para cuantificar los resultados conseguidos y compararlos con los objetivos establecidos en las políticas de innovación.
- Diseñar e implantar las medidas y acciones correctoras que se precisen.

#### Responsables

- La unidad de gestión de la innovación
- La unidad de innovación

#### Documentación

- Definición de los objetivos para cada proyecto de innovación.
- Definición de los indicadores para los diferentes proyectos de innovación, detallando lo enunciado en el indicador, el método de cálculo, el responsable de la medida, su periodicidad y el valor objetivo.
- Medición de los indicadores globales de la actividad de I + D + i –rentabilidad del gasto en esta área y derechos obtenidos por la venta o transferencia de tecnología–.

### 6.3.11 Protección y explotación de los resultados de las actividades de innovación

#### Objetivo

- Establecer un sistema para valorar la viabilidad y oportunidad de proteger y explotar los resultados de las actividades de innovación.

#### Funciones

- Definir e implantar los procedimientos internos de transferencia de tecnología
- Definir los acuerdos de transferencia de tecnología
- Identificar las alternativas para proteger los resultados
- Iniciar los procedimientos de patentes de los nuevos descubrimientos

#### Responsables

- La unidad de gestión de la innovación
- La unidad de innovación

#### Documentación

- Toda la información generada en el desarrollo del proceso de innovación

Con esta descripción detallada, sumada a los modelos micro presentados en el capítulo anterior, el siguiente es el modelo causal macro propuesto según las NTC.

## 6.4 Modelo gráfico estructural y organizacional del Centro

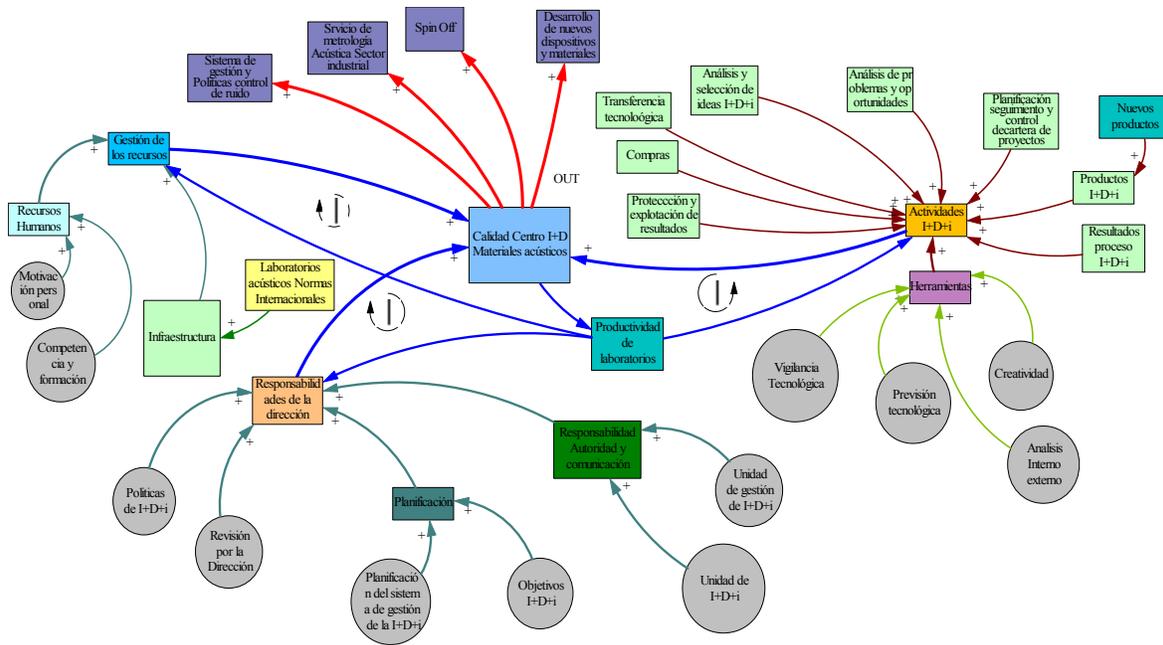
La Figura 41 de la página siguiente muestra el diseño del modelo estructural del Centro. El modelo está compuesto por entradas y salidas que hacen parte del sistema que soporta múltiples variables que abarcan todo lo relacionado con la calidad del centro.

En las entradas aparecen la responsabilidad del personal directivo, la gestión de los recursos y las actividades de I + D + i; cada una está compuesta a su vez por otros bloques de entrada. Todas las entradas son alimentadas por las variables descritas anteriormente y están en conformidad con las NTC. Es así como las herramientas de vigilancia tecnológica, transferencia tecnológica y previsión tecnológica alimentan el subsistema de actividades de I + D + i, al igual que el modelo matemático propuesto para medir la productividad de los laboratorios,<sup>12</sup> encargado de vigilar y sensar la calidad del centro de I + D según las NTC y las normas ISO. El bloque de generación de nuevos productos fortalece las actividades de investigación y promueve el mercado del acondicionamiento acústico de espacios y el control de ruido.

Figura 41. Modelo estructural del Centro

---

<sup>12</sup> V. Capítulo 5, § 5.1.



Fuente: elaboración del autor.

La infraestructura, conformada por los laboratorios que cumplen con todas las normas internacionales, alimenta la gestión de los recursos. Y las políticas de I + D + i y la planificación alimentan la responsabilidad del personal directivo.

Nótese los signos positivos –según la simbología de dinámica de sistemas–: las flechas con el signo + en la punta indican un aumento de los diferentes componentes del modelo; cuando uno de los componentes decae o por alguna razón disminuye, el sistema se vuelve negativo e influye en la mala calidad del centro de I + D experimental.

El modelo claramente remarca los tres ciclos de realimentación positivos: el primero, entre las actividades de I + D + i, la calidad del centro de I + D y la medición de su productividad; el segundo, entre el centro y la gestión de recursos; y el tercero, entre la calidad del centro, la productividad de los laboratorios y la responsabilidad del personal directivo. Nótese que en los tres bloques principales –gestión de recursos, actividades de I + D + i y responsabilidad del personal directivo– interviene el sistema de medición de productividad de los laboratorios, con el fin de fortalecer y exigir el máximo rendimiento en todas las áreas que involucran las actividades de investigación y desarrollo de nuevos productos. Todos estos ciclos de realimentación positivos encajan de manera perfecta en las directrices de las NTC, ya que si la estructura organizacional es controlada y vigilada, se está asegurando el éxito de la organización.

