

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA EL MONITOREO DE LA
CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE**

**Revisión de la literatura técnica sobre el uso de sensores de bajo
costo (low-cost sensors) para el monitoreo de la calidad del aire
ambiente**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

SHIRLEY DAYANNA LLANGA ALCOCER

shirley.llanga@epn.edu.ec

DIRECTOR: CARLOS PAEZ PEREZ

carlos.paez@epn.edu.ec

DMQ, febrero 2022

CERTIFICACIONES

Yo, SHIRLEY LLANGA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

SHIRLEY LLANGA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por SHIRLEY LLANGA, bajo mi supervisión.

CARLOS PAEZ
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

SHIRLEY LLANGA

CARLOS PAEZ

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a mi abuelito Manuel Alcocer Morocho, a quien no le pude entregar mi título antes de su partida.

Aún conservo los recuerdos en lo más profundo de mi corazón y agradezco a Dios el haberme permitido compartir varios años a su lado.

Y a mi sobrina Camila Vásquez, debido a que fue una travesía estudiar los primeros semestres mientras la cuidaba, lo hacía con todo el amor.

AGRADECIMIENTO

En primera instancia a Dios, quien fue el que cumplió el anhelo de mi corazón de poder ingresar a tan prestigiosa universidad, la conocí a mis 10 años, no supe que era, pero cuando la vi exclame: “Yo quiero estudiar aquí, sáquenme de mi escuela que quiero entrar aquí”

A mis padres Luis Llanga y Elena Alcocer quienes jamás dudaron de mí, aun cuando quise rendirme, no lo permitieron.

Y a mis maestros quienes dejaron una huella en el corazón. En especial al Ing. Carlos Páez quien fue mi mentor.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1 INTRODUCCIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico	3
2 METODOLOGÍA.....	14
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	22
3.1 Resultados	22
3.2 Conclusiones.....	28
3.3 Recomendaciones.....	28
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
5 ANEXOS.....	33
ANEXO I.....	3

RESUMEN

El monitoreo de la calidad del aire es de interés internacional, debido a la gran preocupación que se tiene por la salud humana y los efectos adversos que pueden generar la contaminación del aire. Aunque las entidades de gobierno están obligadas a hacerlo, no lo ejecutan, debido, en parte, a los elevados costos que representa y a la complejidad técnica de su operación, generando un déficit de información, que conspira contra el derecho a vivir en un ambiente sano. En atención a este panorama, que no solo es del Ecuador, los avances tecnológicos han permitido desarrollar unos sensores de bajo costo que tiene la capacidad de monitorear la calidad del aire, aunque aún existen duda sobre la certidumbre de los resultados que estos equipos entregan, generando un campo actualmente vigente en la investigación, para tratar de establecer las mejores condiciones para su empleo. En este escenario, surge la idea de realizar una revisión de la literatura técnica producida en los últimos años, a fin de verificar cómo se está aplicando esta alternativa tecnológica a nivel mundial y regional. El resultado de esta primera revisión fueron 16 escritos enfocados en la comparación de los resultados de sensores de bajo costo con respecto a los registrados con equipos normalizados, llegando a establecerse que los equipos AirBear, Temtop M2000C, SPS30, Dyllos y BAM 1020, que han sido analizados más de una vez, generan resultados aceptables, aunque hay artículos que no señalan las discrepancias e insisten en la necesidad de mejores desarrollos tecnológicos y mayor investigación, a fin de establecer situaciones y aplicaciones apropiadas.

PALABRAS CLAVES: Revisión literaria, sensores de bajo costo, monitoreo de la calidad del aire, estaciones de monitoreo.

ABSTRACT

The monitoring of air quality is of international interest, due to the great concern for human health and the adverse effects on health that can be caused by air pollution. Although government entities are obliged to do so, they do not execute it, due, in part, to the high costs they represent and the technical complexity of their operation, revealing a lack of information, which conspires against the right to live in a healthy environment. . In view of this panorama, which is not only from Ecuador, technological advances have allowed the development of low-cost sensors that have the capacity to monitor air quality, although there is still doubt about the certainty of the results that these teams deliver. showing a field currently in force in research, to try to establish the best conditions for their employment. In this scenario, the idea arises of conducting a review of the technical literature produced in recent years, in order to verify how this technological alternative is being applied at a global and regional level. The result of this first review was 16 writings focused on the comparison of the results of low-cost sensors with respect to loggers with standardized equipment, establishing that the AirBear, Temtop M2000C, SPS30, Dyls and BAM 1020 equipment, which have been analyzed more than once, generate acceptable results, although there are articles that do not point out the discrepancies and insist on the need for better technological developments and further research, in order to establish appropriate situations and applications.

KEY WORDS: Literature review, low-cost sensors, air quality monitoring, monitoring stations.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Se estima que la exposición a la contaminación del aire en exteriores e interiores produce cada año la muerte prematura de 7 millones de personas (OMS, 2021), siendo el 36 % por cáncer de pulmón, el 35 % por insuficiencias respiratorias, el 34 % de accidentes cerebrovasculares y el 27 % de los infartos al corazón (Candia et al, 2018).

