Evaluación de la calidad del aire interior mediante indicadores ecológicos y sociales asociados a la inmisión de material particulado (PM_{10}) en el área de madera del taller de diseño industrial, Universidad el Bosque, sede Usaquén, periodo 2018-2.

Doris Cristel Barrera Torres

Alvaro Jose Torres Angel

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Noviembre 2018

Evaluación de la calidad del aire interior mediante indicadores ecológicos y sociales asociados a la inmisión de material particulado (PM_{10}) en el área de madera del taller de diseño industrial, Universidad el Bosque, sedé Usaquén, periodo 2018-2.

Doris Cristel Barrera Torres

Alvaro Jose Torres Angel

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Ambiental

Director (a):

David Felipe Beltrán Gómez

Línea de Investigación:

Gestión ambiental, Salud Ambiental y Gestión Integral Sustentable.

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería

2018

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Agradecimientos

En primer lugar, agradecemos a nuestros familiares y amigos
por su apoyo constante e incondicional a través de este largo camino
que nos permitieron formar como personas y profesionales íntegros.
A nuestro director de proyecto David Beltrán por su tiempo y dedicación.
A la profesora Juliana Liloy de L.E.A, quien nos brindó apoyo total en el desarrollo del proyecto.

Por último, a la Universidad El Bosque, especialmente a las directivas del programa
de Diseño Industrial por habernos permitido acceder a sus instalaciones y
disponer de todos los recursos necesarios para el desarrollo de este trabajo.

Tabla de contenido

1. Resumen 1
2. Abstract 1
3. Introducción 2
4. Planteamiento del problema 3
5. Objetivos 4
   5.1 General 4
   5.2 Específicos 4
6. Justificación 4
7. Marcos de referencia 5
   7.1 Antecedentes 5
   7.2 Estado del arte 6
   7.3 Marco Teórico y Conceptual 8
      7.3.1 Contaminación atmosférica 8
      7.3.2 Material Particulado 8
      7.3.3 Contaminación del aire en interiores 9
      7.3.4 Talleres y polvo de madera 9
      7.3.5 Sensores de polvo 10
      7.3.6 Plataforma Arduino 10
      7.3.7 Indicadores 10
   7.4 Marco Geográfico 11
   7.5 Marco Legal y Normativo 13
   7.6 Marco Metodológico 17
      7.6.1 Diseño Metodológico 18
         7.6.1.2 Alcance de la investigación 18
         7.6.1.3 Unidad de análisis 18
         7.6.1.4 Muestra y población 19
         7.6.1.5 Variables, aspectos e indicadores 20
         7.6.1.6 Materiales y técnicas. 21
         7.6.1.7 Técnicas e instrumentos para recolectar la información 24
         7.6.1.8 Técnicas e instrumentos para sistematizar y analizar la información 25

7.6.2 Plan de trabajo 26
7.6.2.1 Esquematización de las diferentes etapas y fases del trabajo investigativo y su descripción 26
7.6.2.2 Cuadro metodológico que integre y articule objetivos, actividades y metodología por objetivo 27
8. Resultados 28
8.1 Etapa 1: Caracterizar el área de maderas, del taller de diseño industrial según la percepción de los estudiantes. 28
8.2 Etapa 2: Determinar el nivel de inmisión de material particulado (PM_{10}) a través de la medición directa por medio de la construcción de un sensor de polvo. 42
8.3 Etapa 3: Realizar un análisis comparativo del estado actual de la calidad del aire del taller. 44
9. Análisis y discusión de resultados 44
9.1 Etapa 1: Caracterizar el área de maderas, del taller de diseño industrial según la percepción de los estudiantes. 44
9.2 Etapa 2: Determinar el nivel de inmisión de material particulado (PM_{10}) a través de la medición directa por medio de la construcción de un sensor de polvo. 49
9.3 Etapa 3: Realizar un análisis comparativo del estado actual de la calidad del aire del taller. 51
10. Conclusiones 53
11. Recomendaciones 54
12. Referentes teóricos 56

Lista de figuras

Figura 1. *Mapa por localidades Bogotá D.C*
Figura 2. *Mapa de la Universidad El Bosque*
Figura 3. *Diseño de distribución del taller de diseño industrial de la Universidad El Bosque*
Figura 4. *Ecuación estadística para proporciones poblacionales*
Figura 5. *Diseño de conexiones*

Figura 6. *Ubicación del sensor de polvo dentro del taller*
Figura 7. *Técnicas e instrumentos para sistematizar y analizar la información*
Figura 8. *Estrategia Metodológica por fases*
Figura 9. *Cantidad de estudiantes presentes en el área de maderas del taller de diseño industrial durante el semestre académico*
Figura 10. *Edades de los estudiantes*
Figura 11. *Sexos de los estudiantes*
Figura 12. *Carrera a la que pertenecen*
Figura 13. *Estudiantes presentes en el taller por semestres*
Figura 14. *Tipo de madera más utilizada*
Figura 15. *Frecuencia de uso de los diferentes tipos de madera por semana*
Figura 16. *Residuos por el trabajo con maderas*
Figura 17. *Horas de trabajo diario en el área de madera*
Figura 18. *Padecimiento de alguna molestia*
Figura 19. *Molestias en los ojos*
Figura 20. *Molestias en la nariz*
Figura 21. *Molestias en la garganta*
Figura 22. *Molestias en la piel*
Figura 23. *Relación de molestias y polvos de madera en el taller*
Figura 24. *Situaciones de mayor riesgo durante el trabajo con madera*
Figura 25. *Situaciones de menor riesgo durante el trabajo con madera*
Figura 26. *Uso de equipos de protección contra polvos de madera*
Figura 27. *Equipos de protección usados contra polvos de madera*
Figura 28. *Actividades que generan mayor cantidad de residuos de madera*
Figura 29. *Actividades que generan una cantidad regular de residuos de madera*
Figura 30. *Actividades que generan menor cantidad de residuos de madera*
Figura 31. *Exámenes clínicos realizados en el último año*
Figura 32. *Comportamiento horario material particulado (PM_{10}) en el área de madera*
Figura 33. *Comportamiento diario material particulado (PM_{10}) en el área de madera*
Figura 34. *Comportamiento promedio material particulado (PM_{10}) en el área de madera*
Figura 35. *Falta de uso de protección por parte de los estudiantes*
Figura 36. *Extractores purificadores de aire Universidad El Bosque*
Figura 37. *Presencia de polvo, viruta o aserrín en el taller*

Lista de tablas

Tabla 1. *Normatividad calidad del aire en Colombia*
Tabla 2. *Normatividad salud ocupacional en Colombia*
Tabla 3. *Variables, aspectos e indicadores por objetivo*
Tabla 4. *Listado de materiales*
Tabla 5. *Técnicas e instrumentos para recolectar la información*

Tabla 6. *Articulación de objetivos, actividades, metodología y resultados esperados por objetivo*
Tabla 7. *Tabla comparativa de niveles permisibles de PM_{10}*
Tabla 8. *Características toxicológicas de algunos compuestos presentes en la madera*
Tabla 9**.** *Tabla de análisis de la normativa*

Siglas y abreviaciones utilizadas

- PM: Material particulado
- PM_{10}: Material particulado de 10 micras
- $PM_{2.5}$: Material particulado de 2.5 micras
- PIB: Producto interno bruto
- AMIS: Air Management Information System.
- DNP: Departamento Nacional de Planeación
- OMS: Organización Mundial de la Salud
- OPS: Organización Panamericana de la Salud
- SIAC: Sistema de Información Ambiental de Colombia
- MAVDT: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
- IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
- IARC: Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer
- µm: Micrómetro o micra
- $\mu g/m^3$: Microgramos/metro cúbico
- EPA: Environmental Protection Agency
- RMCAB: Red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá.

1. Resumen

El principal objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad del aire intramural en el área de maderas, del taller de diseño industrial de la Universidad El Bosque, campus Usaquén, durante el periodo académico 2018-2, a partir de indicadores sociales y ecológicos.

Teniendo en cuenta que el trabajo con maderas es causante de la generación de polvos de madera, los cuales tienen diferentes diámetros de partícula, considerados material particulado de tipo PM2,5 y PM10. Se ha demostrado que estos materiales tienen cierta incidencia en la salud de la población que trabaje continuamente con estos materiales. Para el desarrollo de la investigación, en primera instancia se caracterizó el área de estudio, a través de una encuesta de percepción enfocada a la población de estudiantil, de las carreras de diseño industrial y artes plásticas, continuando con el indicador ecológico, se elaboró un sensor de bajo costo, esto con el fin de medir la inmisión de PM10, durante 2 semanas, comprendidas entre septiembre y octubre de 2018 de la manera más precisa posible a través de la calibración del sensor GPY con el sensor de calidad del aire de la Universidad.

Dentro de los resultados más significativos, se encontró que existe una relación entre los diferentes factores de riesgo a causa del trabajo con maderas y las molestias que se generan en los estudiantes, ya que estos emplean alrededor de dos horas al día en el área de maderas del taller, donde menos del 10% de la población de muestra, no se ha realizado exámenes médicos. Finalmente, las mediciones arrojaron que la inmisión de PM10 no excede los límites permisibles según la normativa.

Palabras clave: Calidad del aire, calidad del aire intramural, indicador ecológico, indicador social, material particulado, PM2, 5, PM10, factor de riesgo.

2. Abstract

.
The main goal of this research was to evaluate the indoor air quality in the wood area, of the industrial design workshop of Universidad El Bosque, in the 2018-2 term, based on social and ecological indicators.

Taking into account that wood work is the reason for wood dust generation, which have different particle diameters, considered particulate matter of PM2.5 and PM10 type. It has been proven that these materials have certain incidence in the health of the people that continuously work with them. For the development of this research, in first instance the study area was characterised, through a perception interview focused to student population, in the industrial design and plastic arts programmes, continuing with the ecological indicator, a low cost sensor was developed, with the aim of measuring the in mission of PM10 for two weeks, between September and October 2018 in the most accurate form, through the calibration of the GPY sensor in comparison to the sensor of the University.

In the most significant results, a relationship between the different wood work risk factors and issues with students was found, given that these are employed approximately two hours a day in the wood area

of the workshop, where less than 10% of the sampled population hasn't taken any medical tests. Finally, the measurements shows that the PM10 in mission doesn't exceed the allowed limits according to the law.

Keywords: Air quality, indoor air quality, ecological indicator, social indicator, particle matter, PM2, 5, PM10, risk factor.

3. Introducción

Actualmente en Colombia, la contaminación atmosférica se ha convertido en uno de los principales problemas ambientales. Según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, (MAVDT, 2010) el deterioro de la calidad del aire, ha generado el incremento de los efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente.

La exposición al polvo de madera por actividades desarrolladas en talleres está asociada a enfermedades respiratorias y dérmicas. El efecto más grave para la salud es el riesgo de cánceres nasales y sinonasales, el cual ha sido predominantemente entre los trabajadores expuestos a polvos de madera dura. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha clasificado el polvo de madera como carcinógeno para los seres humanos según las pruebas epidemiológicas (IARC, 1995).

De acuerdo a la relación existente entre la contaminación atmosférica y los efectos sobre la salud de las personas y el ambiente en general, se han establecido limites en los niveles de inmisión o concentraciones de contaminantes que permiten indicar si la contaminación del aire es baja, moderada o alta, e incluso, si hay situaciones de alerta o emergencia por contaminación (Charres & Gonzales, 2016).

En Bogotá el deterioro de la calidad del aire, ha despertado una preocupación, ya que, a pesar de los esfuerzos realizados durante los últimos años, este problema es cada vez más severo. Esta situación se explica, en parte por el acelerado crecimiento económico que se ha presentado en Bogotá (Gaitán, 2007).

El material particulado (PM) es uno de los contaminantes más importantes presentes en el aire que pueden afectar la salud humana. Por tal motivo, es de gran importancia el monitoreo de PM en interiores, ya que las concentraciones en grandes cantidades son importantes en la salud de los seres humanos, asimismo permite realizar evaluaciones de riesgos ya que la mayoría de los individuos en los países desarrollados pasan la mayoría de su tiempo en interiores (Franck, 2011). La exposición prolongada a material particulado de tipo PM_{10} y $PM_{2.5}$ ha sido asociado con enfermedades respiratorias y cardiovasculares asociadas a dichas causas (Anderson, 2001).

Los monitores de PM pueden clasificarse en aquellos que miden la concentración en masa o la concentración numérica. La masa de PM puede medirse directamente mediante cambios en la penetración de electrones a través de la muestra (BAM) (Krost, Sawicki y Bell, 1977), cambios en la frecuencia de un elemento sensor oscilante (Paprotny, Doering, Solomon, White y Gundel). 2013), Patashnick & Rupprecht (1991) , Snyder et al., 2013), o indirectamente en función de la dispersión de la luz, con el diámetro de partícula estimado por la cantidad de luz dispersada (Snyder et al., 2013). Estos últimos con sistemas de dispersión de luz son los que se pueden considerar actualmente por su bajo

costo. Dichos monitores de bajo costo han ganado atención recientemente porque pueden aumentar nuestra capacidad para caracterizar las concentraciones de PM con alta resolución espacial y temporal a un costo aceptable, ya que muchos de estos dispositivos pueden implementarse simultáneamente (Holstius, Pillarisetti, Smith y Seto, 2014).

4. Planteamiento del problema

El desarrollo de prácticas contempladas en los planes académicos para los diferentes programas de educación superior, suponen la ejecución de actividades enmarcadas bajo el concepto de trabajo, a fin de que los estudiantes aprendan nuevos conocimientos para ser aplicados más adelante en los contextos laborales en los cuales se desarrollen profesionalmente (Barrera, 2014).

Los talleres universitarios diseñados en función de brindar comodidad y facilidad a los estudiantes a la hora de desarrollar actividades referentes a sus áreas de estudio, contribuyen al desarrollo de competencias. Sin embargo, dichas actividades implican ciertos riesgos que no son dependientes del trabajo, sino de las condiciones presentes en el entorno. De acuerdo con lo anterior, nace el interés por evaluar la calidad del aire del taller de diseño industrial de la Universidad El Bosque, Sede Usaquén, teniendo en cuenta que los equipos y el material usado en los talleres son unas de las principales fuentes de peligro donde existen riesgos de sufrir daño o enfermedad.

El MAVDT, definió la contaminación atmosférica como “el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire”. Debido a ello, cabe resaltar que el polvo de madera generado en los talleres es una acumulación de cualquier partícula de madera resultante del procesamiento o manejo de la madera, que al estar presentes en el aire facilita su dispersión, y de acuerdo a su diámetro pueden ser de fácil inhalación para los estudiantes lo que repercute en un problema en términos de salud y calidad del aire.

Teniendo en cuenta que no se ha expedido ninguna normativa de calidad del aire intramuros, es necesario adoptar las definiciones y las mediciones que se realizaron para calidad del aire exterior, emitidas por los diferentes entes del control, que existen en el país.

Por lo tanto según el último informe presentado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2017) sobre la calidad de aire en Colombia, donde se evaluaron contaminantes como partículas menores a 2.5 micras ($PM_{2.5}$), menores a 10 micras (PM_{10}), dióxido de nitrógeno, ozono, monóxido de carbono y dióxido de azufre, para el año 2017, por las Corporaciones Autónomas Regionales correspondientes, se obtuvieron datos donde Bogotá y Medellín son las ciudades más contaminadas del país.

El término “calidad del aire” se ha incorporado al léxico común, de manera contundente, debido al notable deterioro de la calidad del aire en la ciudad de Bogotá, generando una creciente preocupación por parte de las autoridades ambientales y de salud pública. Sin embargo, como medida frente a lo

anterior, desde el año 1997 se cuenta con la red de monitoreo de la calidad del aire (RMCAB), la cual se encarga de hacer seguimiento, en tiempo real, de las concentraciones de los distintos contaminantes así como de diversas variables meteorológicas (Gaitán, 2007).

Actualmente, en el Taller de diseño industrial de la Universidad El Bosque, a pesar de que las condiciones de ventilación sean pertinentes y se hayan implementado normas de seguridad impuestas por la universidad en el área de trabajo, ciertas actividades como corte, limpieza, lijado, pulido de madera, entre otras, afectan a la comunidad educativa debido a las altas concentraciones de material particulado presente en el área de trabajo.

A fin de conocer la cantidad de material particulado presente en el taller, se busca evaluar las condiciones de calidad del aire interior como consecuencia de la presencia de polvo, identificando puntos y origen de emisión, en aras de conservar la salud de las personas que realizan actividades en dicha área de trabajo y promover la calidad de vida. Por lo anterior, se formuló la siguiente pregunta de investigación: **¿Cuál es el estado de la calidad del aire intramural en el área de maderas del taller de diseño industrial de la Universidad El Bosque, a partir de la implementación de indicadores sociales y ecológicos?**

5. Objetivos

5.1 General

Evaluar la calidad del aire interior mediante indicadores ecológicos y sociales asociados a la inmisión de material particulado (PM_{10}) en el área de madera del taller de diseño industrial, Universidad el Bosque, sedé Usaquén, Bogotá D.C.

5.2 Específicos

- Caracterizar el área de maderas del taller de diseño industrial, teniendo en cuenta la ercepcion de los estudiantes.
- Determinar el nivel de inmisión de material particulado (PM_{10}) a través de la medición directa por medio de la construcción de un sensor de polvo.
- Realizar un análisis del estado de la calidad del aire del taller.

6. Justificación

La Universidad El Bosque, ubicada en la ciudad de Bogotá, D.C, se ha caracterizado a lo largo de los años por ser una institución donde su comunidad puede practicar los conocimientos adquiridos en las sesiones teóricas, caso que se presenta en el taller de diseño industrial, lugar donde los estudiantes llevan a cabo el diseño de diferentes proyectos, mediante la construcción de prototipos y modelos. La presencia de alumnos de las carreras de diseño industrial y artes plásticas en el área de maderas, del taller de diseño, trabajan en promedio entre dos y tres horas al día donde realizan diferentes procesos divididos en dos etapas: preparación y construcción.

En las etapas mencionadas anteriormente se da una generación de residuos de diverso tamaño como virutas, aserrín y polvos, que entran en contacto con los estudiantes por vía dérmica y respiratoria lo cual no solo ocasiona molestias en estas zonas sino también visuales y auditivas, las cuales son consideradas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como un agente que a mediano y largo plazo genera enfermedades mortales en los seres humanos. Pese a que en el taller de diseño exige el uso de guantes, tapabocas y protectores para los ojos, el contacto es inevitable debido al tamaño reducido de las partículas generadas al trabajar con diferentes materiales.

Es aquí donde la evaluación de la calidad del aire intramural en el área de maderas de la Universidad El Bosque, sede Usaquén, cobra gran valor, debido a que la contaminación atmosférica en nuestro país ha ido incrementando exponencialmente. De este modo el seguimiento constante es una herramienta importante en la gestión ambiental permitiendo tomar acciones que regulen el incremento de ciertos contaminantes presentes en el aire. A pesar de que la ciudad de Bogotá cuenta con la Red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá, RMCAB, para la evaluación de contaminantes, esta no resulta eficiente puesto que se enfoca en términos de calidad del aire exterior. Por lo anterior se propone generar nuevas técnicas de bajo costo que permitan conocer el estado de la calidad del aire en interiores.

No obstante, este trabajo se centra bajo la línea de investigación de la Facultad de ingeniería, específicamente del departamento de ingeniería ambiental, gestión ambiental, la cual se enfoca principalmente en promover un mejor entorno donde se tenga en cuenta la comunidad estudiantil, abarcando determinantes ambientales enfocados al control de material particulado, teniendo en cuenta la frecuencia con la que los estudiantes realizan proyectos en este lugar y las posibles afectaciones en la salud. Basándose en el enfoque biopsicosocial que usa la Universidad el Bosque en pro de que se dé un ambiente propicio en el entorno de trabajo más agradable para el desarrollo de actividades, mejorando el aprendizaje entre alumnado y profesores.

Es importante determinar el estado actual de la calidad del aire, en este lugar, a través de la aplicación de indicadores sociales y ambientales que permitan establecer la situación real en el área de maderas, fomentando en futuras investigaciones el desarrollo de propuestas que contribuyan a la implementación de mejores prácticas.

7. Marcos de referencia

7.1 Antecedentes

Las problemáticas ambientales relacionadas con la calidad del aire datan desde nuestros inicios como especie, pero la preocupación por los problemas asociados al deterioro de la misma es relativamente reciente. La modificación en la atmosfera a causa de los diferentes procesos naturales tales como los volcánicos, biogénicos, desérticos, marinos o antropogénicos, es decir, aquellos causados por actividades humanas como la minería, la construcción, el transporte y la agricultura, siendo estas últimas las que más inciden negativamente sobre la calidad del aire, a través de los años, ha contribuido a la propagación de

contaminantes, generando repercusiones negativas sobre los ecosistemas y la salud humana (Querol, 2008).