Las salidas del centro de I + D están compuestas por los servicios de metrología y consultoría en el área de la acústica y el desarrollo de nuevos productos y patentes. En el caso de las universidades privadas se puede generar una *spin-off*, y en caso de las públicas se pueden desarrollar conexiones directas con las empresas, formando nuevas redes de conocimiento y de negocios que fortalezcan el sector productivo en el área de la acústica. Aquí también se usa el signo +, dando a entender que al crecer cada uno de los componentes del modelo crecerá también la calidad del centro. Es evidente, entonces, la realimentación positiva del modelo.

Debido a que el Centro hace parte de una institución universitaria, es importante diseñar un modelo basado en la dinámica de sistemas para dar una visión organizacional acerca de cómo se articula el centro

con las demás políticas de investigación regionales y la generación de conocimiento en el área de la acústica. Tal como lo indicaron los expertos consultados a través de la metodología Delphi,<sup>13</sup> deben abrirse nuevas carreras tecnológicas y profesionales en el área de la acústica para producir personal especializado que apoye el desarrollo tecnológico y la creación de nuevas empresas que generen productos innovadores, consultorias especializadas en acústica y, sobre todo, nuevas posibilidades para patentar productos.

Otro dato importante de la figura anterior es el de la articulación del Centro con el sector educativo, pues solo y aislado no tiene sentido, ya que el propósito es engranar el sistema para producir nuevo conocimiento y promover el sector industrial de la acústica. Como puede verse, en el centro del modelo está el Centro, desde el cual se forman varios ciclos de realimentación positiva que involucran el fortalecimiento de los grupos de investigación, la generación de capital humano especializado y, por lo tanto, aumentan la calidad de la investigación aplicada.

Por otro lado se fortalece el ciclo de realimentación positivo –compuesto por el desarrollo empresarial del sector de la acústica y el rendimiento de los negocios–, y se incrementa el poder de innovación, la competitividad y la motivación del sector industrial. El engranaje de los ciclos de reclutamiento de nuevo capital humano, la experiencia académica y la innovación fortalecen la gestión de la infraestructura de I + D + i en el sector de la acústica, aspecto organizacional muy importante que, con el apoyo y la intervención de programas del gobierno para financiar diferentes proyectos, mejorarán los índices de productividad y generarán nuevo conocimiento y productos regionales y nacionales patentados. Debe recordarse que en el ejercicio de vigilancia tecnológica expuesto<sup>14</sup> ni Antioquia ni Colombia producen conocimiento o productos diferenciadores que se destaquen a nivel mundial. Este modelo y el modelo estructural de nivel organizacional cumplen con las NTC establecidas para impulsar el desarrollo y la innovación tecnológica.

---

<sup>13</sup> V. Capítulo 1, § 1.12.

<sup>14</sup> V. Capítulo 4.

## Conclusiones

De acuerdo con la encuesta Delphi realizada, y como un consenso general de todos los expertos con relación a los temas prioritarios, es fundamental y necesario un centro especializado para la investigación en la acústica; se requiere innovación en este campo no solamente en materiales, sino también en lo referente al control de ruido y las vibraciones. Actualmente son pocos los productos de conocimiento que se generan por parte de las universidades del país bajo el contexto del estudio de la acústica. La importancia de estos resultados es fundamental para la toma de decisiones en futuros proyectos y nuevas carreras en dicho campo.

Los diferentes expertos que participaron en el método Delphi pertenecen a diversos campos de la ingeniería; aquellos expertos en la acústica han tenido que especializarse en otros países o han adquirido experiencia en sus años de trabajo, pero no existe profundización acerca de la formación académica en esta área en las universidades locales.

Según los expertos, el panorama actual de la investigación en acústica no es satisfactorio, no se patentan nuevos productos y falta mucho por recorrer en cuanto al control de ruido y nuevos materiales; así, se presenta una gran oportunidad para aquellas universidades y empresas que quieran invertir en nuevas tecnologías y en un campo casi que es desconocido a nivel regional y nacional.

La aplicación de las NTC y la construcción del modelo del Centro están en conformidad con los lineamientos estratégicos del ITM. Con la construcción del Parque I en la sede Fraternidad de esta universidad se podría generar una nueva área de investigación en ingeniería acústica, muy necesaria debido al crecimiento reciente de empresas y normas estatales que tienen que ver con el acondicionamiento acústico y el control de ruido.

El Centro está basado en la cooperación y el esquema de innovación abierta en red. Es fundamental crear socios estratégicos internacionales y nacionales, con empresas y universidades que tengan experiencia en el sector, para transferir conocimiento y producir nuevos productos y servicios en el área de la acústica.

SE podría aseverar que el modelo del Centro tiene un comportamiento dinámico, ya que se compone de muchas variables. Por esto, en futuras investigaciones, se propone hacer un análisis de correlación entre variables con dinámica de sistemas. Las variables de salida tales como a generación de nuevo conocimiento, patentes y productos, dependen del buen funcionamiento y el cumplimiento de los aspectos fundamentales de las NTC, si se logra una excelente sinergia entre sus componentes, se alcanzarán resultados satisfactorios, enmarcados y regidos por las normas internacionales de gestión de la innovación.

Es fundamental el papel que cumple las universidades en el modelo del Centro como gestora e impulsadora de nuevas tecnologías en el sector acústico. El Centro cumple con el SNI y el modelo de la triple hélice universidad-empresa-Estado.

Colombia se perfila hacia el futuro como un país que se preocupará por el medio ambiente y, por tanto, de generar políticas de control de ruido. La acústica ambiental y la normatividad desarrollarán un papel muy importante en los próximos años si se quiere un país y una ciudad –en este caso Medellín– ambientalmente sostenibles. En este escenario se puede fortalecer la investigación en nuevos materiales de la construcción para aplicaciones en acústica con excelentes características técnicas.