Todo país tiene la responsabilidad de brindar a sus pobladores un ambiente sano y de buena calidad, aunque en la práctica, esto deja mucho que desear. Si se analiza únicamente el continente americano, se sabe que de los 35 países que lo conforman, sólo 17 de ellos cuentan con datos disponibles de calidad del aire, principalmente en las ciudades más pobladas (Diez et al, 2019). Si se habla específicamente de Ecuador se conoce que únicamente dos ciudades son las que cumplen esta obligación: Quito y Cuenca, por lo cual no es posible evaluar con certeza la situación general de la contaminación del aire, aunque los datos disponibles para esas dos ciudades, muestran problemas, sobre todo por las exposiciones a largo plazo (UNICEF, 2020).

En la actualidad, el monitoreo del aire ambiente con fines regulatorios se realiza con instrumentos de medición reconocidos como métodos de referencia o equivalentes por la autoridad competente, que se dice: “requieren de un mantenimiento y calibración permanente y cuyo costo supera ampliamente las decenas de miles de dólares cada uno” (Luna et al, 2017), lo cual limita su uso. Por ello, es de gran importancia, contar con sistemas continuos de vigilancia que rindan cuentas de la realidad de la calidad del aire, que brinden información clara, su costo sea accesible, de fácil colocación y manipulación, siendo los sensores de bajo costo una alternativa que requiere atención por las ventajas que presentan.

Debido a su gran versatilidad los sensores de bajo costo se han introducido en el ámbito de la calidad del aire y los avances tecnológicos permiten que nuevos sensores en término de tipo y número se encuentre disponibles en el mercado. (Feenstra et al, 2017). Uno de los factores a considerar por las entidades que pretenden monitorear los contaminantes del aire, es el costo que estos equipos representan, que van desde cientos hasta pocos miles de dólares (Karagulian et al, 2019), otro de sus beneficios es la cobertura espacial que brinda para ciudades y lugares recónditos, que pueden considerarse de difícil acceso para equipos sofisticados y normados.

Al querer involucrar los sensores de bajo costo en la medición de la calidad del aire, lo único que se pretende es que estos dispositivos tengan la capacidad de entregar datos confiables, puedan aumentar y mejorar significativamente las capacidades actuales de monitoreo del aire ambiental (Feenstra et al, 2017). Una desventaja que se tiene de esta nueva tecnología, es que aún no cuenta con normas de calibración, validación y evaluación de desempeño, que tengan análisis exhaustivos y que a su vez estos sean aceptados a nivel mundial (Jorge G, 2021), aunque cabe destacar que se están realizando varios esfuerzos por llegar a cumplir la meta de emplear los sensores como medio de monitoreo estandarizados.

Este nuevo enfoque pretende recibir el reconocimiento de la EPA de los EEUU y si esto llegara a pasar, probablemente marcaría un cambio de paradigma respecto al monitoreo tradicional del aire (Feenstra et al, 2017), por lo cual surge la necesidad de hacer una revisión de la literatura científica sobre estos equipos que brinde mayor y mejor información a las autoridades públicas, la comunidad académica y el público en general sobre las condiciones adecuadas de su uso y el alcance de los datos que arrojan.

1.1 Objetivo general

Generar mayor conocimiento de los sensores de bajo costo, mediante una revisión de la literatura científica, de los avances obtenidos en los últimos dos años, con el fin de aportar efectivamente a generar mayor conocimiento.

1.2 Objetivos específicos

1. OE1: Identificar una guía que permita tener una revisión sistemática óptima, que involucre varios aspectos que se puedan desarrollar con facilidad y que se tenga la libertad de añadir o quitar ítems respecto a lo que se pretende investigar.
2. OE2: Desarrolla una matriz, que permita clasificar y sintetizar la información relevante de los artículos evaluados, considerando la validez de los sensores como medio de monitoreo para la calidad del aire y su validez al compararlos con los equipos regulados.
3. OE3: Conocer los campos de aplicación donde se emplean los sensores de bajo costo para identificar la calidad del aire.

1.3 Alcance

Se pretende realizar una revisión de la literatura técnica que involucre todos los avances relacionados al monitoreo de la calidad del aire, mediante sensores de bajo costo, con la finalidad de verificar su funcionamiento. Se identificará los motores de búsqueda relacionados al ámbito científico más apropiados y la ecuación de búsqueda que permita realizar una revisión organizada y sistematizada.

Es evidente que existen varios estudios relacionados al uso de los sensores mediante una red de monitoreo, debido al gran interés que se tiene de validar estos equipos en el campo de calidad del aire. Por lo cual se ha delimitado esta búsqueda en un intervalo de tiempo, siendo los dos últimos años, es decir del 2020 al 2021.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Conceptos generales

El aire es una mezcla gaseosa incolora, inolora e insaborosa que conforma la atmósfera y rodea la tierra. Se compone principalmente de oxígeno (21%), nitrógeno (78%) y en pequeñas proporciones de gases nobles, vapor de agua y dióxido de carbono (1%) (Matus & Lucero, 2002) los cuales al estar en relación de equilibrio permitiéndonos respirar un aire limpio. El aire puede ser afectado por agentes anómalos, denominados contaminantes del aire (Mayorga et al, 2020).

Los agentes contaminantes del aire pueden provenir de fuentes naturales como: la actividad volcánica, incendios forestales, descomposición de la materia orgánica y de procesos erosivos; y de fuentes artificiales provocadas por la actividad humana, estas principalmente se dan por la quema de combustibles fósiles y sus fuentes pueden ser fijas o móviles (Rocancio, 2019). Los contaminantes del aire que se emiten de manera directa se denominan primarios, dentro de esta categoría se encuentra el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO₂), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y las partículas suspendidas menores a 10 y a 2.5 micrómetros (PM₁₀ y PM_{2.5}). Por otra parte, los contaminantes secundarios son aquellos que se generan por reacciones, dentro de esta categoría se encuentra el ozono (IDEAM, s.f).