Desde el año 1950, en los países de América Latina y el Caribe se reflejó una preocupación por la contaminación del aire que más tarde, en 1965, el Consejo Directivo de la OPS recomendó a su Director el establecimiento de programas de investigación de la contaminación del agua y del aire, con el objeto de colaborar con los gobiernos miembros en el desarrollo de políticas adecuadas de control. Para la década de 1990, la OMS organizó, con carácter global, el Sistema de Información para el Control de la Calidad del Aire llamado AMIS por sus siglas en inglés Air Management Information System. En 1997, la red GEMS-Air desapareció como tal para integrarse al AMIS (Korc, 1999).

En el 2005, la Organización Mundial de la Salud (OMS) realizó un estudio de comparación de las distintas regiones en el mundo, concluyendo que Asia y Latinoamérica tienen concentraciones mayores de PM_{10} que Europa y Norteamérica debiéndose principalmente a su crecimiento en producción industrial y el uso de combustibles de baja calidad (WHO, 2005).

En la actualidad debido al diagnóstico de la contaminación del aire a través de la red de monitoreo de calidad del aire, se han permitido establecer tendencias de contaminación en la ciudad y entender las variables que determinan dichas tendencias. Además, esta sirve como herramienta de soporte técnico y científico para las medidas y políticas que el gobierno local desee establecer con el fin de mejorar las condiciones ambientales de la ciudad (Gaitán, 2007).

7.2 Estado del arte

En el presente trabajo se emplearon como referencias aquellas investigaciones a nivel internacional (países europeos), países de América Latina y por supuesto investigaciones a nivel nacional. A continuación, se dará una breve contextualización de los principales referentes para la evaluación de la calidad del aire interior mediante indicadores ecológicos y sociales asociados a la inmisión de material particulado (PM_{10}) en el área de madera del taller de diseño industrial, Universidad El Bosque, sedé Usaquén, Bogotá, D.C.

Para empezar, a nivel internacional se tomaron referentes que expresaron en sus trabajos el problema de trabajar maderas y cómo estas pueden afectar a la población. Los autores Black & Summers (2007) en su trabajo "*Occupational exposure to wood dust in the British woodworking industry in 1999/2000*" expresan la importancia que tienen los sistemas de ventilación en las industrias madereras, y actualizan el estado de la investigación en este campo hasta el año 2007. Los sistemas de ventilación se definen como medio de control de exposición al polvo. Este es un tema potencialmente complejo y depende de la adecuación del diseño del sistema, la puesta en marcha, mantenimiento y uso correcto. Este trabajo aporta a la búsqueda de soluciones y requerimientos mínimos que se hacen necesarios a la hora de llevar actividades que generan material particulado en las áreas de trabajo.

Continuando con los referentes internacionales, se tomó el autor Douwes y su trabajo en 2017 *"Wood dust in joineries and furniture manufacturing: an exposure determinant and intervention study",* el cual es relevante dentro de esta investigación porque argumenta que el uso de herramientas manuales y métodos de limpieza convencionales (limpieza en seco y barrido) contribuyen significativamente a altas exposiciones en los trabajadores dedicados a la carpintería. En este sentido, se puede tomar como punto de referencia en relación con las máquinas y procesos que se llevan a cabo dentro del área de maderas en el taller de diseño; y, en consecuencia, se puede establecer una comparación entre los diferentes procesos que se llevan a cabo en el área de maderas y así determinar áreas críticas o de mayor afectación.

Como principal referente internacional se encuentra la Organización Mundial de la Salud (OMS), la cual en el año 2005 publicó las "*Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre"*. Esta guía aborda la importancia de preservar la calidad del aire a partir de diferentes estándares dados por países europeos. Además, expone los límites permisibles de exposición a los diferentes tipos de contaminantes tanto a nivel anual, como diario. Para nuestro caso, la guía argumenta que, para el PM_{10}, el límite permisible se considera de 20 $\mu g/m^3$ (media anual) y 50 $\mu g/m^3$ (media de 24 horas).

A nivel Latinoamérica, Cristian Lara y su investigación en 2018 "*Determinación de las concentraciones de material particulado orgánico volátil en el barrio la esperanza, ciudad de Riobamba, por incidencia de aserraderos"*, argumenta la importancia de evaluar las concentraciones de material particulado $PM_{2.5}$, PM_4 y PM_{10} generado por el trabajo con maderas, en este caso aserraderos de tipo informal. Para la realización del estudio referido se empleó una metodología similar a la que se busca implementar en esta investigación, donde se efectuaron mediciones periódicas de material particulado y además se aplicaron encuestas de percepción a la comunidad afectada. Posteriormente, se compararon los resultados obtenidos mediante análisis estadísticos, brindando ciertas recomendaciones como conclusión de la investigación.

La siguiente investigación *"Generación de polvos de madera en talleres de la escuela de laudería del instituto nacional de bellas artes y literatura, México"* fue realizada en 2017 por el autor Joaquín Quiroz. Tiene como objeto central la identificación del riesgo por la exposición a polvos de madera en los talleres de construcción de instrumentos musicales de cuerda frotada y cómo está asociada con enfermedades alérgicas y no alérgicas como dermatitis, conjuntivitis-rinitis, asma, alveolitis alérgica extrínseca y cáncer, entre otras. De aquí se puede enfatizar la importancia del problema y cómo la presencia de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) generado por la madera se relaciona directamente con cierto tipo de enfermedades en la piel, vías respiratorias y en los ojos.

Como referentes a nivel nacional, se encuentra Juan Sebastián Barrera, quien en 2014 elaboró un "*Estudio de las condiciones de trabajo de un taller de maderas a partir de la percepción de los estudiantes de diseño industrial en el desarrollo de sus prácticas académicas de una universidad privada de Bogotá.".* En este estudio se identificó una problemática evidente, debido a las condiciones presentes en el taller de maderas de la Universidad y las estadísticas de accidentalidad de esta área simulada de trabajo, en relación a la determinación de condiciones de trabajo inmersas en el desarrollo de la actividad formativa dentro de la misma. Esta investigación es de gran importancia debido a la semejanza con el

tema y objeto de estudio que se desea abordar en el presente caso, y cómo la percepción de los estudiantes puede influir directamente sobre las actividades que se llevan a cabo en el taller.

Por último, María Montoya (2013) con su trabajo *"Contaminación ambiental por PM_{10} dentro y fuera del domicilio y capacidad respiratoria en Puerto Naré, Colombia"*, brinda una perspectiva en la que se busca explorar la relación entre los niveles de PM_{10} intra y extra domiciliario en los habitantes de Puerto Naré, Antioquia. Gracias a esta investigación se puede establecer qué métodos son los más adecuados para determinar las condiciones ambientales a nivel intramural. En este caso se usaron las encuestas, la observación, y la medición de PM_{10} por 24 horas.

Como conclusión, todas las investigaciones, sin importar el país donde se realizaron, ya sea Nueva Zelanda, Inglaterra, México, Ecuador o Colombia, entre otros, en el campo de la salud ocupacional o en el de la calidad del aire, todas enfatizan el problema de trabajar con maderas de modo prolongado pese a que se cumpla con las especificaciones en cuanto a medidas de protección o a los extractores purificadores de aire; y, en consecuencia, se pueden generar alteraciones en la salud, por el contacto con la piel, las vías respiratorias y los ojos. De ahí la importancia de realizar evaluaciones de la calidad del aire en sitios donde pueda existir una posible afectación a la comunidad, tal como indican los estudios señalados.

7.3 Marco Teórico y Conceptual

En el presente apartado se destacan algunas teorías y conceptos, que permiten la interpretación de la temática descrita en dicho trabajo, con el fin de responder a la pregunta de investigación planteada: ¿Cuál es el estado de la calidad del aire intramural en el área de maderas del taller de diseño industrial de la Universidad El Bosque, a partir de la implementación de indicadores sociales y ecológicos?

7.3.1 Contaminación atmosférica

Según el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), la contaminación atmosférica es el fenómeno de acumulación y concentración en la atmosfera de fenómenos físicos o sustancias o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana. Resultantes de diferentes fuentes de emisión que modifican la calidad del aire. Existe un sinnúmero de contaminantes dispersos en el aire, en Colombia y el mundo se han establecido como referencia de los problemas de contaminación atmosférica los niveles de emisión e inmisión del Material Particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), del dióxido de azufre (SO_2), del dióxido de nitrógeno (NO_2), del ozono troposférico (O_3) y del monóxido de carbono (CO), también conocidos como contaminantes criterio.

7.3.2 Material Particulado

El material particulado está compuesto por partículas sólidas, suspendidas y dispersas en el aire, el cual se ha clasificado en términos de diámetro, ya que presenta diferente tamaño y forma; por ello se agrupa

en partículas finas y gruesas. Las partículas finas son aquellas que tienen un diámetro menor o igual a 2,5 µm ($PM_{2.5}$); y las partículas gruesas, cuyo diámetro oscila alrededor de las 10 µm, (PM_{10}) (Sánchez, 2016). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el material particulado es considerado uno de los contaminantes atmosféricos más peligrosos en el mundo, siendo la industria maderera originaria de grandes transformaciones en el ambiente, al ser una de las actividades antrópicas que más emite este tipo de material, ocasionando así el deterioro de la calidad del aire.

7.3.3 Contaminación del aire en interiores

En términos de contaminación del aire esta se divide en dos niveles: la contaminación del aire exterior que se da por fuentes fijas y móviles y contaminación del aire interior que se da en espacios cerrados. Para efectos de este trabajo, la contaminación del aire interior se enfoca en las aulas de las diferentes áreas del taller; no obstante, suele presentarse en casas, oficinas, restaurantes, escuelas, etc. Dichos lugares son aquellos en los cuales pasamos la mayor parte de nuestro tiempo, donde el aire interior puede contener mezclas de diferentes contaminantes. La EPA (Environmental Protection Agency) estima que las personas sufren el 72% de la exposición a los contaminantes químicos cuando están en espacios interiores; sin embargo, algunos de ellos suelen proceder del exterior, los cuales pueden generar grandes riesgos en términos de vulnerabilidad en la salud.

7.3.4 Talleres y polvo de madera

De acuerdo con Barrera (2014), el taller de maderas es el principal y más usado por la naturaleza del plan de estudios académicos de Diseño Industrial. Para llevar a cabo la fabricación de productos o estructuras de madera, dichos lugares cuentan con máquinas tales como, sierra sin fin, sierra circular, trompo, torno, taladro de árbol y manual, pulidora de banco, pulidora de torno, lijadoras tanto industriales como manuales, etc. Como consecuencia de lo anterior tenemos que, en los últimos años, el personal de salud y seguridad en sectores de fabricación primaria de la industria forestal han comenzado a centrar la atención en la exposición al polvo de madera, en gran parte debido a la designación de polvo de madera como carcinógeno humano por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, 1995).

El material particulado derivado de los polvos de madera depende considerablemente de la especie de árbol y consiste principalmente en una mezcla de celulosa, poliosis y lignina (Weber, 1993), resultante de las actividades realizadas a través de máquinas o herramientas usadas para el corte o dar forma a materiales de madera. Un estudio realizado en México acerca de la *Generación de polvos de madera en talleres de la escuela de laudería del instituto nacional de bellas artes y literatura* (Quiroz, 2017), denota que las actividades con madera implican una serie de procesos divididos en etapas de preparación y construcción, ambas generadoras de residuos de diversos tamaños como virutas, aserrín y polvos. A manera de conclusión, este estudio arrojo que la construcción de un violín clásico, contiene únicamente el 15 % de la madera inicial, lo que implica que el 85 % de la madera restante se convirtió en viruta, aserrín y partículas de diverso tamaño.

7.3.5 Sensores de material particulado

Son una herramienta que tiene como función principal detectar el material particulado. Estos sensores permiten realizar mediciones de la composición de las partículas en suspensión inhalables. Son elementos electrónicos que, con la sola presencia del elemento a detectar, varían la señal de salida. No hace falta que hagan contacto físico con dicho elemento.

Su elección depende del material del objeto a detectar, el entorno y el ambiente donde van a ser instalados. Dichos sensores se pueden dividir en diferentes tipos. Dentro de los más usuales encontramos los siguientes: inductivos, capacitivos, ópticos, magnéticos y ultrasónicos.

7.3.6 Plataforma Arduino

Según la página oficial (Arduino, 2018) [1]

> *Es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. Está pensado para artistas, diseñadores, como hobby y para cualquiera interesado en crear objetos o entornos interactivos, que permitan sensor y controlar objetos en el mundo real.*

Las placas se pueden ensamblar a mano o encargarlas pre ensambladas; el software se puede descargar gratuitamente. Los diseños de referencia del hardware (archivos CAD) están disponibles bajo licencia open-source, adaptables a las diferentes necesidades.

7.3.7 Indicadores

Los indicadores son herramientas fundamentales para el aprendizaje y a la vez son instrumentos estratégicos para la valoración y el seguimiento de los objetos en estudio. Ellos pueden definirse como variables sintéticas (Jiménez & Higón, 2003).

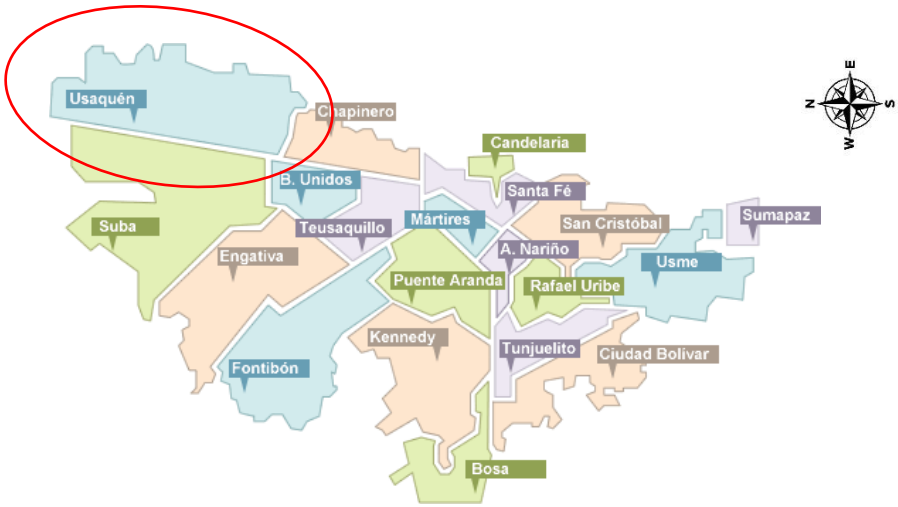
- **Indicador social:** Los indicadores sociales, son de índole estadística y permiten medir datos y hechos vinculados al bienestar social de una población (Gómez & Sabeh, 2001).
- **Indicador ecológico:** Según lo expresa la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) los indicadores ambientales son un parámetro o valor derivado que proporciona información para describir el estado de un fenómeno, ambiente o área de una forma más detallada.

[1] Cf. Página oficial Arduino: https://www.arduino.cc/

7.4 Marco Geográfico

La ciudad de Bogotá se encuentra subdividida en 20 localidades agrupadas en más de 1.200 barrios. El presente trabajo se llevó a cabo en la localidad de Usaquén que cuenta con una extensión total de 6.531,32 hectáreas, se ubica en el extremo nororiental de la ciudad y limita, al occidente con la Autopista Norte, que la separa de la localidad de Suba; al sur con la Calle 100, que la separa de la localidad de Chapinero; al norte, con los municipios de Chía y Sopó y al oriente, con el municipio de la Calera. Recibió su nombre del cacique Usaque, es el número 1 de Bogotá y hasta 1954 fue un municipio de Cundinamarca. (ver Figura 1).

Figura 1. *Mapa por localidades Bogotá D.C.*



Fuente: *Imágenes google*

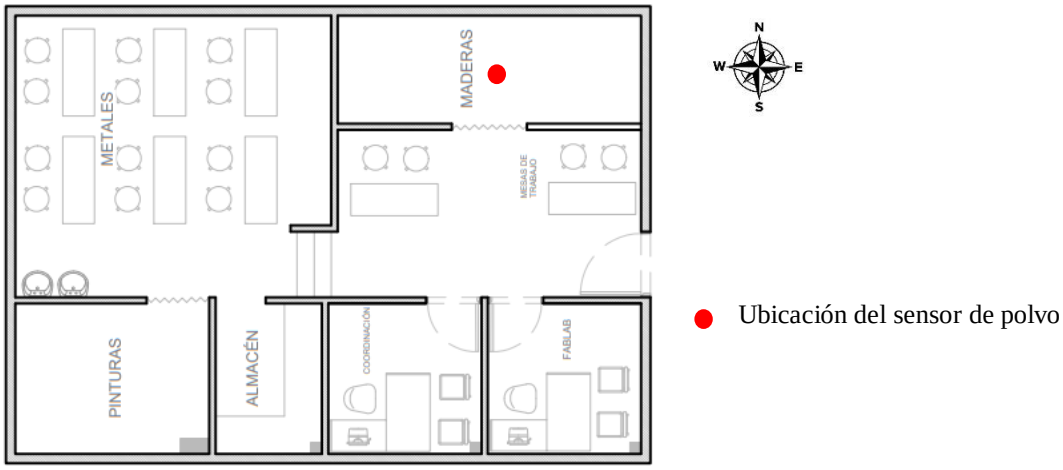
Por otra parte, este tema de investigación surge en la ciudad de Bogotá D.C, en la localidad de Usaquén sede donde se encuentra ubicada la Universidad El Bosque, y en ella el taller el cual comenzó con un tamaño reducido para la facultad de diseño industrial, donde su área no superaba 40m^2 siendo este compartido con las carreras de artes plásticas y música. En ese momento solo comprendía una serie de salones, taller de préstamo y fotografía. A partir del año 2014 el taller tuvo una remodelación aumentado su área a 600m^2 incrementando casi 15 veces su área original, además, de su crecimiento físico se contó con la adquisición de máquinas de alta tecnología como corte laser, prototipado 3D y scanner 3D, y finalmente se incorporaron el área de Fablab, oficina de préstamo, maderas, plásticos, metales y pinturas.

Figura 2. *Mapa de la universidad El Bosque*

Fuente: *Universidad El Bosque*

Con respecto a el taller de diseño industrial de la Universidad El Bosque, este, queda ubicado en la sede Usaquén, con aproximadamente un área de 600 $m^{2,}$ el cual se distribuye según la actividad que se quiera realizar; destacan el área de pintura, el área de metales, el almacén de préstamo de herramientas, oficinas de coordinación, el Fablab y el área de madera, la cual será el foco de este trabajo como se muestra en la Ilustración 2.

Figura 3. *Diseño de distribución del taller de diseño industrial de la Universidad El Bosque*



Fuente: *Elaboración autores*

Para el área de maderas se cuenta con un solo extractor purificador de aire el cual está conectado al sistema principal de ventilación de todo el taller. Dentro de esta área se manejan maquinas como las

caladoras, la sierra sin fin, la planeadora, la acolilladora, el torno, cepillo para madera, ruteadora, lijadora de banda, taladros.

7.5 Marco Legal y Normativo

Para el desarrollo de la investigación se tuvo en cuenta diferentes normativas enfocadas a calidad del aire, calidad del aire intramural y salud ocupacional. Si bien esta última no constituye el foco del presente trabajo, se consideró oportuno incluir unas referencias sucintas a las normativas referidas a este ámbito dado que los resultados de la investigación pueden ser tomados en cuenta por los responsables de la gestión ambiental universitaria para adoptar algunas medidas que pudieran ajustar las prácticas en el taller al bienestar de la población estudiantil.