El modelo de Centro no se limita a un simple laboratorio que presta servicios de metrología: implica además capital humano, gestión en la organización, sistemas de transferencia de conocimiento y tecnología, y estrategias en generación de productos y servicios innovadores. La mayoría de los modelos micros para representar el modelo macro están elaborados con la dinámica de sistemas, que se usará para el perfeccionamiento del modelo, con las respectivas simulaciones y validaciones.

Los diagramas estructurales y dinámicos están contruidos pensando en la reglamentación y en la normas internacionales, agregando conocimiento relacionado con la creación de modelos que conectan muchas variables y permiten cuantificar y evaluar la eficiencia de los diferentes centros de I + D en cualquier área, incluyendo la acústica.

El modelo del Centro está estructurado en micromodelos que no presentan una linealidad marcada: son flexibles –no lineales–; eso hace que sean modelos reales complejos que requieren de un alto grado de simulación. La toma de decisiones en este tipo de modelos es más eficiente y permite una mejor gestión en la parte ejecutiva y administrativa.

## Referencias

- Acusonic (2010). Absorción sonora de materiales. Recuperado de: [http://www.acusonic.cl/materiales\\_acusticos.htm](http://www.acusonic.cl/materiales_acusticos.htm).
- Alk, S., de Geest, M. y Vansant, K. (2013). Interior acoustic simulation for in-car audio design. *Sound and Vibration*, 47(1), 10-17. Recuperado de: [www.scopus.com](http://www.scopus.com)
- Allard, J.-F. y Champoux, Y. (1992). New empirical equations for sound propagation in rigid frame fibrous materials. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 91(6), 3346-3353. doi:10.1121/1.402824
- Al-Rahman, L. A., Raja, R. I., Rahman, R. A. e Ibrahim, Z. (2012). Acoustic properties of innovative material from date palm fibre. *American Journal of Applied Sciences*, 9(9), 1390-1395. Recuperado de: [www.scopus.com](http://www.scopus.com). doi:10.3844/ajassp.2012.1390.1395
- Arango, B., Tamayo, G. y Fadul, A. (2012). Vigilancia tecnológica: metodología y aplicaciones. *Gestión de las Personas y Tecnología*, (13), 250-261, mayo.
- Asdrubali, F. (2006). Survey on the acoustical properties of new sustainable materials for noise control [ponencia]. *EURONOISE 2006 - The 6th European Conference on Noise Control: Advanced Solutions for Noise Control*. Recuperado de: [www.scopus.com](http://www.scopus.com)
- Asensio Rivera, C., Pagán Muñoz, R. y López Navarro, J. M. (2008). Aircrafts' taxi noise emission. *Noise & Vibration Worldwide*, 39(8), 10-15.
- Asensio, C., Pavón, I., Recuero, M. y Ausejo, M. (2012). Airport noise insulation programs: The Spanish case. *Noise and Vibration Worldwide*, 43(2), 8-15. Recuperado de: [www.scopus.com](http://www.scopus.com)
- Asociación Española de Normalización y Certificación (Aenor) (2006). *Norma Española Experimental UNE 166006. Gestión de la I + D + i. Sistema de Vigilancia Tecnológica*. Recuperado de: <http://quijote.biblio.iteso.mx/catia/LibrosElectronicos/cat.aspx>
- Bastos, L. P., de Melo, G. da S. V. y Soeiro, N. S. (2012). Panels manufactured from vegetable fibers: An alternative approach for controlling noises in indoor environments. *Advances in Acoustics and Vibration*. Recuperado de: [www.scopus.com](http://www.scopus.com). doi:10.1155/2012/698737
- Becerra, C. L. C. (2008). Desarrollo e implementación de un modelo de gestión de la I + D + i para las empresas constructoras, basado en la norma UNE 166002. *Thesis*, enero.
- Bruneau, M. y Potel C. (2006). *Materials and Acoustics Handbook*. Recuperado de: <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-1848210744,subjectCd-PHZ0.html>
- Bruneau, M. y Potel, C. (2009). *Materials and acoustics handbook*. Londres y Hoboken: Wiley InterScience. Recuperado de: <http://public.eblib.com/EBLPublic/PublicView.do?ptiID=477646>
- Caraça, J., Ferreira, J. L. y Mendonça, S. (2007). A chain-interactive innovation model for the learning economy: Prelude for a proposal (*Working Papers, Department of Economics, n.º 2007/12*). ISEG - Universidad de Lisboa, Department of Economics, School of Economics and Management. Recuperado de: <http://ideas.repec.org/p/ise/isegwp/wp122007.html> y <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/2580>
- Carayannis, E. G., Barth, T. D y Campbell, D. F. (2012). The quintuple helix innovation model: Global warming as a challenge and driver for innovation. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 1(1), 2. doi:10.1186/2192-5372-1-2
- Castro Mejía, J. del P., Galarza Isaza, D., Giraldo Gómez, N. C. y Martínez Jáuregui, E. (2014). Relación entre la Norma Técnica Colombiana INCONTEC NTC 5801 y la gestión de la innovación en el