Se ha evidenciado una relación directa entre la presencia de estos contaminantes y la afectación a la salud humana, se conoce que cada año provoca la muerte prematura de

millones personas. Estudios han demostrado que el riesgo presentado es importante a nivel mundial y comparable a otros de gran interés (OMS1, 2021). Por lo cual se han establecido límites máximo permisibles, estos contaminantes son conocidos como criterio (García et al, 2007).

Tabla 1. Efectos a la salud causados por contaminantes atmosféricos

Contaminantes criterio	Efectos en la salud
Material particulado (PM)	Debido a su tamaño, estas partículas pueden atravesar la barrera pulmonar y entrar en el sistema sanguíneo. La exposición persistente a este tipo de contaminantes genera un mayor riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias hasta cáncer de pulmón.
Ozono (O ₃)	Es uno de los causantes de problemas respiratorios, provocar asma, reducir la función pulmonar, dando lugar a enfermedades pulmonares. Se conoce que es un importante factor de mortalidad y morbilidad por asma.
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Se ha demostrado que los síntomas de bronquitis en niños asmáticos aumenta a medida que este expuesto al NO ₂ y producen una disminución en las funciones pulmonares.
Dióxido de Azufre (SO ₂)	Afecta al sistema respiratorio, funciones pulmonares y causa irritación a los ojos. Produce inflamación en vías respiratorias, dando origen a la tos, secreción mucosa y causa complicaciones a quienes padecen de asma o bronquitis. A la población expuesta, la convierte en vulnerables a contraer infecciones del sistema respiratorio.
Monóxido de carbono (CO)	Tiene la facilidad de ingresar al organismo a través de los pulmones, también al torrente sanguíneo y provocar una disminución del transporte de oxígeno a la sangre, causando daños el órganos y tejidos. Genera disfunciones cardiacas, afecciones al sistema nervioso y como efectos leves produce dolor de cabeza, mareos y fatiga (MITECO, s.f)

Fuente: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

1.4.2 Principios de la medición para la calidad del aire

Una medición de la calidad del aire se la puede realizar mediante muestreo, métodos y monitoreo para el análisis del contaminante de interés.

Muestreo

Tiene como finalidad tomar una muestra que sea representativa respecto al área total de interés, posterior a esto, la muestra debe ser analizada para identificar la concentración y caracterización del contaminante (Casal & Mateu, 2003). Existe varios tipos entre los cuales se tiene: el pasivo, con bioindicadores y activo.

Método

Las muestras recolectadas se las debe analizar empleándose los métodos apropiados en función al contaminante que se requiere analizar. Los métodos mayormente empleados son: los fotométricos (mide la intensidad de luz), volumétricos (emplea la titulación), espectrofotometría (mide las longitudes de onda) y gravimétricos (diferencia de peso) (León, 2021). Aunque también se tiene el método directo, siendo los mismos equipos quienes muestrean y entregan los resultados, entre los cuales se tienen: los métodos automáticos cuyo principio se basa en tomar mediciones de forma continua, en un punto y contaminante específico, para concentraciones horarias o intervalos; los ópticos de percepción remota, que emplear la espectroscopia y consiste en generar un haz de luz y a cierta longitud, entregando como resultado las concentraciones de los contaminantes en una sola revisión, los equipos empleados se denominan sensores remotos (Zapata et al, 2007).

En la actualidad se cuenta con otro tipo de sensores, que pueden medir la calidad del aire, aunque estos se encuentran en etapa de experimentación.

Método alternativo

El método emplea sensores de bajo costo (SBC), este nombre se le otorga debido a que se los puede adquirirse en un valor de entre 100 a 500 dólares (Navarrete J & Rico K, 2019), tiene la facilidad de ser transportados por cualquier usuario y gracias a esto, pueden ser ubicados en puntos de muestreo que los otros equipos no logran llegar. Cuentan con una red wifi que les permite entregar información de forma remota y con un sistema de almacenamiento.

En la actualidad los ajustes se dan por medios sencillos como las regresiones lineales y método un poco más complejos que emplean algoritmos sofisticados. Se conoce que la temperatura y humedad interfieren de forma directa en la obtención de resultados de los sensores (Kelly et al, 2017). Tienen la capacidad de medir factores meteorológicos como la temperatura, presión, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, radiación UV y precipitación y a su vez mide la concentración de contaminantes comunes (luna et al, 2017). Dada ciertas características de los sensores, es posible clasificarlos en tres sido: los sensores electroquímicos (emplean reacciones químicas), sensores fotoionizantes (emplea la luz ultravioleta y el desprendimiento de electrones) y sensores semiconductores (mediante la variación de resistencia eléctrica) (León, 2021).

Monitoreo

El monitoreo se define como la actividad que lleva seguimiento continuo a los contaminantes, con la finalidad de identificar los cambios que ocurren en el tiempo (Gaitán et al, 2007). Su propósito es proporcionar información necesaria para la toma de decisiones en función a la mejora del medio ambiente.

Para poder ejecutar este monitoreo se requiere de varios equipos, que se encuentren, normados, calibrados y certificados, ubicados en lugares estratégicos, que entreguen información del estado del aire, este espacio físico se denomina estación de monitoreo y el conjunto de estos, conforman lo que se denomina una red de monitoreo. Es preciso denotar que una estación de monitoreo está compuesta por el equipo medidor del contaminante, sensores meteorológicos, monitores, entre otros (Luna et al, 2017).