Tabla 1. *Normatividad calidad del aire en Colombia*

Normativa Calidad del aire		
Normativa	**Entidad**	**Relación con el trabajo**
Constitución Política de Colombia 1991	Asamblea Nacional Constituyente	**Artículo 70:** Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La Ley 17 garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.
Ley 99 de 1993	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	**Artículo 332:** Este artículo hace referencia la contaminación ambiental, en este caso la contaminación del aire.
Decreto 948 de 1995	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	**Artículo 2:** Definiciones principales de contaminantes **Artículo 3:** Tipos de contaminantes **Artículo 5:** Distintas clases de normas y estándares aplicables en calidad del aire.
Política de salud ambiental (línea de calidad del aire y salud) (2010)	Secretaria Distrital de Salud Dirección de Salud pública	Definición de contaminantes criterio Contaminación intramural y normativa en el país.
Política de Prevención y Control de la Contaminación de la Calidad del Aire (2010)	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	**Capítulo 3:** El tema principal de este capítulo es los avances en la prevención y control de la contaminación del aire en Colombia, donde se argumenta la

		relación intrínseca, entre la contaminación del aire extra e intra mural.
Guías de la OMS sobre calidad del aire interior: contaminantes químicos(2010)	Organización Mundial de la Salud (OMS)	**Capítulos Benceno-Formaldehido:** En este capítulo se explican las fuentes de contaminación aérea a nivel intramural, en este caso la madera, lo cual está compuesta según su clase por Bencenos, formaldehidos, entre otros compuestos químicos. Según la actividad que se realice las vías de exposición a las personas varia, asi mismo los efectos en la salud y las normativas pertinentes.
Política Distrital de Salud Ambiental para Bogotá (2011)	Alcaldía Mayor de Bogotá	**Capítulo 1.2:** En este capítulo se habla acerca de la contaminación intramural debido a diferentes tipos de partículas y como estas pueden afectar la salud de las personas.
Política Ambiental Universidad El Bosque (2014)	Universidad El Bosque	**Introducción:** Se habla acerca de La orientación estratégica de la Universidad El Bosque en relación con el fundamento del respeto a la relación sociedad-ambiente de la presente política, lleva pensar lo ambiental como un pilar fundamental Para lograr un desarrollo en la salud y la calidad de vida de toda la comunidad universitaria. **Subsistema aire limpio:** Se expresa la intención de formular estrategias de mejora del desempeño del sistema aire de la

		Universidad El Bosque, para asegurar de protección de la salud humana. **Subsistema de Salud Ocupacional y Seguridad Industrial:** Este subsistema busca asegurar el bienestar físico, mental y social de los colaboradores de la Universidad El Bosque en todas sus ocupaciones, protegiéndolos de los riesgos que puedan causar el desmejoramiento de la salud por las Condiciones de trabajo.
Resolución 2254 de 2017	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Se adoptan normas de calidad del aire y se dictan otras disposiciones, como: **Capítulo 1:** Objeto, ámbito de aplicación y niveles permisibles de contaminantes en el aire. **Capítulo 2:** En el artículo 10 se habla acerca de rangos de concentración y exposición a un contaminante.

Fuente: *Elaboración autores*

Tabla 2. *Normatividad salud ocupacional en Colombia*

Salud Ocupacional		
Normativa	**Entidad**	**Desarrollo**
Ley novena de 1979	Secretaria Distrital de Salud	**Artículos 41 al 48:** Se expresa el fin de preservar, conservar y mejorar la salud de los individuos en sus ocupaciones.
Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material	Organización Mundial de la Salud (OMS)	**Capitulo Material particulado:**

particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre (2005)		En este capítulo se expiden los límites permisibles de material particulado PM10 anual y diariamente, además se citan argumentos de diferentes referentes teóricos acerca de la afectación que este contaminante puede tener sobre la salud.
Protocolo para la vigilancia sanitaria y ambiental de los efectos en salud relacionados con contaminación del aire en Colombia (2012)	Ministerio de Salud y Protección Social	Lineamientos para la preservación de la salud en entornos laborales, donde la calidad del aire, se puede ver afectada.

Fuente: *Elaboración autores*

Para empezar como referente legal se tomó la Constitución Política de al año 1991, la cual expresa en el Articulo 70, que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano, bajo este lineamiento es importante velar porque calidad del aire en el área de maderas, en el taller de diseño industrial de la Universidad el Bosque sea la adecuada tanto como para sus estudiantes como sus trabajadores.

Continuando con la Ley 99 de 1993, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en el Artículo 332 se argumenta acerca de la contaminación ambiental y como la contaminación ambiental es un criterio que se debe tener en cuenta dentro de esta. Gracias a la inclusión de la calidad del aire dentro de la Ley 99 de 1993 se expide el Decreto 948 de 1995, También por el por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, donde a través de diferentes artículos, como por ejemplo el Articulo 2 define los principales contaminantes, el Articulo 3 Caracteriza los contaminantes, según su tipo y por último el Articulo 5, dicta cierto tipo de normas y estándares que se pueden aplicar a la contaminación del aire y la calidad del aire.

Dentro de las normas, es importante resaltar las Guías de calidad del aire por la OMS en 2005, ya que es gracias a este documento donde se radica un concepto de más claro y especifico de que es y cómo puede afectar la salud el material particulado, en el capítulo de material particulado, además se publican los límites permisibles del PM_{10}, en este caso el contaminante pertinente para esta investigación.

En el año 2010 en el país las entidades públicas entienden la importancia e incidencia que tiene la calidad del aire sobre la salud humana por lo cual la Secretaria Distrital de salud expide La Política de Salud Ambiental (línea de calidad del aire) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la Política de prevención y control de la contaminación de la calidad del aire, donde se estipulan los contaminantes criterio y las normativas pertinentes para la contaminación intramural. Asimismo la OMS, publico la

Guía de la OMS sobre calidad del aire interior: contaminantes químicos, la cual clasifica según los compuestos químicos, derivados de diferentes actividades y materiales, la forma en que afectan a las personas mediante las diferentes formas de exposición, los efectos en la salud, y las normativas pertinentes, según el caso.

Para el año 2011 la Alcaldía Mayor de la ciudad de Bogotá, con la Política distrital de salud Ambiental para Bogotá, en el Capítulo 1.2 se argumenta la influencia de los contaminantes a nivel intramural en la salud humana.

En el año 2012 el Ministerio de Salud Protección Social, con el Protocolo para la vigilancia sanitaria y ambiental de los efectos en salud relacionados con contaminación del aire en Colombia en 2012.A lo largo de todo el documento se dan los lineamientos de preservación de la salud en entornos laborales, debido a las afectaciones en la calidad del aire.

Debido a que este trabajo se desarrolla en la Universidad el Bosque, sede Usaquén , es pertinente incluir la Política Ambiental de la Universidad el Bosque de 2014 ,donde a través de diferentes capítulos como la Introducción, el subsistema aire limpio y el subsistema de Salud Ocupacional y Seguridad Industrial, argumentan el compromiso que tiene la entidad educativa por velar con el bienestar de la comunidad estudiantil, a partir de la formulación e implementación de estrategias que mejoren el desempeño de la calidad del aire en pro de la salud humana.

Por último el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible , en el año 2017, expidió la Resolución 2254 ,la cual derogo resoluciones y leyes anteriores en cuanto a la calidad del aire exterior, sin embargo es aplicable a este investigación, ya que no existe ninguna normativa de calidad del aire intramuros en Colombia por otro lado esta publicó los límites permisibles, anules y diarios según el tipo de contaminante criterio , además de la emisión de la información de estos datos a través de la red monitoreo de la calidad aire, esto es pertinente para la calibración del sensor de PM_{10}. Por otro lado, la OMS (2010), diseño unas pautas de calidad del aire para partículas recomendadas por la actualización global de 2005 (3) que también son aplicables a espacios interiores, ya que no existe evidencia convincente de una diferencia en la naturaleza peligrosa de las partículas provenientes de fuentes interiores en comparación con las del exterior.

7.6 Marco Metodológico

A continuación, se hará una descripción detallada de la metodología plateada para el presente trabajo, la cual se basó en los autores Hernández, Fernández & Baptista (2016), el cual se divide en dos grandes apartados el primero de ellos el diseño metodológico y el segundo el plan de trabajo, que a su vez se subdividen en diferentes procesos secuenciales, con el fin de dar cumplimiento a los objetivos planteados.

7.6.1 Diseño Metodológico

Para dar inicio al desarrollo del diseño metodológico realizado, se tuvieron en cuenta cuatro fragmentos importantes señalado por Hernández, Fernández & Baptista (2016) como: enfoque de la investigación, alcance de la investigación, unidad de análisis y muestra y población.

7.6.1.1 Enfoque de la investigación

La presente investigación tiene un enfoque mixto, basándose en lo expresado por Hernández, Fernández & Baptista (2016), debido a que incluye diferentes características tanto del enfoque cuantitativo como del enfoque cualitativo. El enfoque cuantitativo pretende medir fenómenos, como PM_{10} dentro del taller de diseño industrial, en el área de maderas, utilizando un sensor, programado a través de Arduino, el cual arrojara datos de manera periódica, los cuales se analizarán a través de estadística descriptiva como distribución de frecuencias, medidas de tendencia central, promedios y graficas con herramientas ofimáticas como Excel. Este será un proceso secuencial ya que requiere ser desarrollado etapa por etapa.

En cuanto al enfoque cualitativo abarca la amplitud del fenómeno en afectación a la calidad del aire por la emisión de PM_{10} en el taller de diseño industrial, en el área de maderas, teniendo en cuenta el componente social, mediante la realización de encuestas que permitan identificar la percepción de la comunidad estudiantil, que realiza actividades en este lugar.

7.6.1.2 Alcance de la investigación

La investigación ha desarrollar se ha fijado con un alcance de tipo descriptivo, ya que el objetivo del proyecto busca medir el PM_{10} dentro del área de maderas del taller de diseño industrial de la Universidad el Bosque, sede Usaquén. A partir de la información obtenida o deducida en las mediciones y encuestas, la que permitirá realizar una estimación del comportamiento de este, mediante estadística descriptiva, los cuales permitan identificar aquellas áreas donde los procesos son más críticos, facilitando dimensionar el estado de la calidad del aire, en el lugar.

7.6.1.3 Unidad de análisis

En la presente investigación se toma como unidad de análisis la medición de un contaminante criterio como el PM_{10} dentro del taller de diseño industrial de la Universidad El Bosque, a través de información suministrada por estudiantes y profesores quienes desempeñan actividades dentro del área de madera, teniendo en cuenta lo que dice Hernández, Fernández & Baptista (2016) ya que se realizarán encuestas de percepción y mediciones que contribuirán a la evaluación de la calidad del aire actual en el taller.

7.6.1.4 Muestra y población

Como se describe en el apartado anterior teniendo en cuenta la unidad de análisis se llevó a cabo una encuesta para conocer la percepción estudiantil, sobre la calidad del aire intramuros, por la presencia de polvos de madera en el aire y su efecto en la salud humana. Para este cuestionario, la ***población*** escogida fueron estudiantes de carreras como diseño industrial y artes plásticas y como ***muestra,*** un subgrupo de 291 alumnos, de estas carreras, que empleen maquinas dentro el área de maderas en el taller de diseño industrial de la Universidad el Bosque, sede Usaquén.

Se eligió para este trabajo, una muestra probabilística, según lo expresa Sampieri (2016): "*En las muestras probabilísticas todos los elementos de la población tienen la misma posibilidad de ser escogidos y se obtienen definiendo las características de la población y el tamaño de la muestra, y por medio de una selección aleatoria o mecánica de las unidades de análisis"*

Para calcular la cantidad de personas que se tuvieron en cuenta en la muestra representativa se usó la siguiente formula:

Figura 4. *Ecuacion estadistica para proporciones poblacionales*

$$n = \frac{z^2(p \times q)}{e^2 + \frac{(z^2(p \times q))}{N}}$$

Formula tomada de (Hernández, Fernández & Baptista 2016)

Donde:

n: Tamaño de la muestra
z: Nivel de confianza deseado
p: Proporcion de la poblacion con la caracteristica deseada (éxito)
q: Proporcion de la poblacion sin la caracteristica deseada (fracaso)
e: Nivel de error dispuesto a cometer
N: Tamaño de la población

Por lo tanto:

z: 95%
e: 5%
p: 50%
q: 50%
N= 1200 personas (valor aproximado como resultado de la entrevista realizada al encargado del taller)

$$n = \frac{1.96^2(0{,}5 \times 0{,}5)}{0{,}05^2 + \frac{(1{,}96^2(0{,}5 \times 0{,}5))}{1200}}$$

Donde se obtuvo como resultado una muestra representativa de 291 alumnos.

7.6.1.5 Variables, aspectos e indicadores

Para la identificación de variables, aspectos e indicadores, se tuvieron en cuenta cada uno de los objetivos específicos. Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3. *Variables, aspectos e indicadores por objetivo.*

Objetivo	Variables	Aspectos	Indicadores/Descriptor
Caracterizar el área de maderas, del taller de diseño industrial según la percepción de los estudiantes.	Espacio	Distribución Área	División de las diferentes áreas del taller m^2
	Asistencia de estudiantes	Población	Número de estudiantes por cortes
	Salud	Afectación	Número de personas afectadas/ Total de la muestra
	Tiempo	Frecuencia	Horas de trabajo en el área de madera/Horas de clases semanales
	Tipos de madera (MDF, pino, flor morado)	Peligrosidad	Número de personas expuestas/ Total de la muestra
Determinar el nivel de inmisión de material particulado (PM_{10}) a través de la medición directa por medio de la construcción de un sensor de polvo.	Contaminación	Material particulado (PM)	Concentración de material particulado
Realizar un análisis comparativo del estado actual de la calidad del aire del taller.	Calidad	Estado actual	Concentración de material particulado en el tiempo (durante dos semanas)

Fuente: *Elaboración autores*

7.6.1.6 Materiales y técnicas.

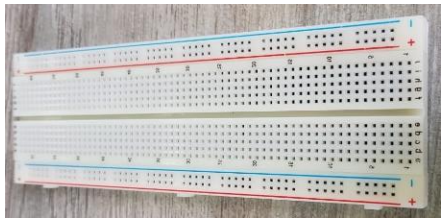
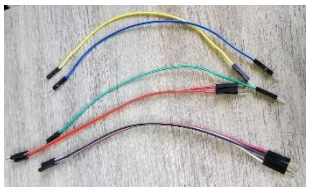
Para el logro de los objetivos específicos en resumen se utilizaron una serie de materiales y técnicas que se describen a continuación:

1. Con respecto al primer objetivo caracterizar el área de maderas, del taller de diseño industrial según la percepción de los estudiantes, se realizó la búsqueda de información bibliográfica y teniendo en cuenta lo que dice Quiroz (2017) se adaptó un cuestionario de percepción a los estudiantes de la Universidad El Bosque, acerca de la presencia de polvos de madera en el interior del taller y los efectos en la salud humana.

   Esta recolección de datos se hizo vía electrónica mediante la plataforma de Google, que con ayuda de la facultad diseño industrial y artes plásticas de la universidad fue difundida vía correo institucional y se completó de manera presencial por los estudiantes a cargo, esto durante un periodo de dos semanas consecutivas (ver anexos 1). Además de ello se realizó un formulario de entrevista el cual permitió conocer cierta información referente al taller por medio del personal a cargo de este durante los últimos años (ver anexo 2).

2. Teniendo en cuenta que ya existe una identificación de las principales preocupaciones de la comunidad estudiantil y el trabajo dentro del taller, se procede a la construcción del equipo que nos permitió corroborar la relación existente entre la información hallada en el punto 1 y la presencia de material particulado en el área de maderas. Inicialmente se requirió de la compra de los siguientes materiales.

Tabla 4. *Listado de materiales.*

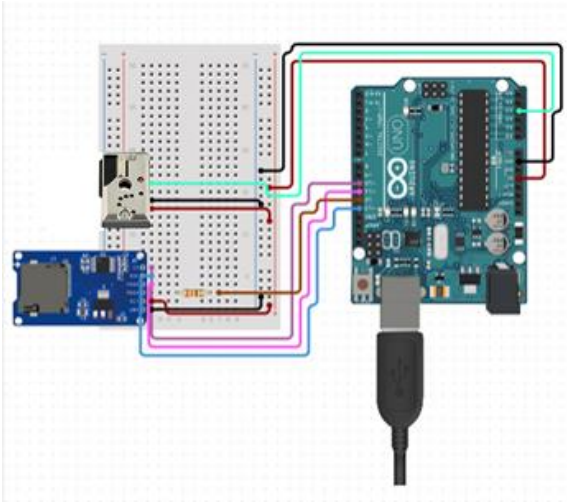
 1 Tarjeta Arduino uno	 1 Tarjeta protoboard
 10 Cables macho macho	 1 Cable USB a tarjeta Arduino uno
 1 Resistencia de 220 omhs	

	1 Sensor de polvo GP2Y1010AU0F
 1 Adaptador de tarjeta SD	 10 Cables macho hembra
 1 Tarjeta SD de 4 GB	 1 Resistencia de 330 omhs

Fuente: *Elaboración autores*

Seguidamente se ensamblaron cada uno de los elementos listados con ayuda de la página web cicuito.io como se muestra a continuación:

Figura 5. *Diseño de conexiones*



Fuente: *circuito.io*

Luego de tener las conexiones pertinentes del sensor, este se vinculó a la plataforma de Arduino con la programación correspondiente arrojando datos de voltaje y PM_{10} cada 10 minutos. Para corroborar que la información suministrada por el sensor era adecuada, se llevó a cabo una validación de datos usando como referencias la RMCAB estación de Usaquén (ver anexo 3), ubicada antiguo edificio A de la Universidad El Bosque. Para ello fue necesario calcular la ecuación de la recta pertinente, por medio del siguiente procedimiento:

Ecuación para $PM_{2,5}$:

$$\text{DustDensity} = 0.17 * \text{calcVoltage} - 0.1$$

$$y = mx + b$$

$$m = \frac{y2 - y1}{x2 - x1}$$

$$x1 = (0{,}5) y1 = (3{,}5)$$

$$x2 = (0)\ y2 = (0{,}7)$$

$$m = \frac{0{,}7 - 3{,}5}{0 - 0{,}5} = 5.6$$

$$b = 0{,}7$$

Calculada para el caso de PM_{10}

$$Dustdensity = 5{,}6 * calcvoltage + 0{,}7$$

3. Finalmente, una vez armado el sensor, se determinó la ubicación de este dentro del taller, considerando que la ubicación no se viera afectada por factores como el ruido o mayor y menor inmisión de material particulado, por lo que se tuvo en cuenta una ubicación central dentro del taller y una altura de 2.00 metros en donde el registro de material particulado no se viera afectado por los diferentes equipos y el trabajo de los estudiantes. El registro de datos se realizo durante dos semanas consecutivas. Como se muestra a continuación.

Figura 6. *Ubicación del sensor de polvo dentro del taller.*

Fuente: *Fotografía tomada por autores*

7.6.1.7 Técnicas e instrumentos para recolectar la información

Tabla 5*. Técnicas e instrumentos para recolectar la información*

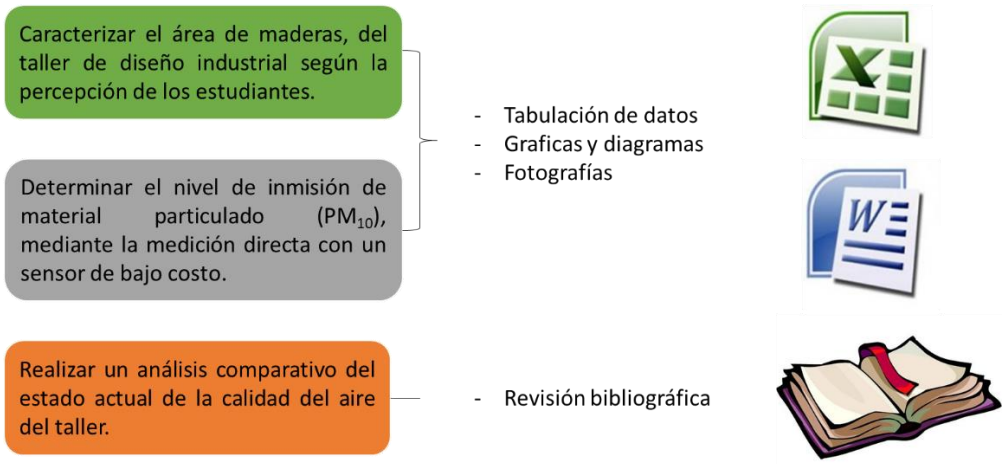
Objetivo	Técnicas	Instrumentos
Caracterizar el área de maderas, del taller de diseño industrial según la percepción de los estudiantes.	La recolección de la información se realizó vía electrónica, a través de la plataforma de Google y la herramienta de Google formularios donde se digitalizo una encuesta adaptada de acuerdo al autor (Quiroz, 2017) según las necesidades del caso del área de maderas, del taller de diseño industrial Universidad el Bosque, sede Usaquén. La cual fue difundida vía correo electrónica. Además, se realizaron unos formularios de entrevista, los cuales fueron aplicados al personal encargado del taller a fin de conocer la distribución del lugar y áreas de interés	- Formularios de entrevistas - Cuestionarios - Diario de campo - Cámaras fotográficas

Determinar el nivel de inmisión de material particulado (PM_{10}) a través de la medición directa por medio de la construcción de un sensor de polvo.	Para determinar el nivel de inmisión de material particulado se realizó la construcción de un sensor de polvo de bajo costo (ver ilustración 3) el cual se enlazo a la plataforma de Arduino a fin de reportar el registro de PM_{10} cada 10 minutos durante un periodo de 2 semanas seguidas.	- Sensor de polvo GP2Y1010AU0F - Plataforma Arduino
Realizar un análisis comparativo del estado actual de la calidad del aire del taller.	El análisis de la calidad del aire del taller se evaluó mediante los reportes generados en la plataforma de Arduino, los cuales fueron organizados en bases de datos mediante estadística descriptiva, generando así las gráficas correspondientes que permitieron la comparación con bibliografía especializada.	- Excel - Bases de datos - Internet - Libros - Trabajos de grado