- sector de alimentos. Estudio de caso: Manizales. *Thesis*. Recuperado de: <http://repositorio.autonoma.edu.co/jspui/handle/11182/610>
- Castro, I. y Alejandro, I. (2012). Caracterización mecánica de espumas metálicas y su aplicación en sistemas de absorción de energía. Recuperado de: <http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/15003>
- Choi, K. y Kim, S. W. (2008). From R&D to commercialization: A system dynamic approach. *Asian Journal on Quality*, 9(3), 123-144.
- Coccia, M. (1999). A mathematical model for performance evaluation in the R&D laboratories: Theory and application in Italy. *Ceris-Cnr working paper*, 1(12). Recuperado de: [http://demo.bess-piemonte.it/fedora/repository/object\\_download/openbess:TO094-00231/PDF/openbess\\_TO094-00231.pdf](http://demo.bess-piemonte.it/fedora/repository/object_download/openbess:TO094-00231/PDF/openbess_TO094-00231.pdf)
- Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2006). Resolución 0627 del 7 de abril. Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=19982>
- Centro de innovación y desarrollo de empresas (Cidem) (2002). Sitio web: <http://web.gencat.cat/ca/inici/>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social (Conpes) (2009). Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. Recuperado de: [http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/conpes\\_3582.pdf](http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/conpes_3582.pdf)
- Correa Becerra, C. L. (2011, mayo 6). Desarrollo e implementación de un modelo de gestión de la I +D + i para las empresas constructoras, basado en la norma UNE 166002. *Riunet*. info:eu-repo/semantics/doctoralThesis. Recuperado de: <http://www.tdx.cat/handle/10803/22194>
- Damle, P. (2003). *A system dynamics model of the integration of new technologies for ship systems*. Virginia Polytechnic Institute and State University. Recuperado de: <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-09282003-220943/>
- Delany, M. E. y Bazley, E. N. (1970). Acoustical properties of fibrous absorbent materials. *Applied acoustics*, 3(2), 105-116.
- Desarnaulds, V., Costanzo, E., Carvalho A., Blaise, A. y Arlaud, B. (2005). Sustainability of acoustic materials and acoustic characterization of sustainable materials [ponencia]. *Proceedings of the 12th International Congress on Sound and Vibration*. Recuperado de: [http://biblioteca.universia.net/html\\_bura/ficha/params/title/sustainability-of-acoustic-materials-and-acoustic-characterization-of-sustainable-materials/id/49346956.html](http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/sustainability-of-acoustic-materials-and-acoustic-characterization-of-sustainable-materials/id/49346956.html) y <http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/219>
- Doutres, O., Salissou, Y., Atalla, N. y Panneton, R. (2010). Evaluation of the acoustic and non-acoustic properties of sound absorbing materials using a three-microphone impedance tube. *Applied Acoustics*, 71(6), 506-509. Recuperado de: [www.scopus.com](http://www.scopus.com)
- Edquist, C. (1997). *Systems of Innovation: Technologies, Institutions, and Organizations*. Nueva York, Londres: Routledge.
- Eisapour, K., Bayanati, M. y Yousefpour, J. (2013). A mathematical model for ranking R&D organizations as a technology development factor. *Advances in Environmental Biology*, 7(4). Recuperado de: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=19950756&AN=90478266&h=TzawrUwDavraWQW1aq1V2ez2%2F25T2AGCHZZNYwJ1liQrWZh1rEoDQBYb8xwdZ6w1P%2FTZP%2Fcf07aC0r0bhx%2B2DA%3D%3D&crl=c>
- Ersoy, S. y Küçük, H. (2009). Investigation of industrial tea-leaf-fibre waste material for its sound absorption properties. *Applied Acoustics*, 70(1), 215-220. <http://doi.org/10.1016/j.apacoust.2007.12.005>

- Etzkowitz, H. y Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: from national systems and «Mode 2» to a triple helix of University–Industry–Government relations. *Research Policy*, 29(2), 109-123.
- Fernández, P. (2013). [Comunicación personal]. Archivo del autor, 7 de marzo.
- Flagg, J. L., Lane, J. P. y Lockett, M. M. (2013). Need to Knowledge (NtK) model: An evidence-based framework for generating technological innovations with socio-economic impacts. *Implementation Science*, 8(1), 1-10 y 21. doi:10.1186/1748-5908-8-21
- Ford, D. y Sterman, J. (1998). Expert knowledge elicitation for improving mental and formal models. *System Dynamics Review*. 14(4). 309-340.
- Fouladi, M. H., Nor, M. J. M., Ayub, Md. y Zulkarnain, A. L. (2010). Utilization of coir fiber in multilayer acoustic absorption panel. *Applied Acoustics*, 71(3), 241-249. <http://doi.org/10.1016/j.apacoust.2009.09.003>
- Freeman, C. (1996). The greening of technology and models of innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 53: 27-39.
- Füzi, A. (2013). Building the innovative markets, places and networks [ponencia]. *Triple Helix International Conference, 2013 Session*. Recuperado de: <http://www.biginnovationcentre.com/Assets/Docs/Triple%20Helix/Papers/Theme%201/Fuzi.pdf>
- Gil, J. D., Giraldo, D., Córdoba E. R. y Cárdenas A. M. (2011). Sistema de medición para la caracterización acústica de materiales a incidencia normal del sonido. Recuperado de: [http://revistas.unab.edu.co/index.php?journal=mecatronica&page=article&op=viewArticle&path\[\]=1411](http://revistas.unab.edu.co/index.php?journal=mecatronica&page=article&op=viewArticle&path[]=1411)
- González, J. (2004). Caracterización, simulación y experimentación de materiales vibroacústicos. Absorción y aislamiento. Recuperado de: <http://www.cecorsl.com/item/caracterizacion-simulacion-y-experimentacion-de-materiales-vibroacusticos-absorcion-y-aislamiento>
- González, A. E. (2012). *Contaminación sonora y derechos humanos*. Recuperado de: <http://www.defensordelvecino.gub.uy/IMAGENES/Foro%20Defensor%C3%ADas%20Locales/DHHA.pdf>
- González, J. R. Q. (2012). Caracterización del ruido producido por el tráfico vehicular en el centro de la ciudad de Tunja, Colombia. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (36), 311-343.
- Grobbelaar, S. S. (2007, agosto 1). R&D in the national system of innovation : A system dynamics model. Recuperado de: <http://upetd.up.ac.za/thesis/available/etd-07212007-130132/>
- Haeflner, E. A. (1973). The innovation process. *Technology Review*, 75(5), marzo-abril, pp. 18-25
- Hilbert, M. (2012). Toward a conceptual framework for ICT for development: Lessons learned from the cube framework used in Latin America. *Information Technologies & International Development*, 8(4), 243-259.
- Hunter, E. M. (s. f.). Currall, S. C., Stuart, T. E., Jansen Perry, S. y Hunter, E. M. *Engineering Innovation: Strategic planning in National Science Foundation*. Recuperado de: [http://erc-assoc.org/topics/policies\\_studies/Currall\\_StrategicPlanning\\_final\\_report.pdf](http://erc-assoc.org/topics/policies_studies/Currall_StrategicPlanning_final_report.pdf)
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) (2002). *Norma UNE-EN ISO 10534-2:2002. Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 2: Método de la función de transferencia (ISO 10534-2:1998)*. Bogotá.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) (2008a). *Norma Técnica Colombiana 5800. Gestión de la investigación, Desarrollo e Innovación (I + D + i). Terminología y definiciones de las actividades I + D + i*. Bogotá.