1.4.3 Normativa ambiental nacional

Ecuador cuenta con distintas normativas que están dedicadas a regular la calidad del aire, su pilar fundamental es la constitución de la república, donde el Artículo 14 asegura: “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir”.

Como siguiente nivel de jerarquía se tiene al código orgánico del ambiente (COA) quien faculta a los gobiernos autónomos descentralizados en materia ambiental, para controlar el cumplimiento de los parámetros ambientales y la adecuada aplicación de las normas técnicas.

El siguiente nivel jerárquico se tiene al texto unificado de la legislación secundaria del medio ambiente (TULSMA), siendo el encargado de recopilar la normativa que regula todo lo referente a protección medioambiental, cabe mencionar que únicamente se encuentran vigentes los anexos. Siendo el Anexo 4, dedicado a la calidad del aire.

Norma de la calidad del aire

Se definen contaminantes del aire ambiente al ozono (O₃), los dióxidos de nitrógeno (NO₂), el material particulado 2,5 y 10 (PM_{2,5} y PM₁₀), el dióxido de azufre (SO₂) y el monóxido de Carbono (CO).

Describiéndose cada uno de ellos a continuación:

Material particulado (PM): Se define como la mezcla de partículas sólidas y líquidas de distintos tamaños que se encuentran suspendidas en el aire. El PM puede ser clasificado en función al diámetro de partícula, donde un diámetro menos a 10 µm se lo define como PM₁₀ y un diámetro menor a 2.5 µm es denominado PM_{2.5}. Se conoce que la variabilidad de su presencia, se ven influenciadas por factores naturales y antrópicos, como la temperatura, la humedad y la ubicación (Candia et al, 2018).

- **Monóxido de carbono (CO):** Es un gas incoloro e inoloro, se forma por la combustión incompleta de material orgánico (déficit de oxígeno en la reacción). Las principales fuentes productoras de este contaminante son los vehículos de combustión y los procesos industriales que representan el 80% de las emisiones de CO al ambiente, otras fuentes generadoras son los incendios forestales y la incineración (Téllez et al, 2006).

- **Dióxidos de nitrógeno (NO₂):** Pude ser de origen natural, como la erupción de volcanes o descomposición de bacterias y de origen antropogénico, que puede ocurrir en los procesos de combustión siendo, la producción de NO₂ a partir de NO en los convertidores catalíticos (Soca, 2021). Los NO_x son los precursores de la formación de la lluvia ácida, generación de ozono en la tropósfera, smog fotoquímico y la eutrofización en las zonas costeras (Parreño M, 2006).

- **Dióxido de azufre (SO₂):** Producidos principalmente en el proceso de combustión de combustibles fósiles pues pueden formar ácido sulfúrico (H₂SO₄), el cual genera problemas de visibilidad en el aire, promociona la lluvia ácida se origina por las actividades derivadas de las centrales eléctricas a partir del combustible sólido y líquido en la producción de electricidad presencia de plantas químicas, cementeras

de asfalto, y las estaciones energéticas para edificios de oficinas, hogares, fábricas y otros que utilizan combustibles fósiles

- Ozono (O₃): Cabe destacar que el ozono en la estratosfera es beneficioso para la tierra debido a que actúa como filtro protector, impidiendo que las radiaciones ultravioletas alcancen directamente la superficie de la tierra, denominada como capa de ozono. Aunque también puede estar presente en la tropósfera, el cual es originado por los gases de escape de automóviles de combustión, siendo específicamente los NO_x, COVs, CO por cual lo convierte en toxico y un gas de efecto de invernadero.

Según la norma de la calidad del aire, libro VI, anexo 4: Se afirma que la entidad ambiental de control verifica que las concentraciones de los contaminantes comunes no superen los valores registrados en la norma, tendrán la facultad para realizar acciones necesarias en el caso de que no se cumpla.

La entidad ambiental de control tiene la obligación de determinar las concentraciones del contaminante. Su referencia recae sobre la legislación ambiental federal de los Estados Unidos de América, el cual consideran los equipos o aparatos métodos y procedimientos o procesos para la determinación de las concentraciones de contaminantes. La entidad ambiental de control tiene la obligación de demostrar que sus métodos y procedimientos cumplen con lo estipulado ante el ministerio del ambiente.

La entidad Ambiental de control establece procedimientos internos de control de calidad y aseguramiento de calidad del aire, en la región bajo su autoridad, también establecerá frecuencias y alcances de las auditorías internas y externas para su respectivo monitoreo.

Tabla 2. Concentraciones máximas permitidas de los contaminantes del aire.

Contaminante	Tiempo promedio	Nivel de: “las directrices sobre la calidad del aire”
Partículas sedimentables mg/cm ² x 30 d	30 días	1
MP ₁₀ µg/m ³	Anual	50
	24 horas	150
MP _{2.5} µg/m ³	Anual	15
	24 horas	65
O ₃ µg/m ³	8 horas	120
	1 horas	160

Contaminante	Tiempo promedio	Nivel de: “las directrices sobre la calidad del aire”
NO ₂ µg/m ³	Anual	100
	24 horas	150
SO ₂ µg/m ³	Anual	80
	24 horas	350
CO µg/m ³	8 horas	10 000
	1 hora	40 000

Fuete: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112183.pdf>

Las concentraciones mencionadas en la tabla 2, están sujetos a condiciones de referencia de temperatura y presión, siendo 25 °C y 760 mm Hg respectivamente. Por lo cual deberán corregirse en función a las condiciones de la zona.