Fuente: *Elaboración autores*

7.6.1.8 Técnicas e instrumentos para sistematizar y analizar la información

Figura 7. *Técnicas e instrumentos para sistematizar y analizar la información*



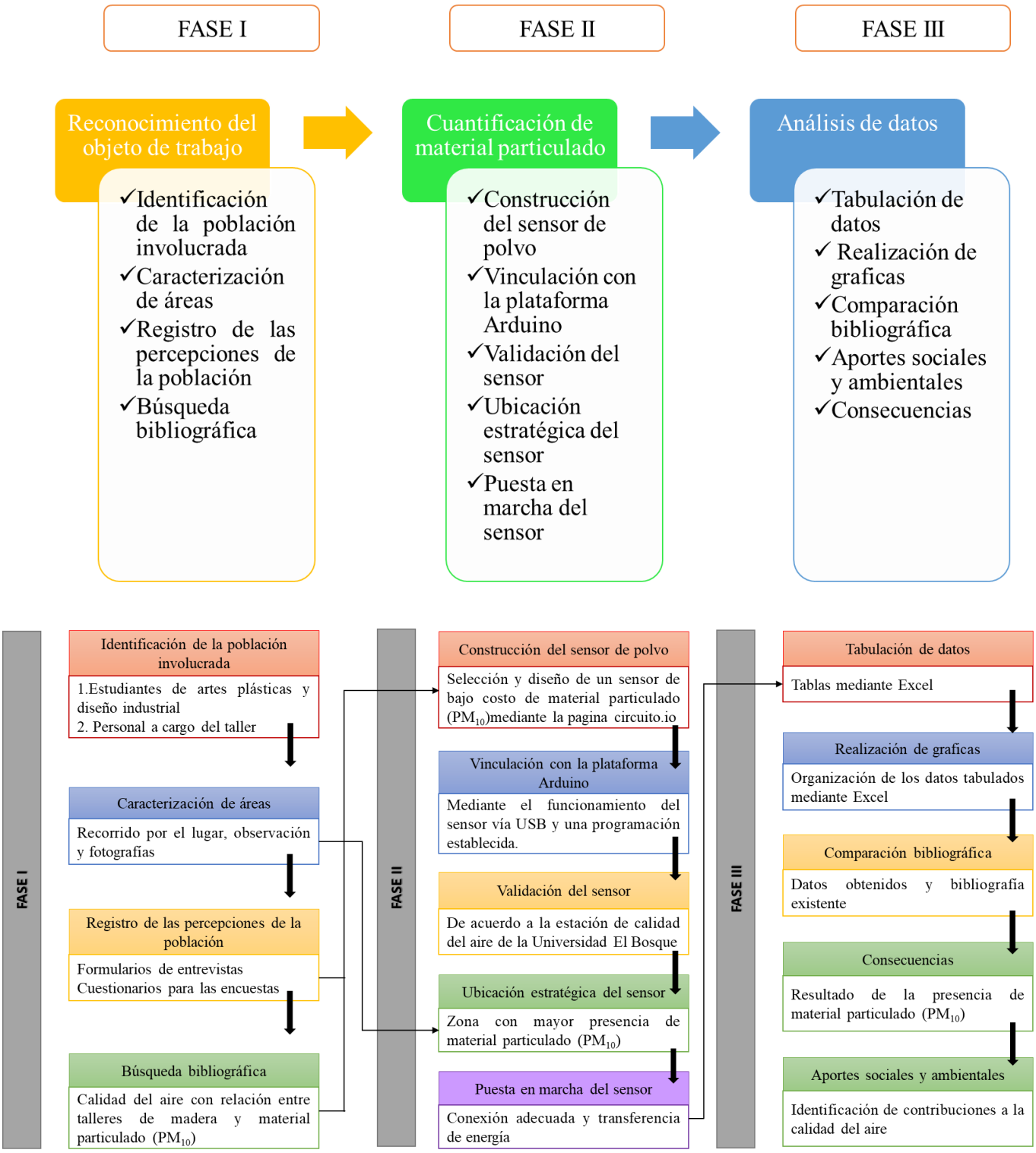
Fuente: *Elaboración autores*

7.6.2 Plan de trabajo

El plan de trabajo desarrollado se dividió en dos secciones, la primera de ellas fue a través de una esquematización de etapas y fases y la segunda una articulación de objetivos, actividades, metodología y resultados esperados por objetivo como se muestran en los siguientes recuadros.

7.6.2.1 Esquematización de las diferentes etapas y fases del trabajo investigativo y su descripción

Figura 8. *Estrategia Metodológica por fases.*



Fuente: *Elaboración autores.*

7.6.2.2 Cuadro metodológico que integre y articule objetivos, actividades y metodología por objetivo

Tabla 6*. Articulación de objetivos, actividades y metodología por objetivo.*

Objetivo General: Evaluación de la calidad del aire interior mediante indicadores ecológicos y sociales asociados a la emisión de material particulado (PM_{10}) en el área de madera del taller de diseño industrial, Universidad el Bosque, sedé Usaquén, Bogotá D.C.			
Objetivos específicos	**Actividades**	**Metodología**	
		Técnica	**Instrumento**
Caracterizar el área de maderas, del taller de diseño industrial según la percepción de los estudiantes.	○ Aplicación de entrevistas ○ Grabaciones	Entrevistas	Formularios
	○ Diligenciamiento online	Encuestas	Cuestionarios
	○ Registro fotográfico ○ Toma de notas	Observación	Diario de campo
Determinar el nivel de inmisión de material particulado (PM_{10}) a través de la medición directa por medio de la construcción de un sensor de polvo.	○ Validación del sensor ○ Reporte de datos ○ Almacenamiento de la información	Toma de datos periódicos durante dos semanas	Sensor de polvo GP2Y1010AU0F
			Plataforma Arduino
Realizar un análisis comparativo del estado actual de la calidad del aire del taller.	○ Elaboración de tablas	Organización de los datos	Microsoft Excel 2016
	○ Aplicación de formulas	Cálculos y graficas	
	○ Búsqueda bibliográfica	Análisis documental	Libros
			Internet

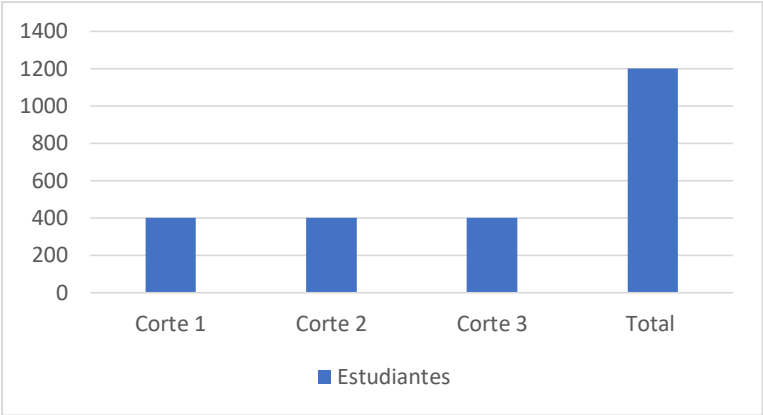
Fuente: *Elaboración autores.*

8. Resultados

8.1 Etapa 1: Caracterizar el área de maderas, del taller de diseño industrial según la percepción de los estudiantes.

Según información aproximada dada por los trabajadores del lugar, el flujo de estudiantes en esta área se comporta de la siguiente manera:

Figura 9. *Cantidad de estudiantes presentes en el área de maderas del taller de diseño industrial durante el semestre académico.*



Fuente: *Elaboración autores*

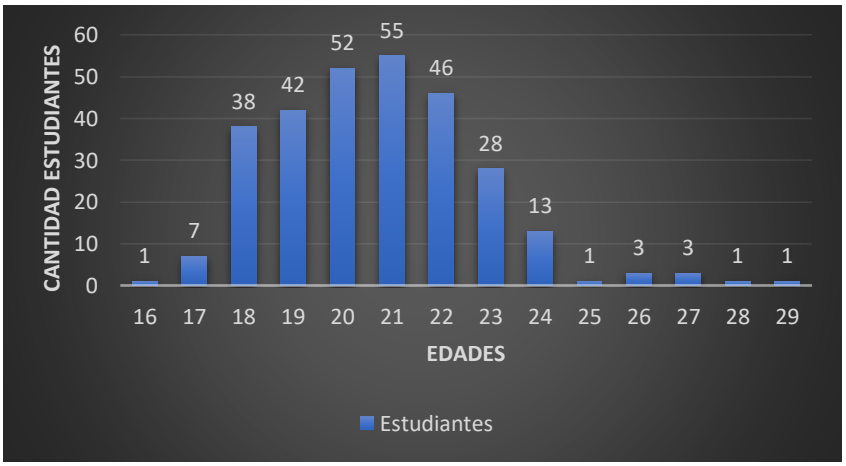
La cantidad de estudiantes que asisten a esta área por corte puede variar según la carga académica; sin embargo, para esta investigación se tomará como base la asistencia de 1200 estudiantes en el área de maderas por semestre, con una muestra representativa de 291 estudiantes, siendo estudiantes del programa de diseño industrial y de artes plásticas los seleccionados. A partir de lo anterior se obtuvieron los siguientes resultados para las encuestas aplicadas:

Para graficar los resultados obtenidos, **se normalizaron las respuestas** de los estudiantes permitiendo una mayor facilidad.

Primero se realizaron tres preguntas introductorias, para establecer la edad, el sexo y carrera a la que pertenecen los encuestados.

Primero se preguntó la edad de los estudiantes, y se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 10. *Edades de los estudiantes*



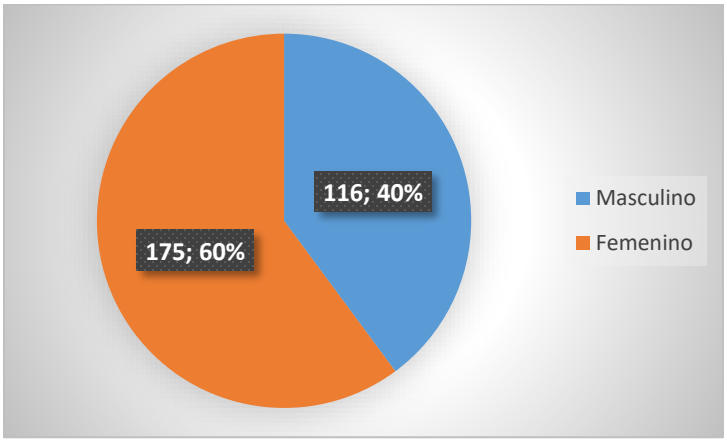
Fuente: *Elaboración autores*

Para una muestra de 291 estudiantes, se encontró que los estudiantes que trabajan en el área de maderas del taller de diseño presentan un rango de edades entre los 16 hasta los 29 años. Para ser más precisos se evidencia que hay un solo estudiante de 16 años, 7 estudiantes con 17 años, 38 estudiantes con 18 años,

42 estudiantes con 19 años, 52 estudiantes con 20 años, 55 estudiantes con 21 años, 46 estudiantes con 22 años, 28 estudiantes con 23 años, 13 estudiantes con 24 años, un solo estudiante con 25 años, 3 estudiantes con 26 años, 3 estudiantes con 27 años y por último un estudiante para 28 y 29 años respectivamente.

Asimismo, se preguntó por el sexo de los estudiantes, donde se obtuvo:

Figura 11. *Sexo de los estudiantes*

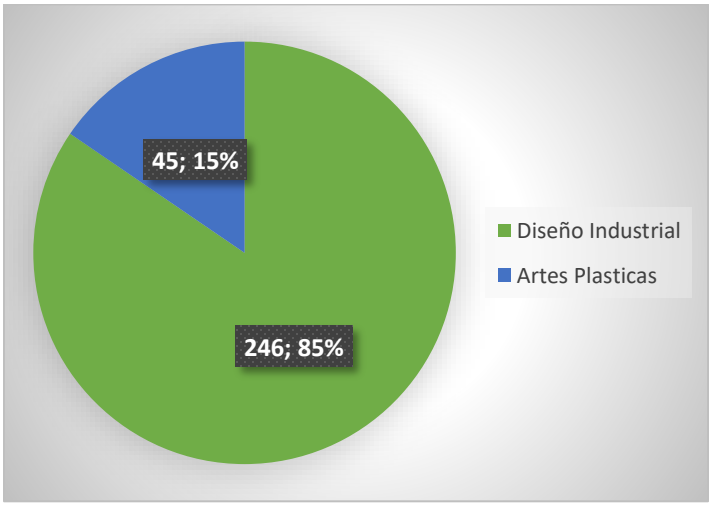


Fuente: *Elaboración autores*

Que un 60 % es decir 175 de las personas encuestadas eran mujeres y un 40 %, es decir 116 personas, eran hombres.

Por consiguiente, se preguntó, la carrera a la que pertenecen, donde se observa, los siguientes resultados:

Figura 12. *Carrera a la que pertenecen.*



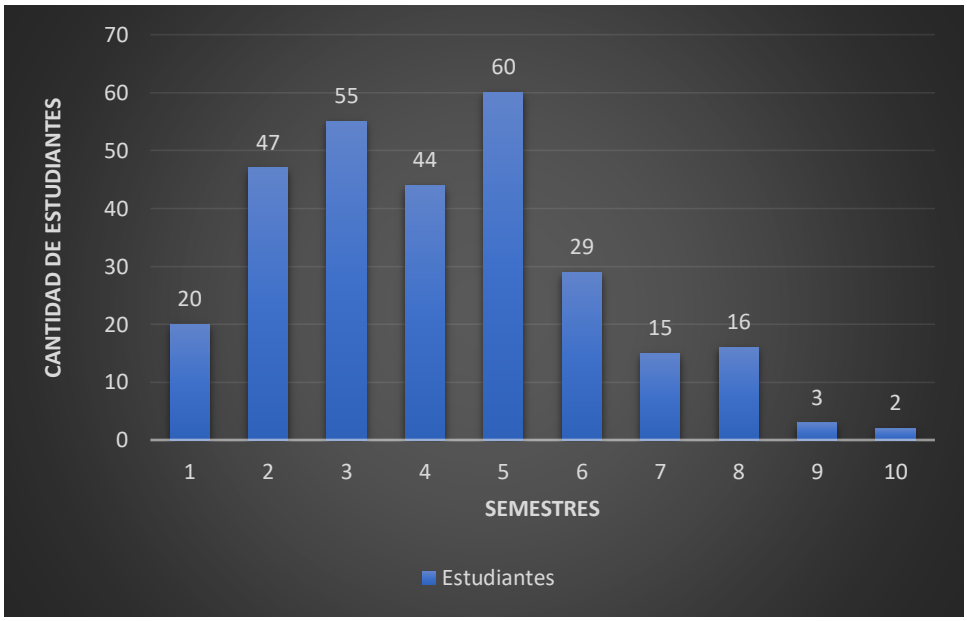
Fuente: *Elaboración autores*

Siendo Diseño industrial la carrera con más estudiantes asistentes al área de maderas, en el taller de diseño industrial con un total de 246 estudiantes, es decir 85% de la muestra. Por último, la carrera de artes plásticas participo con 45 estudiantes, es decir el 15%.

A partir de lo anterior, se realizaron una serie de preguntas acerca del trabajo con maderas, en el taller de diseño.

- **Semestre donde se ha empleado mayor tiempo en el taller de diseño industrial de la Universidad El Bosque.**

Figura 13. *Estudiantes presentes en el taller por semestres.*

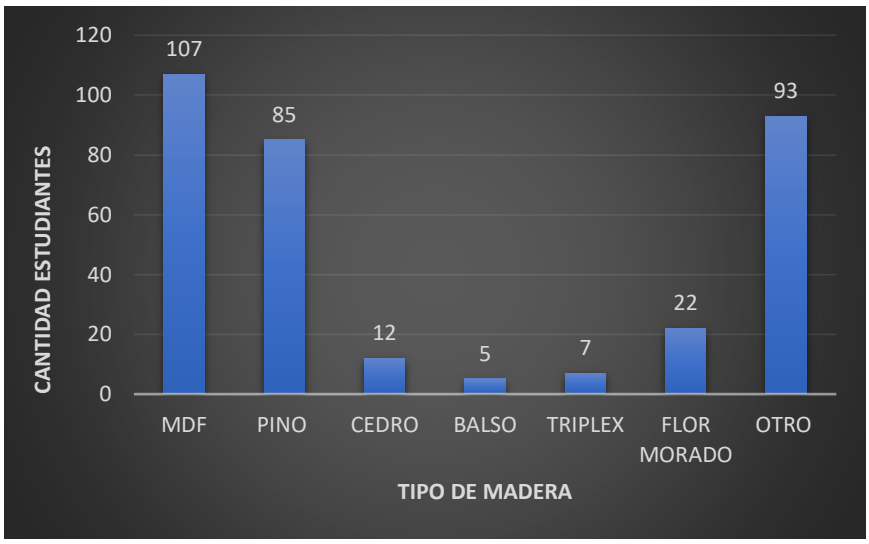


Fuente: *Elaboración autores*

Como se puede observar en la gráfica, todos los estudiantes han trabajado con maderas durante su carrera. Pero el semestre 5 es el que más datos refleja, con 60 estudiantes. Le siguen los estudiantes que han trabajado durante los semestres 2 y 3 con un total de 47 y 55 estudiantes respectivamente, luego los estudiantes que han trabajado durante 4 semestres con un total de 44, después los estudiantes de sexto semestre con un total de 29 estudiantes. Y con menor cantidad de estudiantes que los anteriores está el primer semestre con 20 y para séptimo y octavo semestre 15 y 16 estudiantes, respectivamente. Por último, están los estudiantes de noveno y décimo semestre con 3 y 2 alumnos.

- **Tipo de madera más utilizado, frecuencia de uso y tipo de residuo generado.**
  Para este ítem se plasmaron los resultados en 3 gráficas independientes, permitiendo visualizar de una forma más clara los resultados, de la siguiente manera:

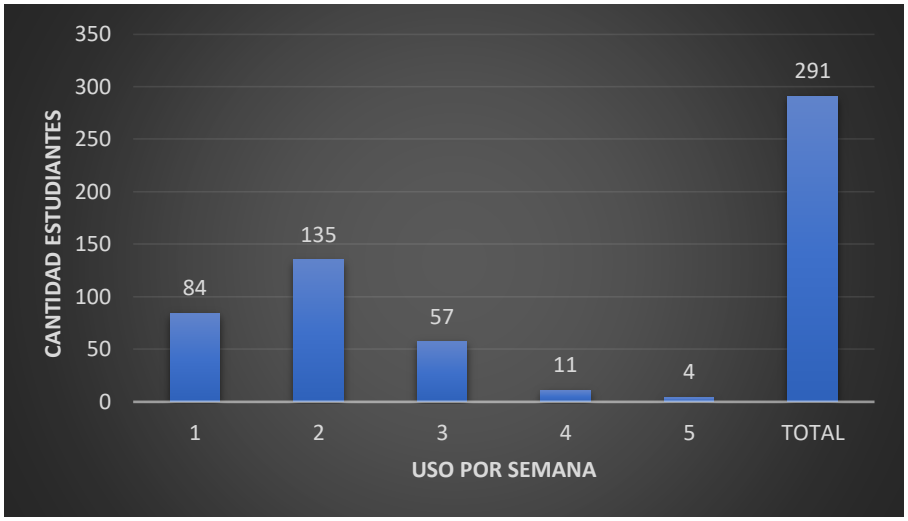
Figura 43. *Tipo de madera más utilizada.*



Fuente: *Elaboración autores*

Las maderas más utilizadas por los estudiantes de diseño industrial y artes plásticas son el MDF, utilizado por 107 personas, el pino, utilizado por 85 personas. Otros tipos de maderas diferentes al MDF, pino, cedro, balso, triplex y flor morado, tienen un alto uso por parte de los estudiantes, con un total de 93 personas.