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) (2008b). *Norma Técnica Colombiana 5801. Gestión de la Investigación, Desarrollo e innovación (I +D +i). Requisitos del Sistema de Gestión de la I + D + i*. Bogotá, pp. 1-19.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) (2008c). *Norma Técnica Colombiana 5802. Gestión de la investigación, Desarrollo e Innovación (I + D + i). Requisitos de un proyecto I + D + i*. Bogotá.
- Jerome, L. W. y Jordan, P. J. (2010). *Building an institute for triple-helix research innovation*. University Clinical, Education and Research Associates (UCERA), University of Hawaii. Recuperado de: [http://www.triplehelixinstitute.com/sites/default/files/uploaded/documents/TripleHelix\\_BuildingAnInstitute.pdf](http://www.triplehelixinstitute.com/sites/default/files/uploaded/documents/TripleHelix_BuildingAnInstitute.pdf)
- Jiménez Arranz, G. (2013, junio 25). *Estudio y diseño de sistemas para el acondicionamiento acústico*. E.U.I.T. Telecomunicación (UPM). Recuperado de: <http://oa.upm.es/21536/>
- Juliá Sanchis, E. (2008). *Modelización, simulación y caracterización acústica de materiales para su uso en acústica arquitectónica* [tesis doctoral]. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de: <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/2932/tesisUPV2840.pdf?sequence=1> y <http://dspace.cc.upv.es/bitstream/handle/10251/2932/tesisUPV2840.pdf>
- Kline, S. J. (1985). Innovation is not a linear process. *Research Management*, 28(4), julio-agosto, pp. 36-45.
- Lacasta, P. y Pérez, S. M. (2010). Caracterización acústica de materiales en cámaras de ensayo “a escala”. Recuperado de: [http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/13403/1/CARACTERIZACION\\_ACUSTICA\\_DE.PDF](http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/13403/1/CARACTERIZACION_ACUSTICA_DE.PDF)
- Lamyaa Abd. A-R., Raja, I. R., Roslan, A. R. y Zawawi, I. (2012). Acoustic Properties of Innovative Material from Date Palm Fibre. *American Journal of Applied Sciences*, 9(9). pp. 1390-1395.
- Lane, J. P. y Flagg, J. L. (2010). Translating three states of knowledge-discovery, invention, and innovation. *Implementation Science*, 5(9), 1-14.
- Lester, R. (2005). Universities, innovation, and the competitiveness of local economies. A summary report from the local innovation systems project: Phase I. Massachusetts Institute of Technology, Industrial Performance Center, Working Paper Series. Recuperado de: <http://web.mit.edu/lis/papers/LIS05-010.pdf>
- Lester, R. K. y Sotarauta, M. (2000). *Innovation, universities, and the competitiveness of regions*. Helsinki: Tekes.
- Lundvall, B- Á., ed. (1992). Introduction, en *National systems of innovation: Towards a theory of innovation and interactive learning*. Londres, Pinter..
- Merino, E. (2010). *Nuevas pantallas acústicas a partir de materiales reciclados* [tesis doctoral]. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de: <http://riunet.upv.es/handle/10251/10335>
- Miki, Y. (1990). Acoustical properties of porous materials. Modifications of Delany-Bazley models. *Journal of Acoustical Society of Japan*, 11(1), pp. 19-24.
- Miyara, F. (1999). *Control de ruido*. Recuperado de: <http://www.ingenieroambiental.com/4023/control%20de%20ruido,federico%20miyara.pdf>.
- Mohammad, M. (2010). Applied Acoustics. Utilization of coir fiber in multilayer acoustic absorption panel. Recuperado de: <http://www.elsevier.com/locate/apacoust>

- Múnera, S. (2008). *Técnicas avanzadas de medida en intensimetría acústica para la caracterización de materiales aislantes* [tesis doctoral]. Universidad Politécnica de Cartagena, España. Recuperado de: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/1206/1/gms.pdf>
- Murillo, D. (2013). [Comunicación personal]. Archivo del autor, 8 de marzo.
- Navarro Arancegui, M. (2001). El análisis y la política de clusters. Recuperado de: <http://eprints.ucm.es/6760/>
- Oldham, D., Egan, C. y Cookson, R. D. (2008). Sustainable acoustic absorbers from the biomass. Recuperado de: [http://www.hollywood.org/fileadmin/publications/2009/LIV\\_090630\\_Paper\\_Sustainable\\_Acoustic\\_Absorbers\\_from\\_the\\_Biomass.pdf](http://www.hollywood.org/fileadmin/publications/2009/LIV_090630_Paper_Sustainable_Acoustic_Absorbers_from_the_Biomass.pdf)
- Olivier, S., Noureddine, R. y Raymond, A. (2010). Evaluation of the acoustic and non-acoustic properties of sound absorbing materials using a three-microphone impedance tube. Recuperado de: <http://www.elsevier.com/locate/apacoust>.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2002). *Manual de Frascati: Propuesta de Norma Práctica Para Encuestas de Investigación y Desarrollo Experimental*. Recuperado de: <http://www.edutecne.utn.edu.ar/ocde/frascati-01.htm>
- Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OECD) y Oficina de Estadísticas de las Comunidades Europeas (2005). *Manual de Oslo*. Recuperado de: <http://oecd.org/Portals/0/Documentos/Marco%20Normativo/Manual%20de%20Oslo.pdf>
- Organización mundial de la propiedad intelectual (OMPI). Recuperado de: <http://www.wipo.int/portal/es/>
- Palop, M. F. y Martínez, J. (2012). *Guía metodológica de práctica de la vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva*. Recuperado de: <http://www.aecid.org/?idcategoria=2088>
- Pavitt, K. (2002). The globalizing learning economy. *Academy of Management Review*, 27(1), pp. 125-127
- Pereiro, L. (2011). Materiales compuestos de altas prestaciones elaborados con recursos naturales. *Revista Interdisciplinaria de las ciencias ambientales*, (12), 85-96. Recuperado de: [http://www.ugr.es/~ambientalia/articulos/art\\_recientes/23\\_Pereiro%282011%29\\_Ambientalia\\_es.pdf](http://www.ugr.es/~ambientalia/articulos/art_recientes/23_Pereiro%282011%29_Ambientalia_es.pdf)
- Peres, R., Muller, E. y Mahajan, V. (2010). Innovation diffusion and new product growth models: A critical review and research directions. *International Journal of Research in Marketing*, 27(2), 91-106. doi:10.1016/j.ijresmar.2009.12.012
- Ramírez, M. I., Rúa, D. E. y Alzate, B. A. (2012). Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. *Gestión de las Personas y Tecnología*, (13), 149-153.
- Ramis, R., y Escuder, F. (2007). Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de kenaf. *Revista Materiales de construcción*, (60), 133-143. Recuperado de: <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewArticle/429>
- Rico Castro, M. del P. (2009, abril 1). *La política tecnológica y sus efectos sobre el cambio de las organizaciones de I + D: el caso de los centros tecnológicos del País Vasco (1980-1999)* [tesis doctoral]. Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones. Recuperado de: <http://eprints.ucm.es/8273/>
- Robledo Velásquez, J. (2010). *Introducción a la Gestión Tecnológica*. Medellín: Universidad Nacional.
- Robledo Velásquez, J. (2011). *Gestión prospectiva estratégica de la I + D + i: una propuesta de modelo conceptual*. Medellín: Universidad Nacional.