Métodos para la medición de concentraciones de contaminantes criterio

Para tener la certeza de que los valores obtenidos son los correctos, es importante tener una guía de los métodos que se van a emplear, debido a que cada entidad o persona puede asumir métodos que a su percepción le parece correcto (Gil,2019). Es por eso que se presenta un listado de los métodos empleados para la determinación de la concentración de los contaminantes al ambiente, considerandose las partículas sedimentables, el material particulado 2,5 y 10, ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono.

La tabla 5, describe los métodos aplicados a cada contaminante, identificando en nombre referencia y la descripción del método.

Tabla 3. Nombre referencia y descripción del método.

Partículas sedimentables	
Nombre: Método Gravimétrico, mediante Captación de Partículas en Envases Abiertos.	Descripción: Se emplea un envase de 15 cm de diámetro o más y con una altura que duplique o triplique el diámetro selecciona, la ubicación será a una altura de 1,2 m y las partículas colectadas se clasificaran en 2, solubles e insolubles y para su determinación se considera la suma de ambas previo tratamiento. Para la determinación de partículas solubles, se emplea el método gravimétrico que depende de la diferencia de pesos mediante un filtro de 47 mm, que retenga todas las partículas
Referencia: Method 502. Methods of Air Sampling and Analysis, 3rd. Edition, Intersociety Committee, Lewis Publishers, Inc. 1988.	

	<p>contenidas en la muestra del envase y para las partículas insolubles, también se emplea el método gravimétrico, donde la muestra es colocada en crisoles y tras su evaporación se calcula el contenido por diferencia de pesos.</p>
Material particulado 10	
<p>Nombre: Método Gravimétrico, mediante muestreador de alto caudal o de bajo caudal</p>	<p>Descripción: El equipo de muestreo sea de alto o bajo caudal, deberá tener una entrada aerodinámica que pueda separar partículas de tamaños superiores a 10 micrones de diámetro aerodinámico, las que no han sido separadas pasan por un filtro eficiente y su concentración es calculada por el peso ganado por el filtro, dividido para el volumen total de aire analizado por un periodo de 24 horas.</p> <p>Aunque cuenta con un método alternativo, que emplea los equipos de medición continua, como microbalanza oscilante o de atenuación Beta. Para el primer equipo, esta cuenta con una entrada determinada para PM₁₀ y un transductor de masa de las oscilaciones inducidas para las partículas; Para el segundo equipo, este cuenta con una entrada de PM 10 con una fuente de radiación beta que determina el aumento de peso del filtro a medida se recolectan las partículas, este método también es aplicable para PM_{2,5}</p>
<p>Referencia: 40 CFR Part 50, Appendix J o Appendix M.</p>	
Material Particulado 2,5	
<p>Nombre: Método Gravimétrico, mediante muestreador de bajo caudal.</p>	<p>Descripción: Se emplea un muestreador de bajo caudal, que contara con una entrada aerodinámica, capaz de separar partículas mayores a 2,5 micrones de diámetro aerodinámico. La muestra que no ha sido separada pasa a un filtro donde su concentración será determinada por el peso ganado por el filtro, dividido para el volumen total del aire muestreado en un intervalo de 24 horas.</p>
<p>Referencia: 40 CFR Part 50, Appendix J o Appendix L.</p>	
Dióxido de azufre	

Nombre: Método de la Pararosanilina: absorción en medio líquido y análisis colorimétrico posterior. Analizador Continuo por Fluorescencia.	Descripción: Emplea dos métodos para su medición. Siendo la pararosanilina donde el dióxido de azufre es absorbido en solución de potasio o tetracloromercurato de sodio (TCM). Se acondiciona la muestra evitando esta se contamine y esta es tratada con formaldehído, ácido fosfórico y pararosanilina con el propósito de preservar su PH y color y su concentración final se evalúa mediante colorimetría. Un segundo método se denomina fluorescencia: Donde la concentración de monóxido de carbono es medida mediante señales fluorescentes generadas al excitar el contaminante ante la luz ultravioleta.
Referencias: Método de la Pararosanilina: 40 CFR Part 50, Appendix A. Fluorescencia: Diferentes fabricantes cuyos equipos se encuentren aprobados por la agencia de protección ambiental de EE.UU.	
Monóxido de carbono	
Nombre: Analizador infrarrojo no dispersivo (NDIR)	Descripción: Consiste en la medida de cambio de absorbancia de energía infrarroja en diferentes longitudes de onda respecto a la concentración del contaminante presente.
Referencia: 40 CFR Part 50, Appendix C	
Ozono	
Nombre: Quimiluminiscencia Fotómetro ultravioleta	Descripción: Su fundamento de medición es mezclar el aire con etileno, lo cual genera una reacción del ozono, emanando una luz que es medible mediante un tubo de fotomultiplicador.
Referencia: 40 CFR Part 50, Appendix D	
Dióxido de nitrógeno	
Nombre: Quimiluminiscencia	Descripción: Se introduce ozono al equipo lo que le permite reaccionar a NO ₂ y convertirse en NO, generando luz en la reacción, siendo el equipo capaz de entregar resultados de NO ₂ y NO.
Referencia: 40 CFR Part 50, Appendix F	

Fuente: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112183.pdf>

Debido a que el proyecto considera como parte fundamental el uso de los sensores de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire, se presente a continuación información relevante respecto a los sensores que miden la calidad del aire.