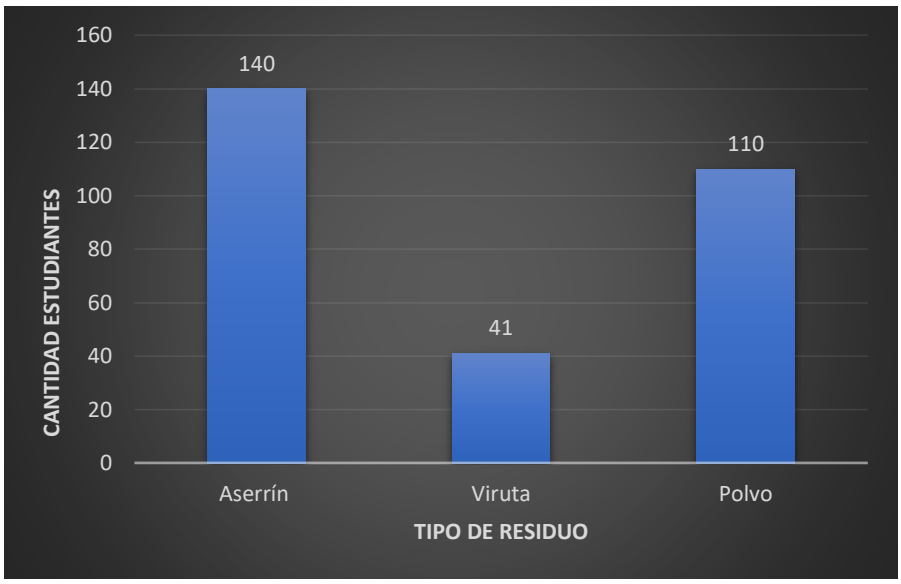
Figura 15. *Frecuencia de uso de los diferentes tipos de madera por semana.*



Fuente: *Elaboración autores*

La frecuencia de uso de las maderas mencionadas en la anterior gráfica por semana, evidencia que el uso más común es 2 veces a la semana con un total de 135 estudiantes, seguido con un uso de 1 vez a la semana por 84 estudiantes. Después le sigue un uso de 3 veces por semana con un total de 57 estudiantes y con una frecuencia de uso menor para 4 veces a la semana solo se presenta en 11 estudiantes. Por último, solo 4 estudiantes trabajan con estas maderas en el taller durante todos los días de la semana.

Figura 16. *Residuos por el trabajo con maderas.*

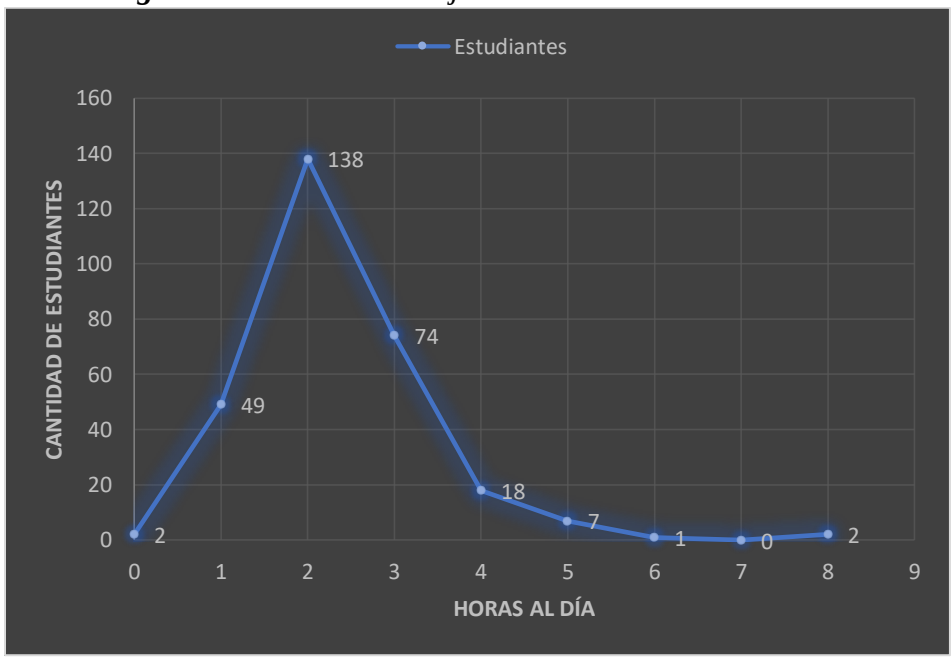


Fuente: *Elaboración autores*

Finalmente, los estudiantes consideran que la mayor cantidad de residuos generados por trabajar con maderas son el aserrín con un total de 140 estudiantes, seguido del polvo con un total de 110 estudiantes y 41 estudiantes consideran que la viruta es el residuo que más se produce.

- **Horas de trabajo diario en el área de madera del taller de diseño industrial de la Universidad el Bosque.**

- ***Figura 17.*** *Horas de trabajo diario en el área de madera.*

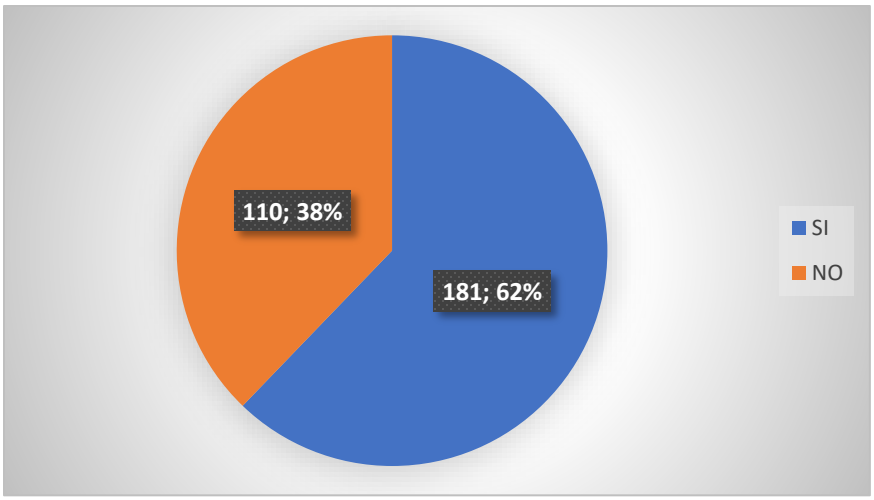


Fuente: *Elaboración autores*

De los 291 encuestados, 138 estudiantes pasan al menos 2 horas al día en el área maderas. 74 estudiantes pasan 3 horas al día ,49 estudiantes pasan 1 hora al día, 18 estudiantes 4 horas al día, 7 estudiantes 5 horas al día y por último solo 3 estudiantes pasan entre 6 y 8 horas al día.

- **Padecimiento de alguna molestia en la piel, ojos, nariz o garganta en el último año.**

Figura 18. *Padecimiento de alguna molestia.*

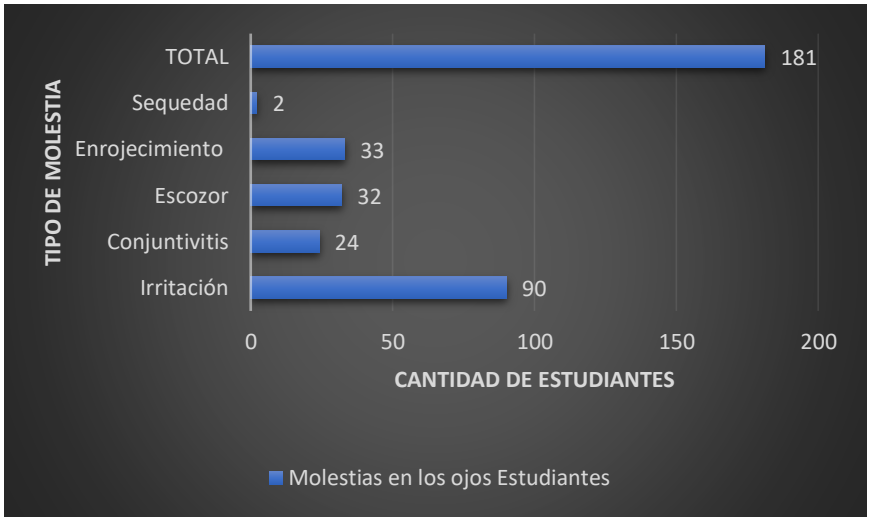


Fuente: *Elaboración autores*

110 estudiantes de los encuestados, o sea el 38% de la muestra no han presentado molestias de ningún tipo y 181 estudiantes es decir el 62% de la muestra, sí ha presentado molestias.

- **Frecuencia de molestias en el último año.**
  Para esta pregunta se plasmaron los resultados en 4 gráficas independientes, permitiendo visualizar cada tipo de molestia, como se evidencia a continuación:

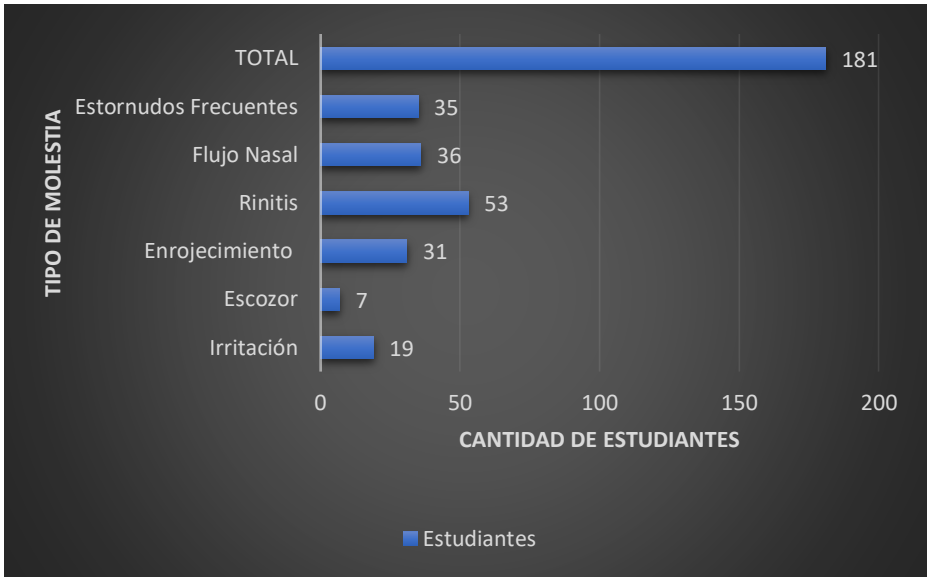
Figura 19. *Molestias en los ojos.*



Fuente: *Elaboración autores*

De 181 estudiantes que dijeron que sí habían presentado molestias en los ojos, 90 de ellos presentan irritación, 33 de ellos enrojecimiento, 32 escozor, 24 conjuntivitis y por último solo 2 presentan sequedad.

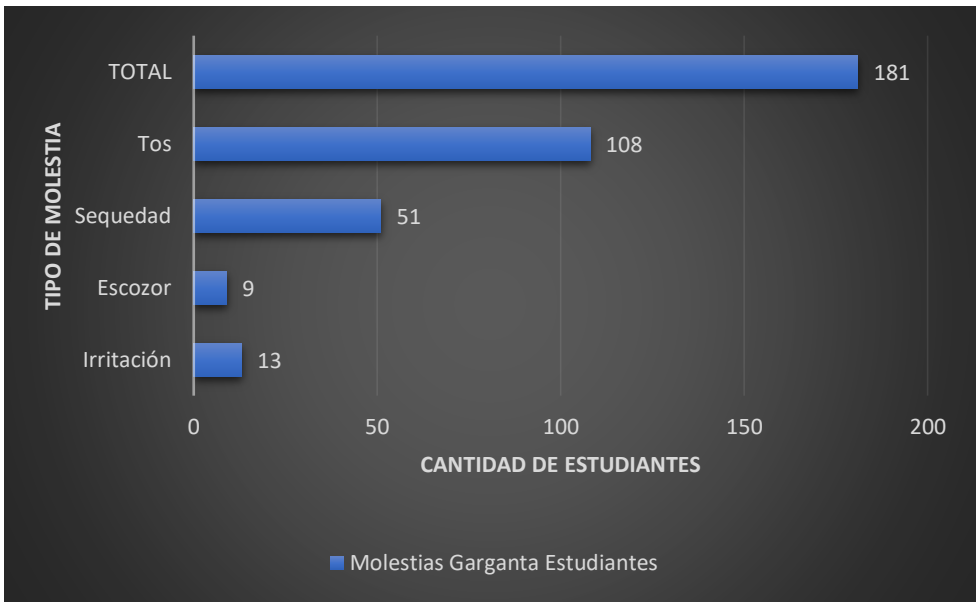
Figura 20. *Molestias en la nariz.*



Fuente: *Elaboración autores*

De los 181 estudiantes que presentan molestias en la nariz, la rinitis es una de las principales dolencias con un total de 53 estudiantes, seguido del flujo nasal con 36 estudiantes, luego los estornudos frecuentes con 35 estudiantes, el enrojecimiento con 31 estudiantes y la irritación con 19 estudiantes. Por último, el escozor con 7 estudiantes.

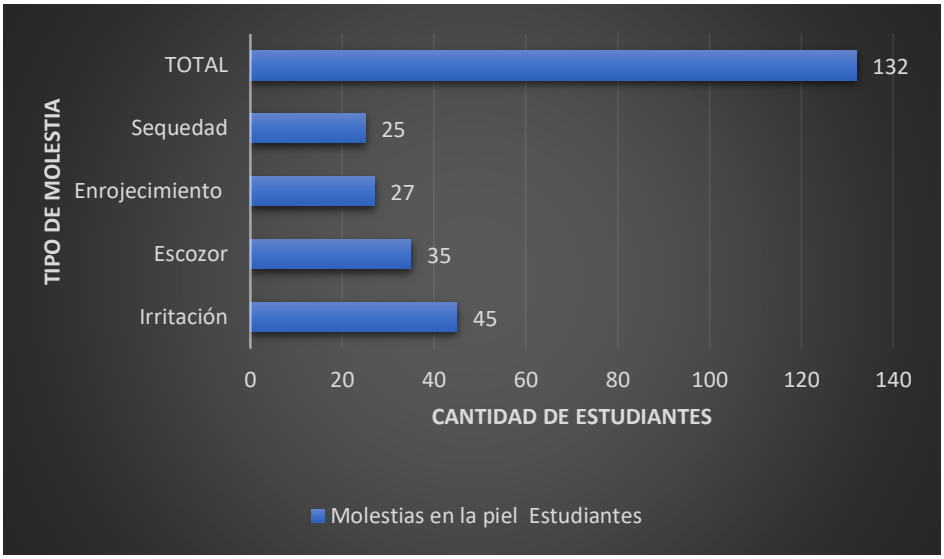
Figura 21. *Molestias en la garganta.*



Fuente: *Elaboración autores*

181 estudiantes presentan molestias en la garganta, siendo la tos la dolencia más frecuente en 108 estudiantes, seguido de la sequedad con 51 estudiantes, luego la irritación con 13 estudiantes y por último, el escozor con 9 estudiantes.

Figura 22. *Molestias en la piel.*

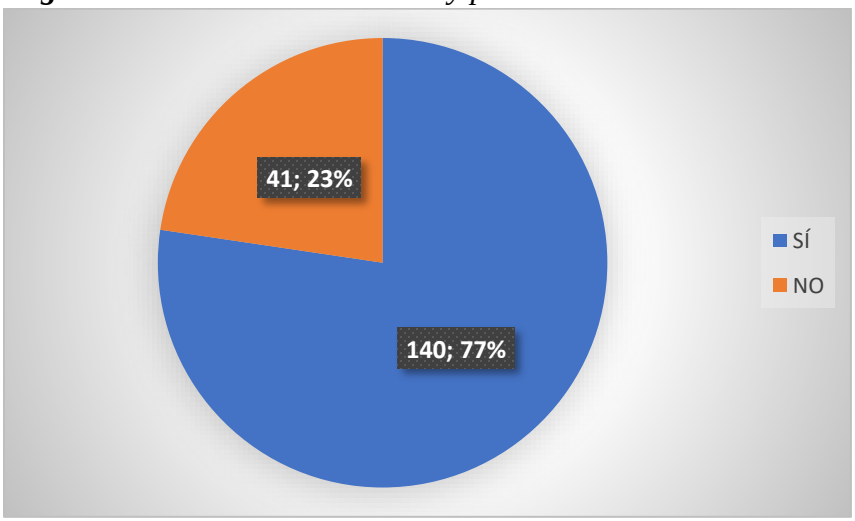


Fuente: *Elaboración autores*

Finalmente, solo 132 estudiantes presentaron molestias en la piel de los 181 que dijeron haber presentado molestias, donde 45 estudiantes presentaron irritación en la piel, 35 estudiantes escozor, 27 estudiantes enrojecimiento y sequedad solo 25 estudiantes.

- **Relación de las molestias anteriores y el contacto con los polvos de madera en el taller de diseño en el último año.**

Figura 23. *Relación de molestias y polvos de madera en el taller*

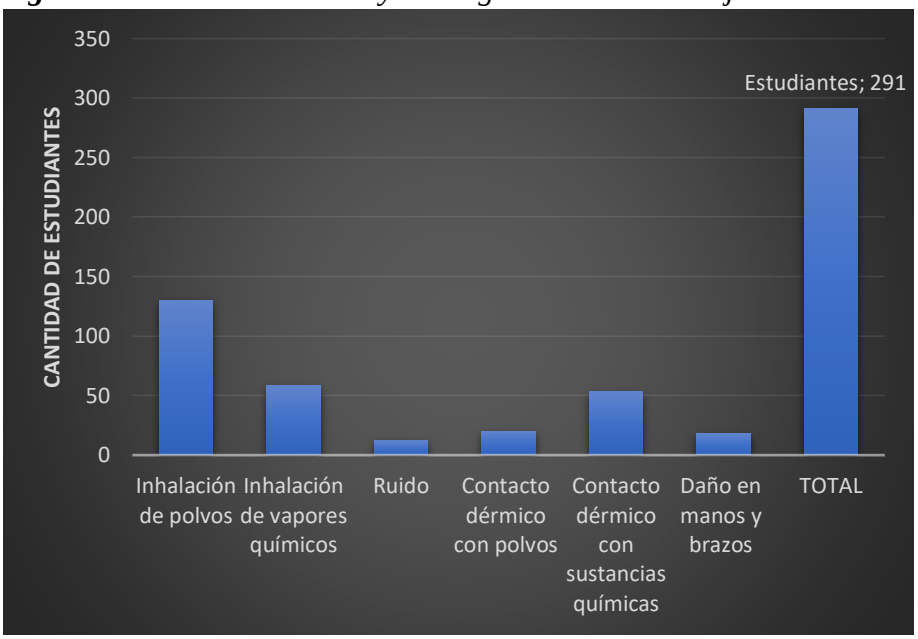


Fuente: *Elaboración autores*

De los 181 encuestados que sí presentaron molestias en los ojos, nariz, garganta y piel, 140 personas es decir el 77% consideran que presentaron alguna de las molestias anteriormente mencionados debido al trabajo con las maderas en el área de maderas en el taller de diseño de la Universidad el Bosque y 41 personas, es decir el 23%, no consideran que estas molestias sean por causa del trabajo con maderas en el taller.

- **Situaciones de riesgo que se presentan durante el trabajo con la madera**

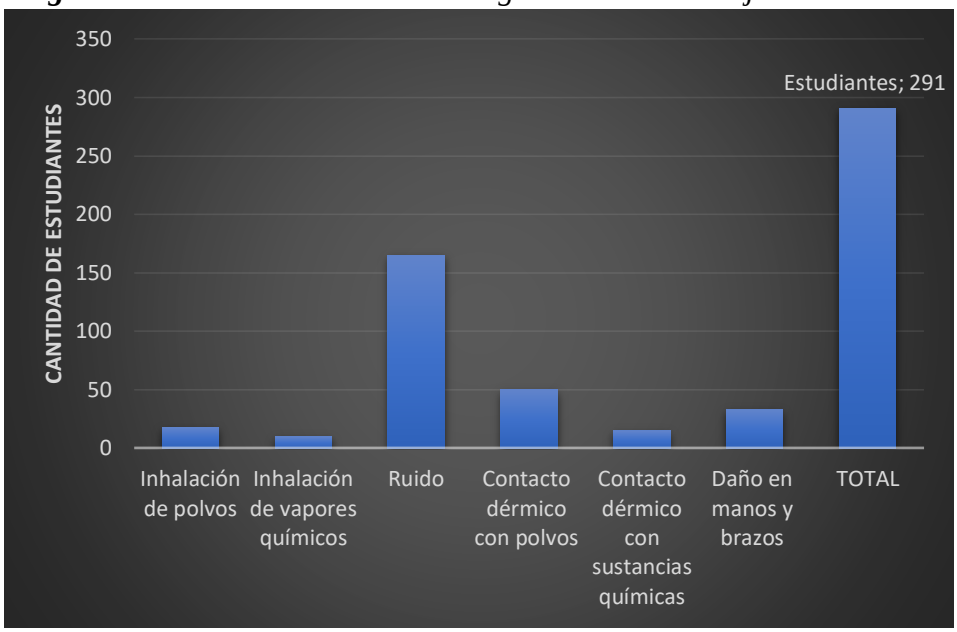
Figura 24. *Situaciones de mayor riesgo durante el trabajo con madera.*



Fuente: *Elaboración autores*

De los encuestados 130 estudiantes consideran que la inhalación de polvos es el mayor riesgo al trabajar con maderas, seguido de la inhalación de vapores químicos con 58 estudiantes, luego se considera que el contacto dérmico con sustancias químicas con 53 estudiantes, el contacto dérmico con polvos con 20 estudiantes. Finalmente, daño en manos y brazos con 18 estudiantes, seguido del ruido con 12 estudiantes.