- Rothwell (1993). Systems integration and networking: The fifth generation innovation process [ponencia]. The Chair Hydro-Quebec Conference en Gestion de Technologie. Montreal, mayo.
- Ruiz, A. M. G., Azkue, G. V. y Díez, A. G. (2008). *Guía práctica para abordar la innovación y su gestión en las empresas de sector de la edificación residencial*. Fundación Tekniker. Recuperado de: [http://www.izenpe.com/s15-4812/es/contenidos/informacion/guia\\_innova/es\\_innova/adjuntos/tomo1cast.pdf](http://www.izenpe.com/s15-4812/es/contenidos/informacion/guia_innova/es_innova/adjuntos/tomo1cast.pdf)
- Saiz, C. (2010). Caracterización y optimización de materiales aislante térmicos y acústicos. Recuperado de: [http://www.fcra.es/images/portada\\_a4.pdf](http://www.fcra.es/images/portada_a4.pdf)
- Sanabre, B. y Fernández, A. (2007). Estudio de viabilidad de nuevos materiales acústicos. Recuperado de: <http://www.fisgan.upv.es/Docs/PostersPFC/besaser.pdf>
- Sancho, M., Fernández, F. y González, B. (2008). Herramientas de gestión de I + D + i. Recuperado de: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2752525>
- Saviotti, P. P. (1997). Innovation systems and evolutionary theories, en C. Edquist, ed., *Systems of innovation: Technologies, institutions and organizations*. Londres, Pinter, pp.193-195
- Schwarz, S., Durst, C. y Bodendorf, F. (2012). A conceptual framework of service innovation and its implications for future research [ponencia]. *SRII Global Conference*, pp. 172-182. doi:10.1109/SRII.2012.116
- Stone, V. I. y Lane, J. P. (2012). Modeling technology innovation: How science, engineering, and industry methods can combine to generate beneficial socioeconomic impacts. *Implementation Science*, 7(1), 1-19 y 44. doi:10.1186/1748-5908-7-44
- Tijs, E. H. G. (2013). *Study and development of an in situ acoustic absorption measurement methods*. Enschede, Países Bajos: Universidad de Twente.
- Vonortas, N. S. y Aridi, A. (2012). *Innovation Policy Handbook*. Recuperado de: [http://www.gwu.edu/~cistp/assets/docs/research/reports/Innovation%20Policy%20Handbook\\_Report.pdf](http://www.gwu.edu/~cistp/assets/docs/research/reports/Innovation%20Policy%20Handbook_Report.pdf)
- Wu, H. y Zhang, H. (2010). Research on innovation capability based on system dynamics model [ponencia]. *International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, (3), 468-471. doi:10.1109/ICIII.2010.433
- Yang, W., Jing-Jun, Z. y Chang-Xiong, S. (2007). The fusion model of knowledge management and communication management in research organization [ponencia]. *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, pp. 5394-5398. doi:10.1109/WICOM.2007.1321
- Yepes, Gómez, Sánchez y Jaramillo (2008). Metodología de elaboración de mapas acústicos como herramienta de gestión del ruido urbano. Caso Medellín. *Revista Universidad Nacional*, sede Medellín.
- Zeqiri, B., Scholl, W. y Robinson, S. P. (2010). Measurement and testing of the acoustic properties of materials: A review. *Metrologia*, 47(2), S156. doi:10.1088/0026-1394/47/2/S13
- Zhang, S. (2010). *Acoustic metamaterial design and applications*. University of Illinois at Urbana-Champaign. Recuperado de: <http://www.ideals.illinois.edu/handle/2142/16524>
- Zigoneanu, L. (2013). Design and experimental applications of acoustic metamaterials. Recuperado de: <http://dukespace.lib.duke.edu/dspace/handle/10161/7165>
- Zwikker, C. y Kosten, C. W. (1949). *Sound absorbing materials*. Nueva York: Elsevier.

## Anexos

### Anexo A. Carta de investigacion Delphi

Medellín, 31 de enero de 2014

Ingeniero  
Abc.Def

Cordial saludo.

En la actualidad la demanda a soluciones y problemas específicos del ruido acústico ha conducido a la aparición de nuevas especialidades como la ingeniería acústica y de control de ruido, así como un creciente desarrollo de la industria de los materiales acústicos y el surgimiento de importantes empresas de consultoría acústica; de igual forma se vienen presentando grandes progresos en materia de mediciones acústicas, reflejándose no solo en la posibilidad de impulsar aún más la investigación aplicada y sus tecnologías, sino también en el desarrollo de su normatividad y legislación, que permiten de este modo disponer de recursos que posibiliten la determinación y evaluación en forma objetiva de los límites permitidos para el nivel del ruido.