Sensores de bajo costo

Son considerarse equipos nuevos, el mayor reto que se tienen es respecto al pronóstico que se deriva de la extrapolación y ajuste que considera la interpolación (Rivera, 2021). Por lo cual se pretende dar un ajuste a los equipos mediante el uso de sensores de referencia o instrumentos patrón.

En la actualidad los ajustes se dan por medios más sencillos que son las regresiones lineales o métodos un poco complejos, que emplean aplicativos algorítmicos sofisticados, con el fin de tener una base de datos más robusta respecto al contaminante que se desea medir (Rivera, 2021). Otra observación que se ha realizado es el hecho de que los equipos funcionan de manera óptima en temporada de invierno, donde no existe una gran variabilidad entre la presión y temperatura, a diferencia de los meses de primavera y verano que se conoce, se vuelven menos estables (Kelly et al, 2017), por lo cual se afirma que la temperatura y humedad interfieren de forma directa en la obtención de resultados de los sensores.

Los sensores de bajo costo tienen la capacidad de medir factores meteorológicos como la temperatura, presión, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, radiación UV y precipitación; A su vez mide la concentración de contaminantes cretrio, es importante destacar que los rangos de concentraciones y sensibilidad dependen del fabricante, por lo cual es importante conocer los límites permisibles del país que va a emplear este tipo de equipos (Navarrete J & Rico K, 2019). Dada ciertas características de los sensores, es posible clasificarlos en tres tipos

- **Sensores electroquímicos:** emplea el uso de reacciones químicas entre el gas objetivo y dos electrodos separados, que genera variaciones de resistencias, al ser los equipos tan sensibles, se corre el riesgo de que sean afectados por factores físicos, como la temperatura y humedad y también pueden reaccionan con gases similares perdiendo su objetividad (Rivera, 2021). Entro los compuestos medidos se tiene: El ozono (O₃), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO₂), el monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de carbono (CO₂).
- **Sensores fotoionizantes:** la luz ultravioleta y el desprendimiento de electrones, generan la excitación de las moléculas del gas medido, que producen una corriente eléctrica y como resultado dan la concentración del gas, son de rápida respuesta,

aunque también reaccionan con otros gases y sus mediciones son muy variables, son empleados en su mayoría para medir compuestos orgánicos volátiles (COV) (Rivera, 2021).

- **Sensores semiconductores:** varía la resistencia eléctrica superficial del material, siempre y cuando el gas a analizar lo altere, son sensibles pero su respuesta es lenta, además es alterado por factores meteorológicos como la temperatura y humedad (Rivera, 2021). Los compuestos más empleados con esta técnica son: El ozono (O₃), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el metano (CH₄).
- **Sensores ópticos:** emplean un haz de luz para detectar el tamaño de las partículas, cuando estas lo atraviesan o miden la concentración del gas al pasar por el rayo infrarrojo, tienen una buena respuesta y una alta sensibilidad. Aunque es influenciada por la temperatura y humedad y su uso lo puede hacer menos eficiente debido a que se va deteriorando (Rivera, 2021). Son empleados para medir material particulado de 1, 2.5 y 10, monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂).

2 METODOLOGÍA

Para el presente trabajo se realizará una revisión sistemática de la literatura científica que tiene como propósito brindar información relevante de un tema en específico o que se desea estudiar, por lo cual se requiere de técnicas que permitan organizar de manera estructura las revistas, artículos, tesis, libros o textos, que permitan tener un amplio espectro de información, para posteriormente identificar, evaluar, interpretar y sintetizar toda la información pertinente (Caro A, 2008), de tal manera que el lector disponga de información actualizada y resumida respecto a la temática analizada, que le permita identificar vacíos en la investigación actual y proveer antecedentes necesarios para nuevas áreas de investigación (Calle A, 2016).

Una revisión sistemática literaria es el estudio que se realiza de varios estudios desarrollados con anterioridad respecto a un tema en específico que se desea evaluar, la idea general de esta revisión es presentar al lector un estudio resumido, que le permitan estar actualizado con la información existente en los distintos buscadores (Manterola, 3013). Aunque esta idea nació en el ámbito de la medicina (Manterola,2013), debido a su gran versatilidad, estos han incursionado en otras áreas como: la educación, desarrollos tecnológicos, comunicación, entre otros.

Para la identificación de la metodología, el aspecto más relevante que se consideró en la etapa de selección fue el poder hacer una filtración de los escritos existentes mediante parámetros preestablecidos, que permitan reducir el tiempo de búsqueda, mediante una lectura simple de únicamente de títulos, resúmenes, descarte por criterios de inclusión y exclusión, previos a una lectura completa de los escritos existentes. Con estas observaciones se consideró que una de las mejores opciones eran las directrices de PRISMA, que cuentan con lo mencionado anteriormente, dando así origen al desarrollo del proyecto.

Según Moher et al, 2014: "PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)", es una referencia para publicar revisiones sistemáticas literarias y metanálisis, cuenta con una lista de 27 ítems de comprobación y un diagrama de flujo, cabe mencionar que no todos los ítems pueden ser replicados en las revisiones sistemáticas literarias, debido a que PRISMA también fue desarrollado para generar metanálisis. Describiéndose metanálisis como un estudio sistemático cuantitativo de la calidad y cantidad de estudios realizados al respecto.