Figura 25. *Situaciones de menor riesgo durante el trabajo con madera.*

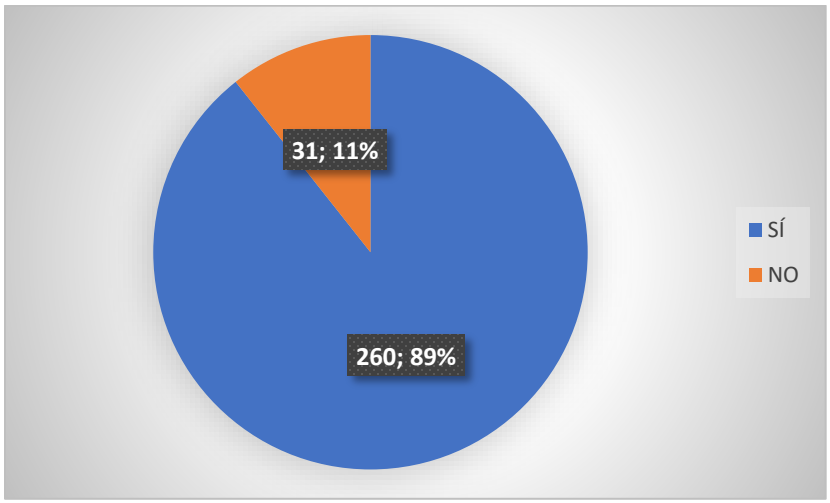


Fuente: *Elaboración autores*

Los encuestados consideran que el ruido es una las situaciones con menor riesgo al trabajar con maderas con un total de 165 estudiantes, seguido del contacto dérmico con polvos con 50 estudiantes, el daño en manos y brazos con 33 estudiantes, posteriormente la inhalación de polvos con 18 estudiantes, el contacto dérmico con sustancias químicas con 15 estudiantes y por último dentro de las situaciones con menor riesgo la inhalación de vapores químicos con 8 estudiantes.

- **Uso de equipos de protección contra polvos de madera.**

Figura 26. *Uso de equipos de protección contra polvos de madera.*

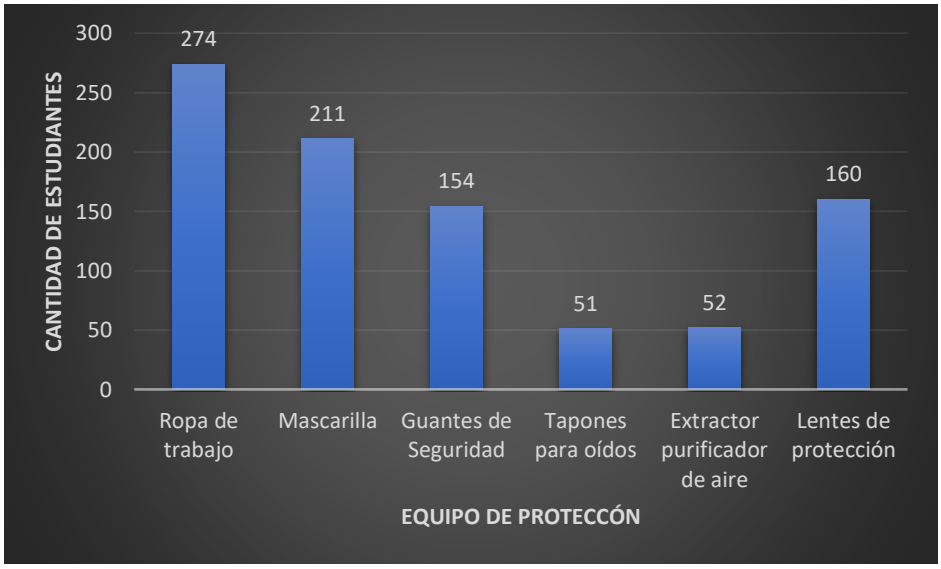


Fuente: *Elaboración autores*

De los 291 estudiantes encuestados, 260 estudiantes es decir el 89% de la muestra usan equipo de protección y solo 31 estudiantes es decir el 11% no usan equipo de protección.

- **Equipos de protección contra polvos de madera en el área de trabajo.**

Figura 27. *Equipos de protección usados contra polvos de madera.*



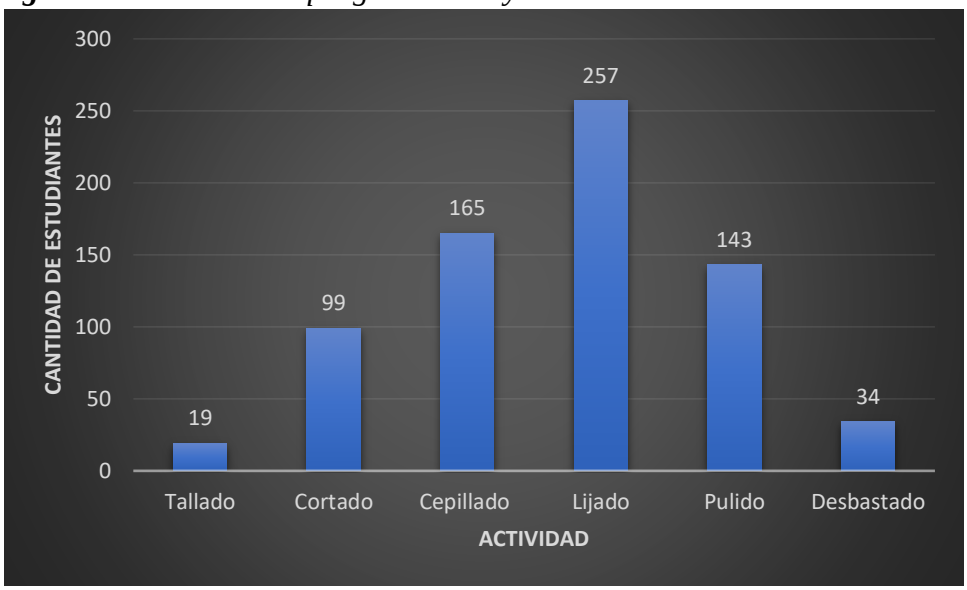
Fuente: *Elaboración autores*

Del total de encuestados, 274 estudiantes usan la ropa de trabajo, 211 estudiantes usan mascarilla de protección, 160 estudiantes usan lentes de protección, 154 estudiantes usan guantes de seguridad y en menor cantidad usan el extractor purificador de aire 52 estudiantes y, por último, 51 estudiantes usan tapones para oídos.

- **Actividades que generan ciertas cantidades de residuos de madera.**

Para esta pregunta se muestran los resultados en 3 graficas independientes, permitiendo visualizar de una forma más clara los resultados según el tipo de actividades que generan mayor, regular y menor cantidad de polvos de madera, de la siguiente manera:

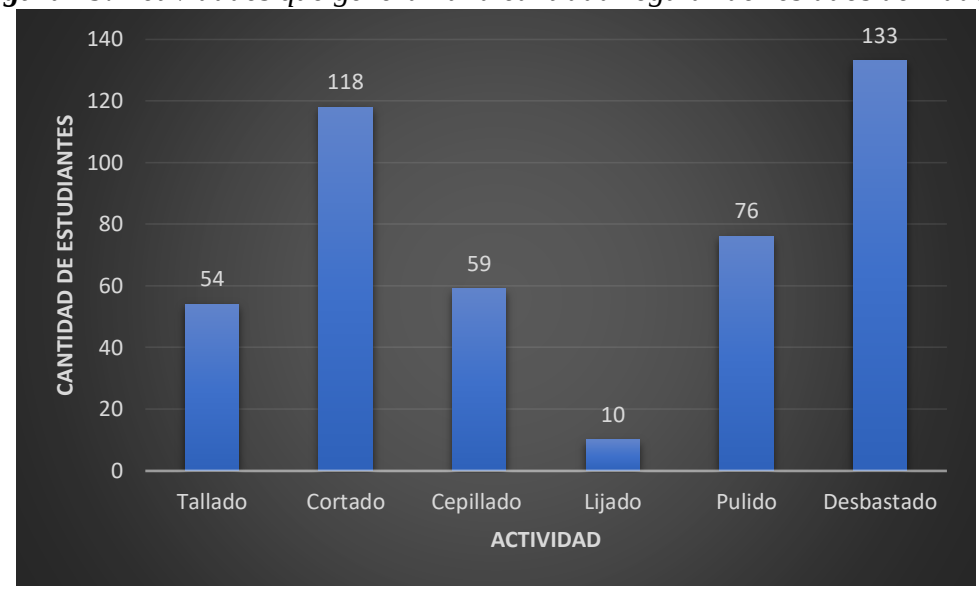
Figura 28. *Actividades que generan mayor cantidad de residuos de madera.*



Fuente: *Elaboración autores*

Los encuestados consideran que el lijado es la actividad que genera mayor cantidad de aserrín y polvos de madera con un total de 257 estudiantes, seguido del cepillado con 165 estudiantes, el pulido con 143 estudiantes, el cortado con 99 estudiantes y por último, el desbastado y tallado con 34 y 19 estudiantes respectivamente.

Figura 29. *Actividades que generan una cantidad regular de residuos de madera*

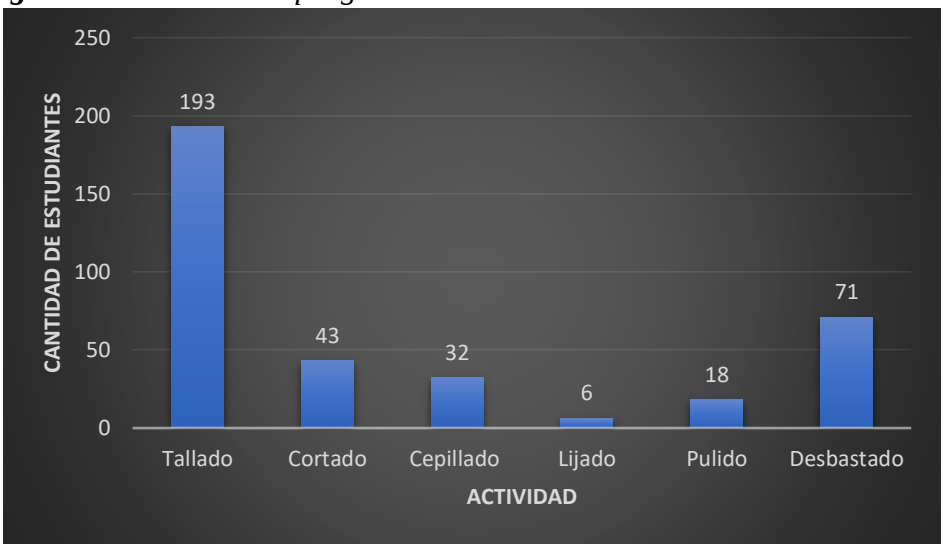


Fuente: *Elaboración autores*

A continuación, en cuanto a las actividades que generan una cantidad regular de polvos de madera y aserrín, los encuestados consideran que el desbastado es la actividad que genera una cantidad regular con

133, seguido del cortado con 118 estudiantes, luego el pulido con 76 estudiantes, el cepillado con 59 estudiantes, el tallado con 54 estudiantes y por último el lijado con 10 estudiantes.

Figura 30. *Actividades que generan menor cantidad de residuos de madera.*

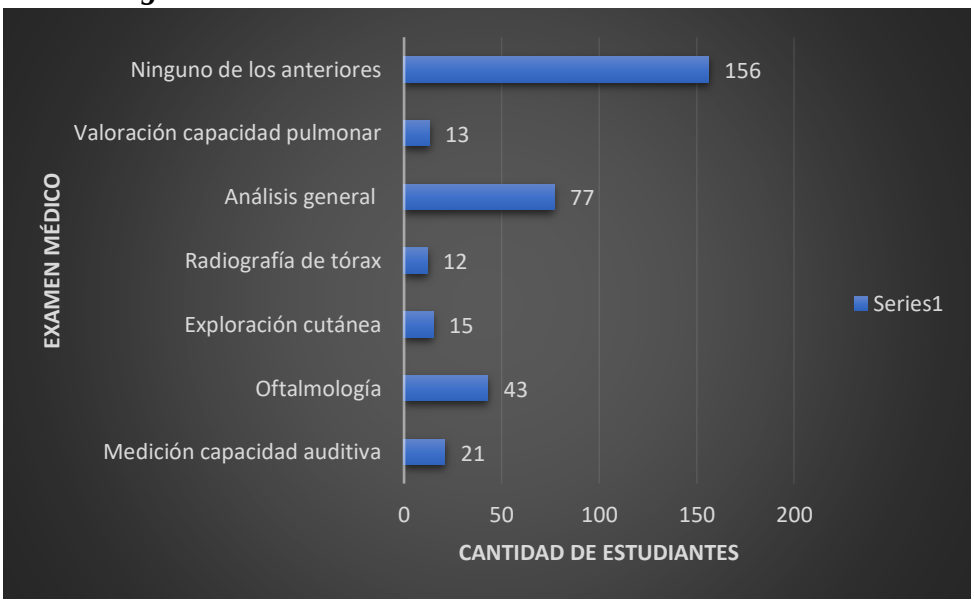


Fuente: *Elaboración autores*

Por último, en cuanto a las actividades que genera menor cantidad de aserrín y polvos de madera, aparece el tallado con 193 estudiantes, seguido del desbastado con 71 estudiantes, luego el cortado con 43 estudiantes, el cepillado con 32 estudiantes, el pulido con 18 estudiantes y finalmente el lijado con 6 estudiantes.

- **Exámenes clínicos realizados durante el último año**

Figura 31. *Exámenes clínicos realizados en el último año.*



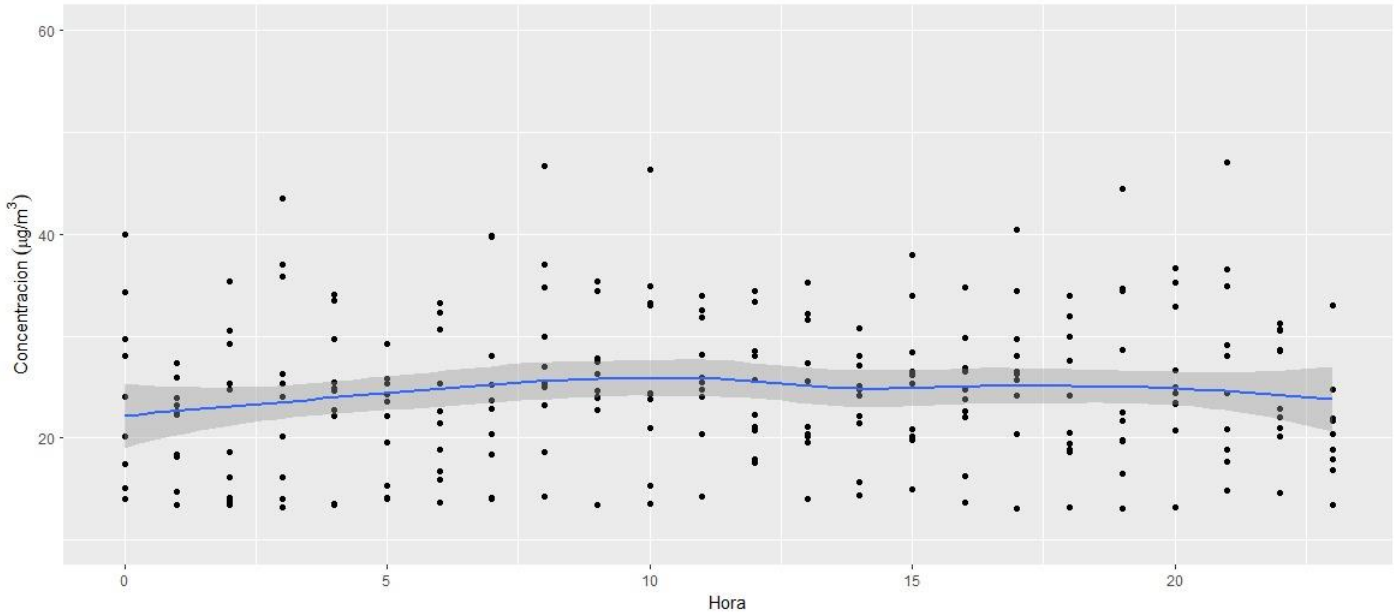
Fuente: *Elaboración autores*

Donde se evidencia que la mayoría de los encuestados , es decir 156 estudiantes no se han realizado ningún examen médico, de los mencionados anteriormente en el último año, seguido de aquellos que se han realizado con un análisis médico general con 77 estudiantes , luego 43 estudiantes se han realizado un examen oftalmológico; 21 estudiantes se han realizado un examen de medición de capacidad auditiva, 15 estudiantes se han realizado un examen de exploración cutánea, y por último, los exámenes de radiografía de tórax y valoración de capacidad pulmonar con un 12 y 13 estudiantes respectivamente.

8.2 Etapa 2: *Determinar el nivel de inmisión de material particulado (PM_{10}) a través de la medición directa por medio de la construcción de un sensor de polvo.*

Como resultado de la segunda etapa se obtuvieron los registros de datos los cuales se recolectaron durante dos semanas consecutivas (ver anexo 4) arrojando una serie de gráficas con el reporte de material particulado (PM_{10}), como se muestra a continuación.

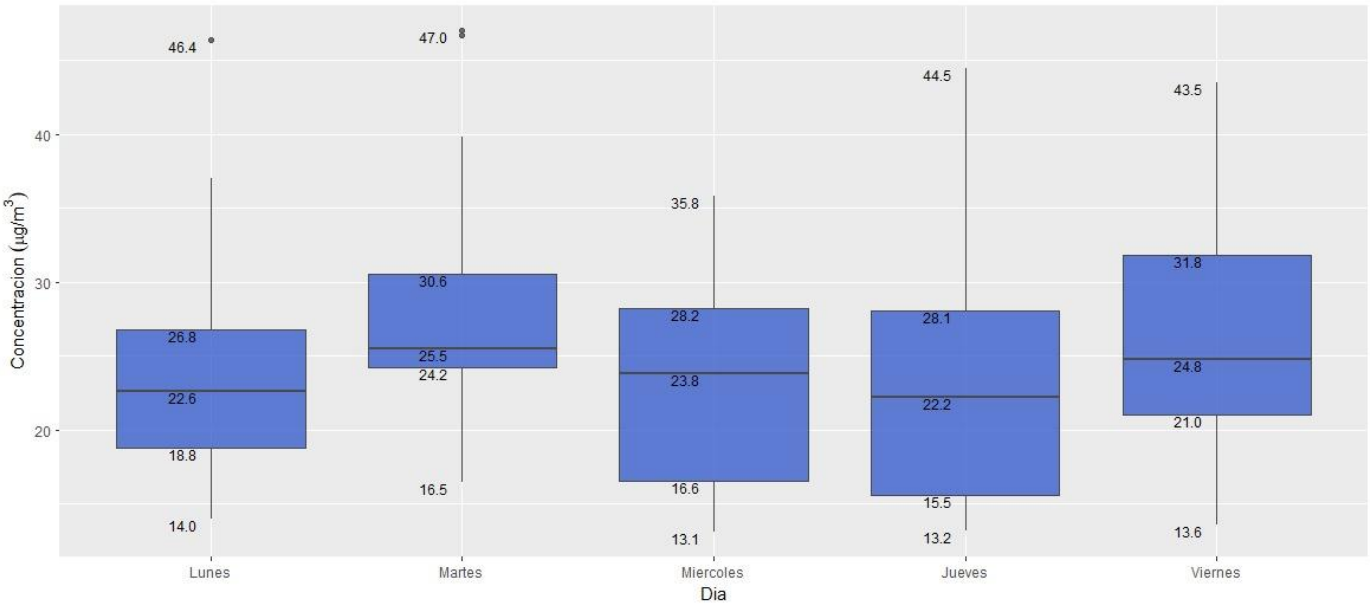
Figura 32. *Comportamiento horario material particulado (PM_{10}) en el área de madera.*



Fuente: *Elaboración autores*

En la gráfica anterior de se reporta un comportamiento estándar entre los 20 y 30 $\mu g/m^3$ de PM_{10} durante las dos semanas, ubicándose los valores más intensos entre las 7:00 a.m y 12:00 a.m.