La acústica y el control de ruido son áreas de investigación de gran relevancia a nivel mundial, y son muchas las aplicaciones que requieren de investigación, desarrollo e innovación en este campo.

Por tal motivo el Instituto Tecnológico Metropolitano, a través de los grupos de investigación en metrología y audio, se ha planteado el reto de realizar un proyecto prospectivo teniendo en cuenta las capacidades de la región y el país y las necesidades que se tienen en los diferentes subsectores que conforman el sector de la acústica y el control de ruido. Para ello lo estamos contactando, con el propósito de solicitarle la información que nos permita lo siguiente:

- Hacer un diagnóstico de los procesos tecnológicos existentes en materiales acústicos y de nueva generación en la industria actual.
- Identificar las necesidades tecnológicas en relacionadas con los procesos de investigación desarrollo e innovación en el campo de materiales y dispositivos acústicos.
- Agrupar nuevas áreas del objeto del conocimiento que comprende la acústica y el control de ruido.
- Justificar líneas de investigación e infraestructura con potencial de desarrollo en esta área.

Su participación consistirá en responder, para cada una de las rondas Delphi, a un cuestionario estructurado sobre el tema de consulta, que le demandará aproximadamente media hora. Por exigencia de la metodología Delphi, antes de lograr el consenso del panel de expertos se requieren de al menos dos rondas de consulta.

Dado el grado de importancia del proyecto para la región, le solicitamos que nos envíe la encuesta diligenciada lo más pronto posible.

En el desarrollo del proyecto me comprometo a generar una retroalimentación que le aportará a usted nuevos saberes para su industria, centro de investigación o entidad gubernamental.

Gracias por su colaboración,

Fredy Alberto Alzate Arias  
Grupo de investigación en ingeniería de audio y acústica  
Instituto Tecnológico Metropolitano

## Anexo B. Formulario de la primera ronda Delphi

Estudio prospectivo sobre investigación, desarrollo e innovación (I + D + i) en materiales y dispositivos acústicos

Fecha de recepción de la encuesta \_\_\_\_\_  
Fecha de diligenciamiento \_\_\_\_\_

Información general

Nombre del encuestado \_\_\_\_\_  
Formación (incluyendo posgrados) \_\_\_\_\_  
Empresa donde trabaja \_\_\_\_\_  
Cargo \_\_\_\_\_  
Teléfono \_\_\_\_\_  
Correo electrónico \_\_\_\_\_  
Experiencia en años en área de la acústica y afines \_\_\_\_\_

Califique de 1 a 5 el nivel de importancia de cada uno de los siguientes eventos, siendo 1 la menor importancia y 5 el mayor grado de importancia, NS/NR si no tiene información que le permita calificar el evento o NA si no aplica.

1. ¿Cuál es su visión integral de las tendencias en la investigación y el desarrollo futuro sobre nuevos materiales acústicos a nivel global, nacional, regional?

Evento	1	2	3	4	5	NS/NR	NA
Metamateriales acústicos							
Materiales de fibra natural ecológicos							
Materiales de lana mineral							
Espumas metálicas							
Compuestos							
Nanomateriales acústicos							

2. ¿Cómo ve la situación actual de los laboratorios y centros de metrología en el área de la acústica a nivel nacional y regional?

Evento	1	2	3	4	5	NS/NR	NA
Laboratorios de acústica con cámaras reverberantes							
Laboratorios de acústica con cámaras anecoicas							
Laboratorios de absorción y resistencia de flujo							
Laboratorio centralizado de microscopía electrónica							
Laboratorios con cámaras de transmisión de ruido aéreo							

Laboratorios con cámaras de transmisión de ruido de impacto							
Laboratorios con tubo de impedancia							

3. ¿En que campos de la acústica cree usted que las universidades podrían brindar apoyo científico y tecnológico?

Campo	1	2	3	4	5	NS/NR	NA
Investigación aplicada en acústica							
Formación de profesionales en control de ruido y vibraciones							
Asesoría y servicios en acústica y nuevos materiales							
Ejecución de proyectos urbanos y de acústica arquitectónica							
Extensión académica							
Investigación básica							
Prácticas empresariales							
Macroproyectos							
Otro. ¿Cuál?							

4. ¿Cuál debería ser el enfoque de la universidad para propiciar una relación dinámica entre la ella y la empresa?

Campo	1	2	3	4	5	NS/NR	NA
Asesorías y consultorías							
Investigaciones conjuntas							
Prácticas empresariales							
Rotaciones y pasantías							
Otro. ¿Cuál?							

5. La situación de los proyectos y servicios alrededor de la acústica se ubica en las áreas señaladas en la tabla siguiente. Clasifique, marcando con una X, el rango del porcentaje según su importancia actual y para el periodo 2013-2023.

Tecnologías	Porcentaje actual				Porcentaje en los próximos 15 años			
	0 - 30	31 - 60	61 - 90	91 - 100	0 - 30	31 - 60	61 - 90	91 - 100
Ruido Determinación de niveles de exposición sonora, certificación acústica de los elementos de protección auditiva, control de ruido y vibraciones, medición y evaluación de ruido en viviendas, certificación acústica de productos, determinación de emisión sonora de maquinaria y vehículos.								
Vibraciones Medición y evaluación de vibraciones ocupacionales en maquinaria, construcciones y vehículos; ensayo de vibraciones de dispositivos según normas técnicas, calibración de instrumental de vibraciones.								
Electroacústica Calibración de instrumental electroacústico, micrófonos de laboratorio, calibradores, medidores e integradores de nivel sonoro, dosímetros de exposición sonora, analizadores de espectro.								
Acústica arquitectónica Medición de aislación sonora aérea de materiales y elementos constructivos, determinación del tiempo de reverberación de salas.								
Asistencia técnica Asesoramiento en sistemas de medición, elaboración de procedimientos de								

calibración.								
Investigación y desarrollo Diseño de equipos de medición acústicos								
Capacitación Cursos de capacitación relacionados con el área de la acústica y el control de ruido.								