Ya teniendo el panorama claro, se procede a la aplicación de las directrices PRISMA en el desarrollo del presente proyecto.

Identificación del tema a revisar

En el presente proyecto se realizará una revisión literaria del uso de los sensores de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire, comparados con los sensores normados.

Conjuntamente a este resultado, se le evaluará los distintos usos que se les da a los sensores de bajo costo en la calidad del aire. Detallándose los diferentes campos de aplicación.

Desarrollo del protocolo

Identificación de los involucrados

Es de vital importancia conocer quiénes son los autores, debido a que son los encargados de la realización de esta revisión literaria y entregar los resultados pertinentes, se aconseja que este desarrollo se realice en parejas, aunque dada la situación una sola persona también lo puede realizar, dejando como autora del estudio a Shirley Llanga.

Criterio de inclusión y exclusión

Este parámetro nos permite delimitar entre aquella documentación que puede o no entrar en el proceso de revisión, siendo entre ellos los siguientes

Criterios de inclusión:

- Debe indicar el tipo de sensor o sensores empleados
- Debe estar publicado a partir del 2020
- Deben involucrar contaminantes del aire como: el ozono (O₃), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO₂), el dióxido de nitrógeno (NO₂) o el material particulado 2,5 y 10 (PM_{2,5} y PM₁₀)
- Comparación de los sensores con los equipos de alta eficiencia en el monitoreo de la calidad el aire.
- Debe estar escrito en inglés o español.

Criterio de exclusión:

- Estudios realizados para el monitoreo de otro tipo de contaminantes.
- Ser de carácter experimental o virtual.
- Se encuentre en áreas cerradas

Estrategia de búsqueda

En este apartado se procede a la identificación de los buscadores pertinentes, por lo cual se llegó a establecer dos buscadores también conocidos como motores de búsqueda, una enfocada en el habla Hispanoamérica definida como Scielo y la otra fue Google Scholar, que es considerada como el más utilizado debido a que es completa, porque abarca varios buscadores de distintas plataformas. Una ventaja que se puede considerar de este buscador, es el hecho de que al ingresar no existe restricción de búsqueda por usuario, a diferencia de algunos motores de búsqueda como IEEE Xplore, ScienceDirect, Scopus entre otros. Otra ventaja de este buscador es que al encontrarse en línea ofrece la opción de traducir el título y descripción presentados en primera plana como resultados a la búsqueda general, permitiendo al lector tener una interacción completa con la información entregada por el buscador, dándole la libertad de incluir o no dicho escrito.

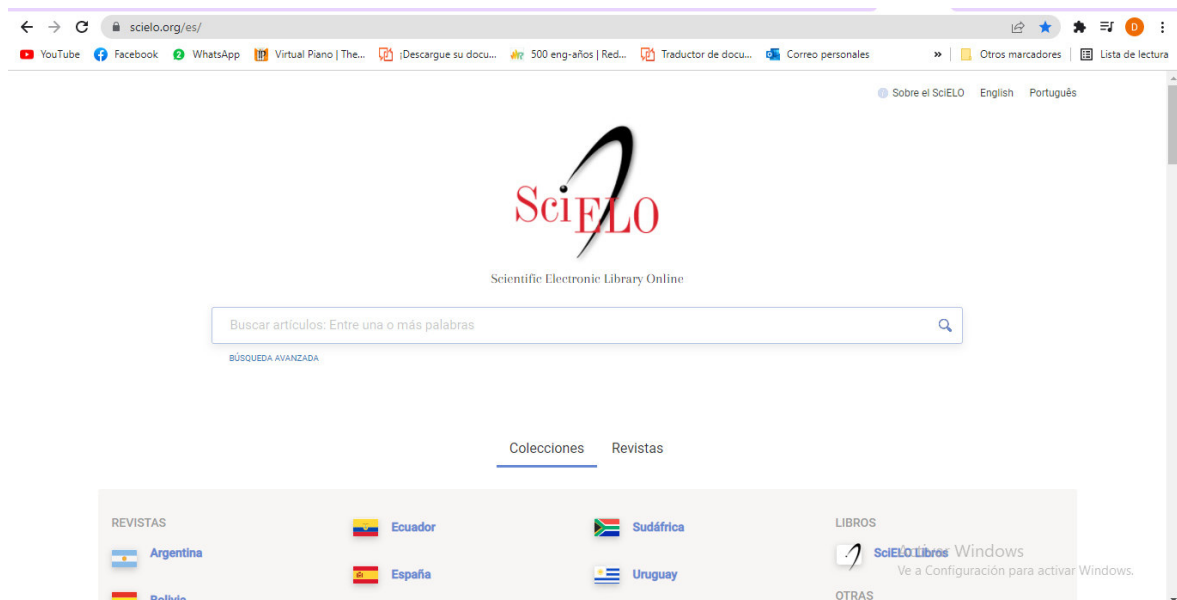


Figura 1. Pantalla de inicio del buscador Scielo.