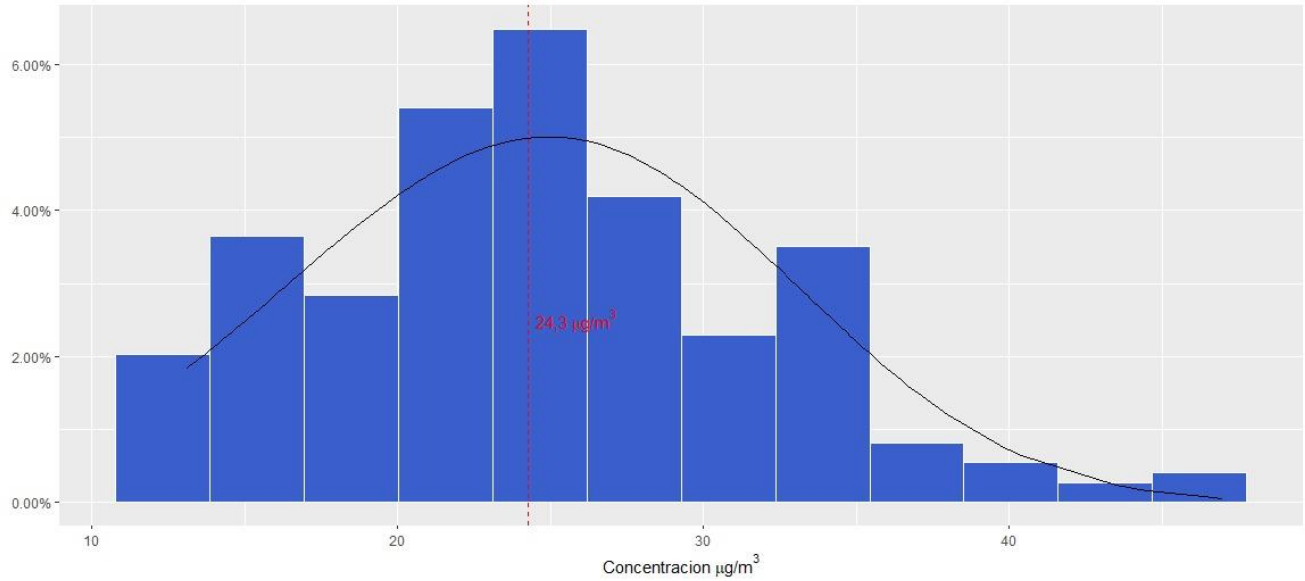
Figura 33. *Comportamiento diario material particulado (PM_{10}) en el área de madera.*



Fuente: *Elaboración autores*

Asimismo, durante las dos semanas se pudo determinar que para los días lunes, martes, miércoles, jueves y viernes en promedio se obtuvieron 22,6; 25,5; 23,8; 22,2 y 24,8 respectivamente, resultando los días martes y viernes concentraciones más elevadas de PM_{10}.

Figura 34. *Comportamiento promedio material particulado (PM_{10}) en el área de madera.*



Fuente: *Elaboración autores*

Finalmente, la gráfica promedio muestra que la concentración de PM_{10} durante las dos semanas arroja un valor de 24,3 $\mu g/m^3$.

8.3 Etapa 3: *Realizar un análisis comparativo del estado actual de la calidad del aire del taller***.**

En resumen, los resultados obtenidos en comparación con la normativa son:

Tabla 7. *Tabla comparativa de niveles permisibles de PM_{10}*

Figura	Valor	Limite permisible OMS	Limite permisible MADS
Figura 31. Comportamiento horario material particulado (PM_{10}) en el área de madera.	Los valores predominantes se encuentran entre 20 y 30 $\mu g/m^3$	• 50 $\mu g/m^3$ en 24 horas.	• 100 $\mu g/m^3$ en 24 horas.
Figura 32. Comportamiento diario material particulado (PM_{10}) en el área de madera.			

Fuente: *Elaboración autores*

En la tabla anterior se describen los resultados obtenidos en las mediciones realizadas en el taller, las cuales oscilan entre 20 y 30 $\mu g/m^3$ y no superan los límites establecidos por la OMS Y MADS.

9. Análisis y discusión de resultados

9.1 Etapa 1: *Caracterizar el área de maderas, del taller de diseño industrial según la percepción de los estudiantes.*

Para contribuir al entendimiento de los fenómenos relacionados con partículas atmosféricas, en ambientes interiores, se hizo necesario conocer la percepción de las personas que viven un fenómeno de contaminación ambiental intramuros, para estimar el comportamiento de la población ante tal situación.

Inicialmente los datos obtenidos acerca del tiempo de trabajo en el taller, nos permitieron identificar que la mayor recurrencia de estudiantes se presenta durante el 5 semestre académico, esto debido a que los estudiantes en su plan de estudios durante este semestre, cursan una materia llamada “materiales y procesos 2” en la cual se desarrollan temáticas como: tipo de maderas, propiedades físicas, químicas, organolépticas y tecnológicas de las maderas, procesos industriales típicos de la madera, usos y aplicaciones de la madera (ejemplos de aplicación en diseño, procesos terminados y tipologías de material), clasificación general de las técnicas y procesos de producción industrial y semi-industrial referidos a la maderas, presentación comercial de las maderas, proveedores, precios y puntos de venta y finalmente acabados y recubrimientos. Lo anterior indica que al ser esta materia enfocada al trabajo con maderas implica mayor presencia por parte de los estudiantes en el área de maderas del taller de diseño.

No obstante, los demás semestres también presentaron una recurrencia de estudiantes significativas, a lo que se atribuyen algunas de las respuestas obtenidas durante la aplicación de encuestas, en la cual los

estudiantes recalcaron que durante las entregas finales se llevan a cabo la construcción de maquetas y se hace necesario el uso de diferentes materiales y la madera es uno de los más económico, por ello se emplea durante casi toda la carrera universitaria y su frecuencia de uso es constante.

Debido al uso frecuente de madera, se evidencio que los tipos de madera influyen de manera característica sobre los estudiantes. La exposición al polvo de ciertos tipos de madera, como el rojo occidental, el cedro, el iroko y el roble pueden causar asma (Hausen, 1981; Chan-Yeung, 1993; Malo et al., 1995). Sin embargo, estudios anteriores no han sido capaces de revelar el alcance de estos efectos en la salud, especialmente para tipos de madera como el pino. Teniendo en cuenta lo anterior las encuestas indican que este último es uno de los materiales más empleados, lo que revela que, aunque no existan enfermedades en relación con este, **puede haber una señal de alerta en los estudiantes y su respectivo uso.**

Por otro lado, según el análisis de tipos de madera, el MDF también arrojó ser uno de los materiales más utilizados por los estudiantes, ya que es excelente material para la carpintería de interior. El MDF coloreada puede utilizarse para fabricar muebles y juguetes para niños (Feliú, s.f), la relación existente con el uso constante de este material en los estudiantes del taller se debe a que es ideal para la construcción de los diferentes prototipos y modelos asignados durante su carrera.

De otro modo los efectos sobre la salud debido a la presencia de polvos de madera además de relacionarse con el tipo de madera también son dependiente del periodo de uso y recurrencia, al ser partículas pequeñas secas y sólidas con un diámetro aerodinámico entre 1 y 100 μm (Kauppinen et al. 2006). Las partículas más pequeñas en principio son las más peligrosas pues permanecen más tiempo en el aire y pueden penetrar hasta los lugares más profundos de los bronquios, además estas, pueden permanecer suspendidas en el aire por diversos periodos de tiempo, y si bien los estudiantes permanecen por lo menos dos horas diarias a la semana dentro del taller estás partículas pueden sedimentarse y volver a re-suspenderse por causa del viento o el tránsito del personal presente en el taller. A estos efectos se ha acuñado el concepto de “polvo respirable”, es decir, la fracción de polvo que puede penetrar hasta los alvéolos pulmonares (Santurio, 2015).

La mayoría de las partículas más gruesas, no pueden penetrar en las vías respiratorias, quedando retenidas en las fosas nasales y la garganta, y son eliminadas más tarde por el organismo, mediante la deglución, secreción nasal o la expectoración de las mismas. Lo anterior indica que el 62% de los estudiantes que presentaron molestias en la nariz y en la garganta se debe a la presencia de partículas gruesas generadas por polvos de madera, lo que se afirmó en la pregunta número 7 obteniendo que el 77% de los estudiantes asocian dichas molestias a la generación de polvos de madera en el taller.

A raíz de las consecuencias generadas por las molestias en los estudiantes, también se les pregunto acerca de ciertas actividades que generan riesgo donde se obtuvo que la inhalación de polvos es el mayor riesgo al trabajar con maderas seguidos del contacto dérmico con sustancias químicas e inhalación de vapores químicos.

Teniendo en cuenta el (Institut de Salut Laboral de les Illes Balears, 2004), se destaca que la inhalación de polvo de madera, en función del tamaño de partícula, puede ocasionar irritación de las mucosas de las vías respiratorias que puede desembocar en rinitis aguda, mucoestasis, brotes asmáticos y causar efectos neumoconióticos dificultando la respiración de los estudiantes. Por otro lado, la inhalación y contacto

dérmico con compuestos químicos contenidos en la madera pueden liberarse en forma de vapores durante la fricción por el uso de maquinaria, afectando a los estudiantes, con efectos que dependen del compuesto liberado, de la mezcla de estos, de la concentración y del tiempo de exposición. Además de esto el contacto con maderas y polvo de madera puede ocasionar irritación de piel, ojos y mucosas, eccemas de contacto y alergias, tanto por lo que se refiere al polvo, como los productos químicos presentes, y a los hongos y esporas que se puedan producir. Por consiguiente, se puede indicar que ciertos riesgos generados por el uso de maderas están ligados a algunas de las molestias presentadas por los estudiantes.

En la siguiente tabla se resumen las principales características toxicológicas de algunos de los compuestos presentes en la madera:

Tabla 8. *Características toxicológicas de algunos compuestos presentes en la madera*

Irritante	Nocivo	Tóxico	Narcótico	Cancerígeno	Sensibilizante
Cresoles Cromo (III) Esteres Pineno Amoniaco Ciclohexano Formaldehido Isocianatos Hexano Tolueno Xilenos	Cromo (VI) Comp. de As Hexano Sales de Co Tolueno	Cromo (VI) Sales de Cd Hexano Comp. de As Cromo (VI)	Acetona Lindano Cresol	Comp. de As Cromo (VI)	Sales de Co Isocianatos

Fuente: *Institut de Salut Laboral de les Illes Balears (2004).*

Al preguntarles a los estudiantes acerca del uso de equipos de protección contra polvos de madera, el 89% de la muestra afirmaron que usan equipo de protección, es decir el 11% negaron el uso de estos equipos, de este modo se compararon con aquellos estudiantes que presentaron molestias debido al trabajo con maderas.

De los 260 estudiantes que afirman usar equipo de protección, 191 de ellos presenta molestias en los ojos, nariz, piel y garganta, debido al trabajo con maderas, esto quiere decir que los equipos que utilizan los estudiantes no están siendo los suficientemente efectivos contra inmisión de partículas dentro del taller y que además 142 de los estudiantes que presentaron molestias no se han realizado ningún examen médico de los mencionados dentro de la encuesta.

Contraponiendo lo anterior particularmente aquellos 36 casos que afirmaron no usar equipos de protección (ver anexo) presentan molestias en los ojos, nariz, piel y garganta; y afirman que las molestias fueron causadas por trabajar en el área de maderas, del taller de diseño. Respecto a lo anterior la Asociación Chilena de Seguridad (2017) resalta que el uso de equipos es indispensable a la hora de trabajar en los talleres de madera ya que, al realizar actividades como cepillado, corte o fresado existe cierto riesgo por la generación de partículas de madera y virutas que pueden causar lesiones si no se toman las precauciones respecto a dicha actividad como el adecuado seguimiento de procesos y uso de los elementos de protección personal, como caretas, lentes, antiparras, etc.

De lo anterior se infiere que los estudiantes no están haciendo uso adecuado de los equipos de protección, ya que si bien los datos arrojados en las encuestas indican que si usan equipos de trabajo solo se evidencia el uso de overoles haciendo caso omiso al uso de mascarillas, guantes, lentes, etc. pese a que la mayoría de ellos no tengan una duración de más de 2 horas al día dentro del área de madera (ver figura 35) Ante las diferentes situaciones de riesgo también es importante resaltar la aplicación de medidas como la instalación de sistemas de captación y aspiración localizada en las maquinas que generan partículas y virutas. A pesar de que el taller de la universidad cuenta con sistemas extracción (ver figura 36) este según la información suministrada en la entrevista por los encargados del taller, no es encendido durante el horario habitual del taller, ya que solo se hace útil cuando se realizan actividades de lijado y cuando la presencia de estudiantes en el área de madera es alta, esto debido a el ruido que estos equipos causan.

Figura 35. *Falta de uso de protección por parte de los estudiantes.*

Fuente: *Fotografía tomada por autores*

Figura 36. *Extractores purificadores de aire Universidad El Bosque*

Fuente: *Fotografía tomada por autores*

Ciertas actividades desempeñadas en el taller como cortado, lijado, pulido, etc. Provocan la generación de polvos, aserrín y viruta (ver Figura 37). Según menciona el estudio de la exposición al polvo de maderas duras en carpinterías:

> *En los trabajos con madera se produce la disgregación de la misma, dando lugar a la aparición de polvo; las operaciones de tronzado, desbastado, taladrado y cepillado, son las que originan principalmente partículas de más de 100 µm (serrín y virutas) mientras que las de fresado, lijado y pulido, originan, por norma general, partículas inferiores a 100 µm (inhalables) y en muchas ocasiones inferiores a 5 µm.*
>
> *Estudios especializados de carácter técnico han determinado que el diámetro medio de las partículas de polvo de madera se encuentra, generalmente, entre 10 µm y 30 µm, pero durante procesos como el lijado se pueden emitir partículas más finas, llegando hasta diámetros de partícula menores de 7 µm.*
>
> *En la fabricación y procesado de tableros (MDF) y en los contrachapados, se generan, igualmente, partículas con un tamaño en torno a 1 µm.*

Teniendo en cuenta los resultados anteriormente encontrados, según lo afirma (Ideara, 2014, p.71)

> *Los riesgos derivados de la contaminación del aire intramural por el polvo generado por procesamiento de las piezas de madera, se pueden producir por concentración ambiental del polvo, por la sequedad de la madera, por los contenidos de taninos y por la posible presencia de otros elementos contaminantes como barnices, pinturas y tratamientos específicos. Si además de polvo, hay gases o vapores en el ambiente, éstos impregnarán las partículas y pueden potenciar su nocividad.*

Por todo de lo anteriormente mencionado tenemos que existe una relación intrínseca entre los factores de riesgo ocasionados por el uso de madera y las molestias que estas pueden generar sobre los estudiantes, teniendo en cuenta el tipo de madera y el residuo que estas generan, además, estas son dependientes del tiempo en el que se realizan dichas actividades, a lo que se atribuye una frecuencia constante de acuerdo al plan de estudio que tienen las carreras de diseño industrial y artes plásticas.

Figura 37. *Presencia de polvo, viruta o aserrín en el taller.*

Fuente: *Fotografía tomada por autores*

9.2 Etapa 2: *Determinar el nivel de inmisión de material particulado (PM_{10}) a través de la medición directa por medio de la construcción de un sensor de polvo.*

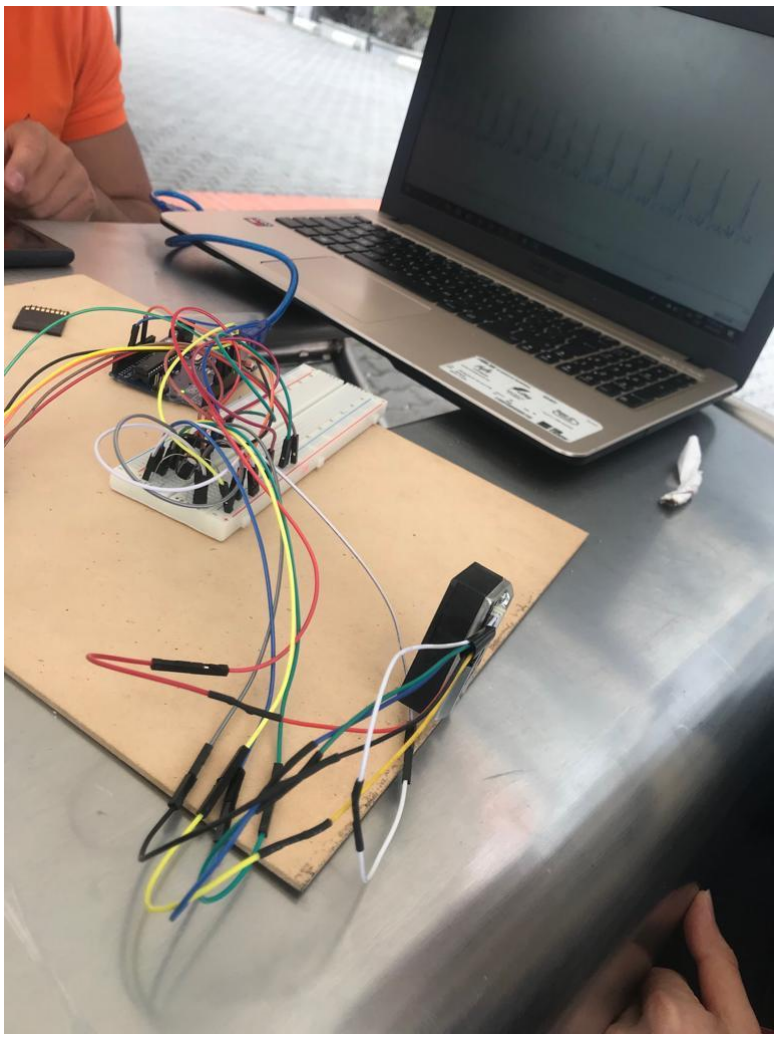
Para entender el comportamiento del material particulado (PM_{10}) en esta etapa se optó por la utilización de un sensor de polvo de bajo costo GP2Y1010AU0F, ya que los métodos actuales de monitoreo de material particulado son generalmente costosos. SHARP GP2Y1010AU0F[2] es un sensor de polvo por detección óptica, este detecta la luz reflejada por el polvo en el aire y sirve especialmente para detectar partículas muy finas.

Dichos monitores portátiles de material particulado se han hecho populares en los últimos años (Hagler et al. 2014), por su bajo costo y mediciones en tiempo real de la calidad del aire local (Chong y Kumar 2003; Leavey et al. 2015). Los sensores de partículas que utilizan dispersión de luz como el del presente trabajo son más baratos y más compactos que los sensores que utilizan el conteo de partículas individuales. Normalmente están compuesto por un diodo emisor de infrarrojos (IRED), un fototransistor (PT), y lentes de enfoque, mientras esta pasa a través del sensor, las partículas dispersan la luz y la intensidad de luz recibida por el fototransistor está directamente correlacionada con la concentración de partículas (Wang, 2015). Estos sensores miden las propiedades ópticas de las partículas como un conjunto, característica que reduce en gran medida el costo y el tamaño de los sensores; Sin embargo, al mismo tiempo, limita su medición y precisión (Holstius et al. 2014; Gao et al. 2015).

Los sensores de bajo costo como el SHARP GP2Y1010AU0F a comparación de otros dispositivos, no cuenta con un sistema adquisición de datos incorporado que permitan la recopilación y visualización de datos. Por ello se hace necesario la utilización de microprocesadores que permitan registrar y marcar datos, en este trabajo se utiliza Arduino UNO (ver Figura 38) el cual ayuda a convertir la señal de salida del sensor a la señal digital que será leída en el computador a través de la comunicación USB establecida (Qian, 2018). La programación está escrita en un código abierto del Arduino software (IDE) y las mediciones se enviaron cada 10 minutos a una tarjeta micro SD la cual se codifico en la programación permitiendo guardar la información, para mayor facilidad a la hora de la recolección de datos.

[2] Cf. Manual SHARP GP2Y1010AU0F

Figura 38. *Sensor con microprocesador conectado a la plataforma de Arduino.*



Fuente: *Fotografía tomada por autores*

Entendiendo la funcionalidad de dichos dispositivos el nivel de inmisión se determinó mediante el comportamiento del material particulado registrado por el sensor. Como primera instancia se obtuvo que las concentraciones de material particulado (PM_{10}) oscilan entre los 20 y 30 $\mu g/m^3$ durante las dos semanas, valores que no superan los establecidos por la norma como se muestra en la tabla 7, teniendo en cuenta que no se ha expedido ninguna normativa de calidad del aire intramuros, es necesario adoptar las definiciones y las mediciones que se realizaron para calidad del aire exterior, emitidas por los diferentes entes del control, que existen en el país.

Sin embargo, la mayoría de las personas pasan casi el 80% de su tiempo en interiores como casas, oficinas, edificios, etc., los cuales pueden estar más gravemente contaminado que el aire exterior. Por tal motivo las concentraciones registradas generan preocupación teniendo en cuenta que los estudiantes permanecen en el taller por periodos de 2 y 3 horas diarias según lo refleja la encuesta realizada.