6. Califique la calidad de los laboratorios para el desarrollo de materiales acústicos actuales en la región y el país.

Tecnología	1	2	3	4	5	NS/NR	NA
Medición de aislación sonora aérea en laboratorio: paneles, cielorrasos, ventanas, fachadas, etc. ISO 140, parte III.							
Medición de aislación sonora aérea de paneles in situ. ISO 140, parte IV.							
Medición de aislación sonora aérea de cerramientos in situ. ASTM E336.							
Medición de aislación sonora aérea de fachadas in situ. ISO 140, parte V,							
Medición de aislación sonora al impacto de terminaciones de pisos (losas) in situ. ISO 140 parte VI							
Medición de aislación sonora al impacto de terminaciones de pisos in situ ISO 140, parteVII.							
Medición de absorción sonora de materiales homogéneos, montajes y cielorrasos absorbentes. ISO R354.							
Medición de absorción sonora de materiales homogéneos porosos. ASTM C 384-72.							
Elementos constructivos y materiales. Medida de la absorción acústica en una cámara reverberante. UNE-EN ISO 354: 2004.							
Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carretera. Medida de la absorción acústica en una cámara reverberante. UNE-EN ISO 1793-1: 1998.							
Medida de aislamiento acústico al ruido aéreo entre locales. UNE-EN ISO 140-4: 1999.							
Medida de aislamiento acústico al ruido aéreo de fachadas (método global del altavoz). UNE-EN ISO 140-5: 1999.							
Acústica	1	2	3	4	5	NS/NR	NA
Determinación del coeficiente de absorción acústico y la impedancia con ayuda de tubos de impedancia. Parte 1: Método de la tasa de ondas estáticas. ISO 10534-1: 1996.							
Determinación del coeficiente de absorción acústico y la impedancia con ayuda de tubos de impedancia. Parte 2: Método de la función de transferencia. ISO 10534-2: 1998.							
Absorbentes para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica. ISO 11654: 1997.							

7. Según su concepto sobre la inversión en tecnología acerca de qué debe hacerse para la investigación desarrollo e innovación sobre nuevos proyectos relacionados en el área de la acústica para el período de 2013-2023, ¿cómo clasifica porcentualmente los siguientes ítems?

Ítem	Porcentaje			
	0 – 30	31 – 60	61 – 90	91 - 100
Nuevos materiales acústicos				
Acústica de la edificación				
Ruido y vibraciones				
Acústica ambiental				
Acondicionamiento acústico y sonorización de espacios				

8. Según su criterio, ¿en qué porcentaje la investigación, la innovación y el desarrollo de nuevos materiales y dispositivos acústicos beneficiarían los siguientes ítems?

Ítem	Porcentaje			
	0 – 30	31 – 60	61 – 90	91 - 100
Ingeniería civil acústica				

Acústica arquitectónica				
Ingeniería de sonido				
Ingeniería acústica				
Ingeniería de materiales				

9. Califique el servicio que prestan los laboratorios actuales en la región y el país para la caracterización de nuevos materiales acústicos en los eventos o procesos.

Evento	1	2	3	4	5	NS/NR	NA
Aislamiento acústico							
Coefficiente de absorción							
Aislamiento acústico (reducción de ruido, pérdida de transmisión sonora, pérdidas de inserción)							
Aislamiento vibratorio							
Determinación de las propiedades intrínsecas de un material Propiedades mecánicas <ul style="list-style-type: none"> <li>• Módulo de Young</li> <li>• Módulo de cortante</li> <li>• Factor de pérdida</li> <li>• Densidad</li> </ul>							
Propiedades acústicas (de materiales porosos) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tortuosidad</li> <li>• Porosidad</li> <li>• Resistencia al flujo estático de aire</li> <li>• Longitud característica viscosa</li> <li>• Longitud característica térmica</li> </ul>							
Modelos matemáticos y simulación acústica <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelos analíticos para la simulación acústica de materiales multicapa</li> <li>• Análisis de elementos finitos o infinitos</li> <li>• Análisis de energía estadístico</li> </ul>							
Software especializado para el diseño de materiales acústicos multicapa							
Evaluación no destructiva y pruebas de materiales compuestos por ultrasonido y emisión acústica							

10. Según su concepto, ¿cuál es la importancia desde el punto científico y tecnológico de contar con centros de ensayo en la caracterización, simulación y experimentación de materiales vibroacústicos, absorción y aislamiento en la investigación de nuevos materiales y dispositivos acústicos?

11. Enumere según su criterio las líneas de investigación futuras relacionadas con el control de ruido acústico y el desarrollo de nuevos materiales.

12. ¿Cómo ve el desarrollo actual del país y la región en la producción e innovación en el campo de los materiales y dispositivos acústicos relacionadas con el control de ruido? ¿Se está generando nuevo conocimiento?, ¿se producen suficientes patentes?

13. ¿Cree que la universidad y la industria están desarrollando actualmente productos innovadores relacionados con la acústica en las construcciones arquitectónicas y los proyectos de control de ruido?

14. Según su criterio, ¿cómo visualiza en diez años el avance de la investigación y los procesos tecnológicos en la región y el país en el tema de nuevos materiales acústicos?

## Anexo C. Temas prioritarios y no prioritarios de la segunda ronda Delphi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Temas prioritarios	Temas en discusión	Temas no prioritarios	Numero de encuestados	% de encuestados			
<b>SISTEMAS PRIORITARIOS</b>																																						
<b>ÁREA DE NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AGÍLTICOS</b>																																						
Polímeros de alto rendimiento																																						
Polímeros de alto rendimiento																																						
<b>SISTEMAS EN DISCUSIÓN</b>																																						
<b>ÁREA DE NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AGÍLTICOS</b>																																						
Resinas epoxi																																						
Composites																																						
Polímeros de alto rendimiento																																						
Composites de alto rendimiento																																						
Polímeros de alto rendimiento																																						
Composites de alto rendimiento																																						
Polímeros de alto rendimiento																																						
Composites de alto rendimiento																																						
<b>SISTEMAS NO PRIORITARIOS</b>																																						