En segunda instancia el registro horario de PM_{10} arrojó valores más intensos desde las 7:00 am hasta las 12:00 am, motivo al cual se atribuyen el bloque de clases de la materia "Materiales y procesos 2" correspondiente al trabajo con maderas en la carrera de diseño industrial, que inician desde las 7:00 am hasta las 12:00 am (ver anexo 5), estos a su vez están relacionados con el reporte diario ya que los días en los que se dicta dicha clase son los martes y jueves, siendo el día martes el valor promedio de concentración más alto durante la semana con 25,5 $\mu g/m^3$. No obstante los demás días también cuentan con un rango significativo puesto que las mediciones realizadas se llevaron a cabo en semana de parciales y entregas, lo que indica mayor recurrencia de los estudiantes en el taller debido a la finalización de sus diferentes proyectos que requieren del usos de dichas áreas de trabajo.

Finalmente, en tercera instancia se obtuvo la gráfica promedio con una concentración de 24,3 $\mu g/m^3$ de PM_{10} dentro del taller, la cual se encuentra por debajo de los valores registrados en el informe mensual de calidad del aire de octubre de 2017, donde la estación de Usaquén reporto un valor promedio mensual de 36 $\mu g/m^3$, no obstante esta hace referencia a calidad del aire exterior, sin embargo es aplicable a interiores según lo denota la OMS. De acuerdo con esto en dicha área no se han reportado concentraciones de PM_{10} significativamente altos respecto a la norma nacional, lo que indica dicho sector se encuentra en una categoría favorable en términos de calidad del aire.

9.3 Etapa 3: *Realizar un análisis comparativo del estado actual de la calidad del aire del taller.*

Para realizar el análisis comparativo de los resultados obtenidos, fue necesario demostrar mediante las siguientes justificaciones, el uso de las normativas de calidad del aire exterior como las guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre expedidas en 2005 y la Resolución 2254 de 2017 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Debido a la falta de normativa para calidad del aire intramural en el país.

Según lo afirma la (OMS, 2010, p.4):

> "El grupo directivo1 que ayudó a la OMS a diseñar las pautas de calidad del aire interior concluyó que no existe evidencia convincente de una diferencia en la naturaleza peligrosa de las partículas provenientes de fuentes interiores en comparación con las del exterior y que los niveles interiores de PM10 y PM2.5, en presencia de fuentes interiores de PM, generalmente son más altos que los niveles de PM al aire libre. Por lo tanto, las pautas de calidad del aire para partículas recomendadas por la actualización global de 2005 (3) también son aplicables a espacios interiores y actualmente no es necesaria una nueva revisión de la evidencia".

Además de la OMS, la EPA (Enviromental Protection Agency) concluye que (EPA, 2016, p.1):

> "Los niveles de PM en interiores dependen de varios factores, incluidos los niveles en exteriores, la infiltración, los tipos de ventilación y sistemas de filtración utilizados, las fuentes en interiores y las actividades personales de los ocupantes. En hogares sin fumar u otras fuentes de partículas fuertes, se esperaría que el PM en interiores sea igual o menor que en los niveles en exteriores"

Teniendo en cuenta la tabla 9 y lo anteriormente dicho se elaboró la siguiente tabla:

Tabla 9. *Tabla de análisis de la normativa*

Normativa	Interpretación
Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre de 2005.	Por su parte la OMS, indica que los niveles máximos permisibles, el valor máximo dentro de 24 horas es de 50 $\mu g/m^3$ Los resultados obtenidos en el área de maderas en el taller de diseño indican que los valores de inmisión PM_{10}: • Para la figura 32 donde se ilustra el comportamiento horario del material particulado durante las dos semanas, se reportan valores más intensos durante las 7:00 am y las 12:00 am, alcanzado valores fluctuantes alrededor de los 40 $\mu g/m^3$. Sin embargo, el promedio diario de inmisión de PM_{10}, no supera los límites permisibles según la guía de la OMS. • Para la figura 33 donde se ilustra el comportamiento de la inmisión por día de material particulado se reportan valores más intensos durante la segunda semana, los días martes con 30,6 $\mu g/m^3$ y los días viernes con 31,8 $\mu g/m^3$. Por lo cual no se está excediendo los valores máximos permisibles del contaminante PM_{10} según la guía de la OMS.
Resolución 2254 de 2017	Esta resolución indica que los niveles máximos permisibles de contaminantes criterio en el aire, en este caso PM_{10}, el valor máximo dentro de 24 horas es de 100 $\mu g/m^3$ Los resultados obtenidos en el área de maderas en el taller de diseño indican que los valores de inmisión PM_{10}: • Para la figura 32 donde se ilustra el comportamiento horario del material particulado durante las dos semanas, se reportan valores más intensos durante

	las 7:00 am y 12:00 am, alcanzado los 40 µg/m3. Sin embargo, el promedio diario de inmisión de PM_{10}, no supera los límites permisibles Según el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. • Para la figura 33 donde se ilustra la el comportamiento de la inmisión por día de material particulado se reportan valores más intensos durante la semana número 2, los días martes con 30,6 $\mu g/m^3$ y los días viernes con 31,8 $\mu g/m^3$.Por lo cual no se está excediendo los valores máximos permisibles del contaminante PM_{10}. Según el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Fuente: *Elaboración autores*

10. Conclusiones

El presente trabajo permitió a los investigadores, aplicar conocimientos adquiridos a lo largo de su formación en la Universidad El Bosque, abarcando áreas como calidad del aire, salud ocupacional, gestión ambiental, estadística, entre otras, las cual permitieron desarrollar la investigación desde un enfoque inter-transdisciplinario, en la cual cada área brinda su aporte y complementa a las otras. Además de la aplicación de conocimientos, teorías y la respectiva elaboración del sensor de PM_{10}, fue necesario el trabajo con la comunidad, la cual proporcionó una mirada más completa, ya que ellos son el foco principal en contacto directo con el área de maderas, en el taller de diseño, de manera casi permanente.

Inicialmente la encuesta de percepción adaptada de (Quiroz, 2017) y aplicada a los estudiantes de artes plásticas y diseño industrial en el área de maderas en el taller de diseño industrial, brindo una perspectiva más completa de los diferentes factores que inciden en la calidad intramural y posible afectación en la comunidad estudiantil. Por tal motivo se evidencio que la presencia de los estudiantes en el taller de maderas es proporcional al tiempo de estudio que llevan en la universidad y qué el uso de variedad de tipos de maderas está ligada a la generación de polvos de madera y las molestias sobre la salud que estas pueden causar. No obstante, a pesar de las normas impuestas por la universidad acerca del uso de equipos de protección a la hora de trabajar dentro del taller, las experiencias de trabajo de cada estudiante, evidenciaron que se hace caso omiso acerca de la importancia de dichos equipos. Y si bien la comunidad estudiantil parece tener clara la incidencia en la salud como consecuencia de trabajar con maderas, no va más allá, puesto que la mayoría de los encuestados no se han realizado exámenes médicos referentes a la capacidad pulmonar o exámenes de radiografía de tórax. En contraste, destacan que casi todos se han realizado exámenes médicos de optometría o valoración general, los cuales se consideran insuficientes en lo que respecta a la problemática con polvos de madera. Por lo que sería de gran importancia ajustar

y hacer más rigurosas dichas normas dentro del taller, evitando así la afección sobre la comunidad estudiantil.

Por otro lado, las mediciones de inmisión de material particulado PM_{10}, indican que durante las dos semanas existen datos constantes en el promedio del día, con la excepción de ciertos días donde los valores alcanzan 44 $\mu g/m^3$ en determinadas horas y aun así ninguno de los valores, supera los límites permisibles estipulados por el Ministerio de Medioambiente y Desarrollo Sostenible y las guías de calidad del aire dictadas por la OMS. Se puede evidenciar cierta permisividad de la normativa colombiana ya que esta permite un límite de 100 $\mu g/m^3$, lo cual sería el doble de lo estipulado según la OMS, es pertinente como la afirma la misma organización que (OMS,2006, p.9):

> "El proceso de fijación de normas debe orientarse más bien a alcanzar las concentraciones más bajas posibles teniendo en cuenta las limitaciones, la capacidad y las prioridades en materia de salud pública en el ámbito local."

Esto quiere decir que el Ministerio de Medioambiente y Desarrollo Sostenible debería empezar la construcción de una normativa pertinente para la calidad del aire intramural, lo que permitirá una comparación más precisa con los valores obtenidos en el taller de maderas, y en consecuencia con la determinación del estado de calidad del aire en este lugar de manera más exacta.

A pesar de esto, se considera que la calidad del aire dentro del taller es aceptable, teniendo en cuenta que los valores obtenidos de PM_{10} son representativamente altos, alcanzando el 50% de las concentraciones adaptadas a la normativa referente a calidad del aire exterior, por consiguiente, al sugerir la construcción de una normativa, estas deben indicar que las concentraciones en interiores deben ser más limitantes, y se podría inferir un tipo de alerta dentro del taller.

La elaboración del sensor de PM_{10} utilizado en el presente trabajo contribuyó al conocimiento de métodos de bajo costo y a la demostración de la capacidad de reportar concentraciones de partículas con relativamente alta linealidad y repetibilidad moderada, siempre y cuando las conexiones se lleven a cabo pertinentemente. De no ser así, se podrán presentar datos ausentes lo que conlleva a un problema de falta de información por lo que se debe recurrir a la ampliación de tiempo del proyecto; a pesar de ello la incertidumbre de la medición se redujo promediando las mediciones durante largos periodos de tiempo (Wang, 2015). Siendo más precisos, se pudo comparar una semana de trabajo normal contra una semana de fin de corte, donde los estudiantes dedican un mayor tiempo en la elaboración de prototipos y, por lo tanto, es lógico que exista una mayor inmisión durante estos días.

11. Recomendaciones

- La encuesta realizada en formato digital, permitió el desarrollo de varios formularios de forma simultánea y de manera eficaz, sin embargo, se recomienda que este medio sea utilizado solo cuando la muestra de la población sea mayor a 100 personas, debido a que en la encuesta se utilizaron preguntas tanto abiertas como cerradas, fue necesario normalizar la información, para ser representada de manera adecuada en tablas y gráficas.

- El sensor de polvo GP2Y1010AU0F, programado mediante la placa madre de Arduino Genuino uno, requiere de una fuente de alimentación eléctrica constante la cual provea un voltaje entre 1 y 5 voltios, por lo cual para medición continua en área de maderas, fue necesario instalarle una *powerbank* que modulara la corriente enviada a través de la extensión de corriente de la toma corriente.

- El sensor estuvo midiendo de manera continua durante 3 semanas. Sin embargo, la primera semana comprendida entre el 10 y el 16 de septiembre de 2018, hubo problemas con la recolección de la información, puesto que para poder retirar la tarjeta SD del sensor y obtener los datos en un archivo .TXT, es necesario apagarlo y posteriormente introducir la tarjeta, para luego poder conectarlo y que el sensor comience a medir de nuevo. Este simple paso no estaba dentro del conocimiento de manejo de los investigadores, por lo cual, durante varios días de la semana 1 el sensor no se activaba de manera adecuada y no grababa los datos en la tarjeta S.D. Por lo cual se recomienda verificar continuamente las conexiones entre la *protoboard*, el sensor y la placa madre arduino, además de proveer una fuente de energía que pueda modular la corriente, sin olvidar el proceso de extracción de la tarjeta S.D para no afectar la medición continua.

- A pesar de que el sensor de polvo GP2Y1010AU0F reportó valores significativos, este está basado en una convención natural, lo que hace que su rendimiento sea limitado debido a la ausencia de un módulo auto aspirado, a comparación de otros dispositivos que sí la incluyen. Por lo anterior, se sugiere el uso de un dispositivo externo como un ventilador que ayude a la circulación del material particulado a través del sensor.

- Del desarrollo del presente trabajo se espera que en investigaciones adicionales lleven a cabo realizaciones de pruebas que contemplen la influencia de la temperatura y humedad, que puedan afectar la variabilidad del nivel de material particulado (PM_{10}) detectado.

- A través de las diferentes visitas periódicas, se pudo evidenciar la falta de uso de equipo de protección por parte de los estudiantes e incluso operarios del taller en el área de maderas, es conveniente que en una futura propuesta se diseñe un sistema de extracción de virutas de madera o que se mejore el extractor que hay actualmente fortaleciendo aquellos puntos donde las maquinas tengan una mayor inmisión, ya que como se ha expuesto a lo largo de la investigación el aserrín es causante de enfermedades de índole carcinógeno. Además mientras se desarrolla esta propuesta es recomendable que las normativas de uso del área de maderas, sean más estrictas y radiquen la obligatoriedad del el uso de medias mascaras ya sea de la marca 3m o cualquier otra que cumpla con la labor de proteger las vías respiratorias ante material particulado acompañándolas siempre de gafas de protección. A su vez también es pertinente sugerir el uso de máscaras completas las cuales cumplen con la doble función de proteger las vías respiratorias y los ojos en una misma pieza. En harás de fomentar un ambiente de trabajo sano como está estipulado en la política ambiental de la Universidad El Bosque.

12. Referentes teóricos

- Anderson H.R., Bremner S.A., Atkinson R.W., Harrison R.M., Walters S., Particulate matter and daily mortality and hospital admissions in the West Midlands conurbation of the United Kingdom: associations with fine and coarse particles, black smoke and sulphate, Occup Environ Med, Vol. 58, No. 8, pp 504–510, 2001.
- Asociación Chilena de Seguridad (2017). Prevención de riesgos en la industria de la madera y el papel. Subgerencia de capacitación y publicaciones, programas PYMES. Chile.
- Barrera Nova, J. S., Puentes Constain, C. A., Gutiérrez, S., & Andrés, J. (2014). Estudio de las condiciones de trabajo de un taller de maderas a partir de la percepción de los estudiantes de diseño industrial en el desarrollo de sus prácticas académicas de una universidad privada de Bogotá (Bachelor's thesis, Facultad de Enfermería).
- Black, N., Dilworth, M., & Summers, N. (2007). Occupational exposure to wood dust in the British woodworking industry in 1999/2000. The Annals of occupational hygiene, 51(3), 249-260.
- Chong, C.-Y., and Kumar, S. P. (2003) Sensor Networks: Evolution, Opportunities,
- and Challenges. Proc. IEEE, 91:1247–1256.
- Douwes, J., Cheung, K., Prezant, B., Sharp, M., Corbin, M., McLean, D., ... & LaMontagne, A. D. (2017). Wood dust in joineries and furniture manufacturing: an exposure determinant and intervention study. Annals of work exposures and health, 61(4), 416-428.
- Environmental Protection Agency. (2016). Indoor Air Quality(IAQ).
- Francisca Feliú Jarpa II D.O III Trimestre s.f.
- Franck U, Herbath O, Roder S, Schlink U, Bote M, Diez U, Kramer U, Lehmann I, Respiratory effects of indoor particles in young children are size dependent., Science of the Total Environment, Vol.409, pp 1621-1631, 2011.
- Gaitán, M., Cancino, J. & Behrentz E. (2007). Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá. Bogotá, Colombia. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú.
- Gómez, M., & Sabeh, E. (2001). Calidad de vida. Evolución del concepto y su influencia en la investigación y la práctica. *Salamanca: Instituto Universitario de Integración en la Comunidad, Facultad de Psicología, Universidad de Salamanca*.

- Hagler, G., Solomon, P., and Hunt, S. (2014). New Technology for Low-Cost, RealTime Air Monitoring. EM (Air Waste Manage. Assoc.), 1, Pittsburg, PA.
- Hausen BM. Wood injurious to human health. Berlin: Walter de Gruyter, 1981.
- Holstius, D., Pillarisetti, A., Smith, K., and Seto, E. (2015). Field Calibrations of a Low-Cost Aerosol Sensor at a Regulatory Monitoring Site in California. Atmos. Meas. Tech. Discuss., 7:605–632.
- IARC Working Group (1995) Wood dust and formaldehyde. In IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, Vol. 62. IARC, Lyon, France.
- Ideara S.L. (2014). Estudio, análisis y consecuencias del uso de agentes químicos y maderas en los luthiers de la comunidad de Madrid, Instituto Regional de Seguridad y Salud en el Trabajo, Madrid, España, 71 pp.
- Informe mensual de calidad el aire en Bogotá (2017). Red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá.
- (Instituto Regional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2014)
- Jiménez Herrero, L. M. & J. Higón Tamant. 2003. Ecología y economía para un desarrollo sostenible. Valencia, España.
- Kauppinen T., Vincent R., Liukkonen T., Grzebyk M., Kauppinen A., Welling I., Arezes P., Black N., Bochmann F., Campelo F., Costa M., Elsigan G., Goerens R., Kikemenis A., Kromhout H., Miguel S., Mirabelli D., Mceneany R., Pesch B., Plato N., Schlünssen V., Schulze J., Sonntag R., Verougstraete V., De Vicente M.A., Wolf J., Zimmermann M., Husgafvel-Pursiainen K. y Savolainen K. (2006). Occupational exposure to inhalable wood dust in the member state of the European Union. Ann. Occup. Hyg. 50, 549-561. DOI: 10.1093/annhyg/mel013
- Korc, M.E. & Saenz, R. (1999). Monitoreo de la calidad del aire en América Latina.
- K. Krost, C. Sawicki, J. Bell. Monitoring airborne particulate mass by beta absorption. Analytical Letters, 10 (1977), pp. 333-355
- Lara Basantes, C. A. (2018). Determinación de las concentraciones de material particulado orgánico volátil en el barrio la esperanza, ciudad de Riobamba, por incidencia de aserraderos (Bachelor's thesis, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo).
- Linear equation taken from http://www.howmuchsnow.com/arduino/airquality/ // Chris Nafis (c)(2012)
- Marcelo E. Korc (1999). Monitoreo de la calidad del aire en América Latina. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente División de Salud y Ambiente.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Resolución 2257
- MAVDT, Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire. 2010, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: Colombia.
- Montoya-Rendon, M. L., Zapata-Saldarriaga, P. M., & Correa-Ochoa, M. A. (2013). Contaminación ambiental por PM10 dentro y fuera del domicilio y capacidad respiratoria en Puerto Naré, Colombia. Revista de Salud Pública, 15, 103-115**.**
- Organización Mundial de la Salud. (2006). Pautas de calidad del aire de la OMS para partículas, ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre: actualización mundial de 2005.
- Organización Mundial de la Salud. (2010). Directrices de la OMS para la calidad del aire interior: contaminantes seleccionados.
- Paprotny, F. Doering, P.A. Solomon, R.M. White, L.A. Gundel. Microfabricated air-microfluidic sensor for personal monitoring of airborne particulate matter: Design, fabrication, and experimental results Sensors and Actuators A: Physical, 201 (2013), pp. 506-516

- Patashnick. H, Rupprecht E.G. Continuous PM-10 measurements using the tapered element oscillating microbalance. Journal of the Air and Waste Management Association, 41 (1991), pp. 1079-1083
- Qian D., Pang Z. & O´Neill Z (2018). Evaluation of Low-cost Particulate Matter (PM) Sensors: A Preliminary Investigation.
- Querol, X. (2008). Calidad del aire, partículas en suspensión y metales. CSIC. Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Barcelona.
- Quiroz Carranza, J. A., Vidal Limón, A. M., & Torres Torres, J. A. (2017). Generación de polvos de madera en talleres de la escuela de laudería del Instituto Nacional de Bellas Artes y Literatura, México. Revista internacional de contaminación ambiental, 33(1), 65-73.
- Sánchez, R. (2016), "Material Particulado y su incidencia en la salud de los trabajadores en la empresa de calzado cm original" (Tesis). Universidad Técnica de Ambato, Ambato – Ecuador.
- Santurio (2015). Estudio de la exposición al polvo de maderas duras en carpinterías. Instituto Asturiano de Prevención de Riesgos Laborales. Asturias, España.
- Secretaria distrital de ambiente. Alcaldía mayor de Bogotá D.C.
- Weber SG, Kullman E, Petsonk WG, Jones S, Olenchock W, Sorenson J, et al. Organic dust exposures from compost handling: case presentation and respiratory exposure assessment. Am J Ind Med 1993; 24: 365–74.
- Snyder EG, Watkins TH, Salomón PA, Thoma ED, Williams RW, Hagler GSW, Shelow D., Hindin DA, Kilaru PW , Preus VJ. The changing paradigm of air pollution monitoring Environmental Science and Technology, 47 (2013), pp. 11369-11377
- WHO. (2005). Guía de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. OMS.
- World Health Organization. (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre: actualización mundial 2005.
- Yang Wang, Jiayu Li, He Jing, Qiang Zhang, Jingkun Jiang & Pratim Biswas (2015) Laboratory Evaluation and Calibration of Three Low-Cost Particle Sensors for Particulate Matter Measurement, Aerosol Science and Technology, 49:11, 1063-1077, DOI: 10.1080/02786826.2015.1100710