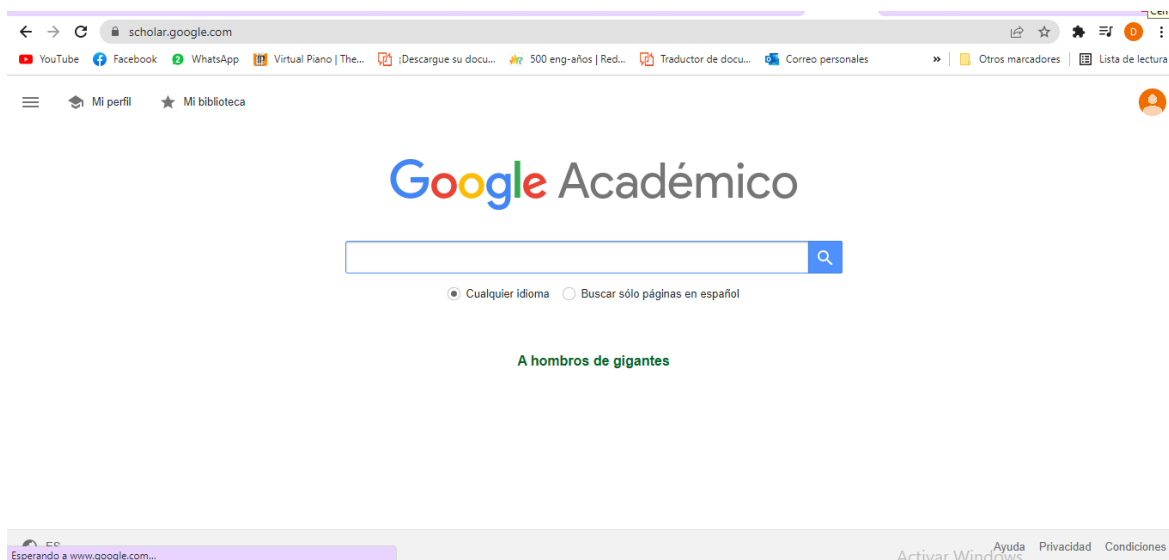


Figura 2. Pantalla de inicio del buscador Google Scholar.

La figura 1 y 2, presentan las pantallas principales de cada buscador, para acceder a Scielos se procede a la siguiente dirección: <https://scielo.org/es/>, en lo que respecta al buscador Google Scholar su dirección es la siguiente: <https://scholar.google.com/> .

Identificación de la ecuación de búsqueda

Para el desarrollo de este paso, se inició ingresando a cada uno de los buscadores considerándose como primera opción a Scielo, Se ingresó a la página principal y se digito las palabras de interés, a lo cual también se procedió a realizar una búsqueda avanzada, empelado conectores lógicos como AND, OR, o AND NOT, cabe mencionar que el mismo buscador cuenta con opciones para añadir, quitar o especificar palabras que sean de interés para la búsqueda general, también se restringió la búsqueda por fechas, siendo en un periodo de 2 años considerándose únicamente los publicados a partir del 2020 y para tener un mayor radio de búsqueda se replicó la ecuación de búsqueda en inglés.

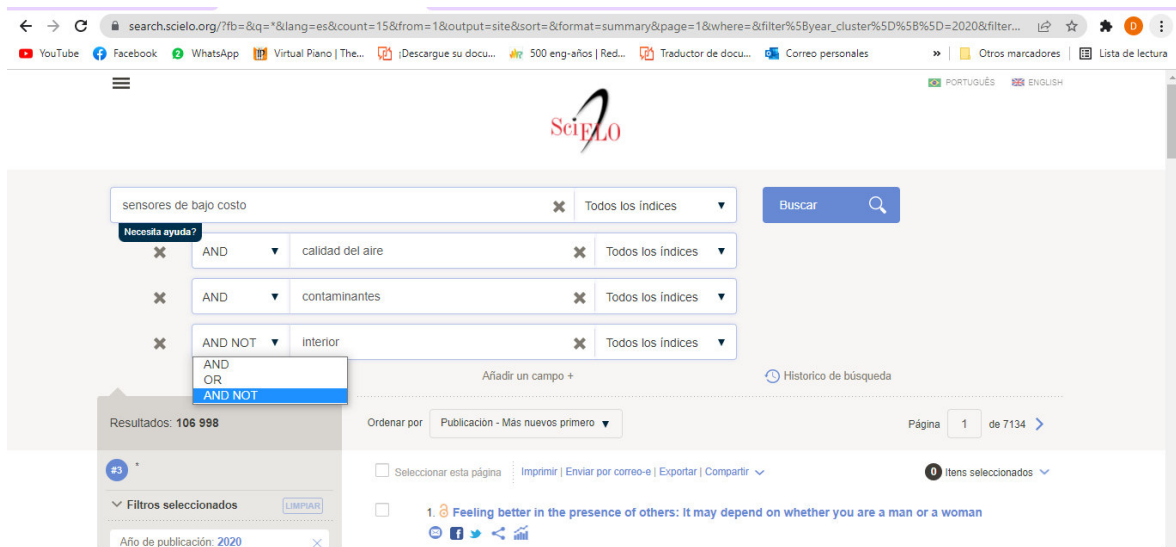


Figura 3. Captura de pantalla del buscador Scielo.

De la misma forma como se trabajó con el buscador Scielo, se realizará en el buscador Google Scholar, ingresando palabras de interés y a su vez conectores lógicos mediante la búsqueda avanzada que presenta en mismo buscador. Cabe mencionar que la ecuación de búsqueda encontrada en Scielo, no puede ser replicada en este buscador debido a que esta emplea signo de puntuación para sus restricciones. Esta ecuación también se la replicó en inglés al igual que la restricción por fechas. Todos los resultados arrojados por ambos buscadores se sumarán y se tratarán como un todo en el siguiente paso.

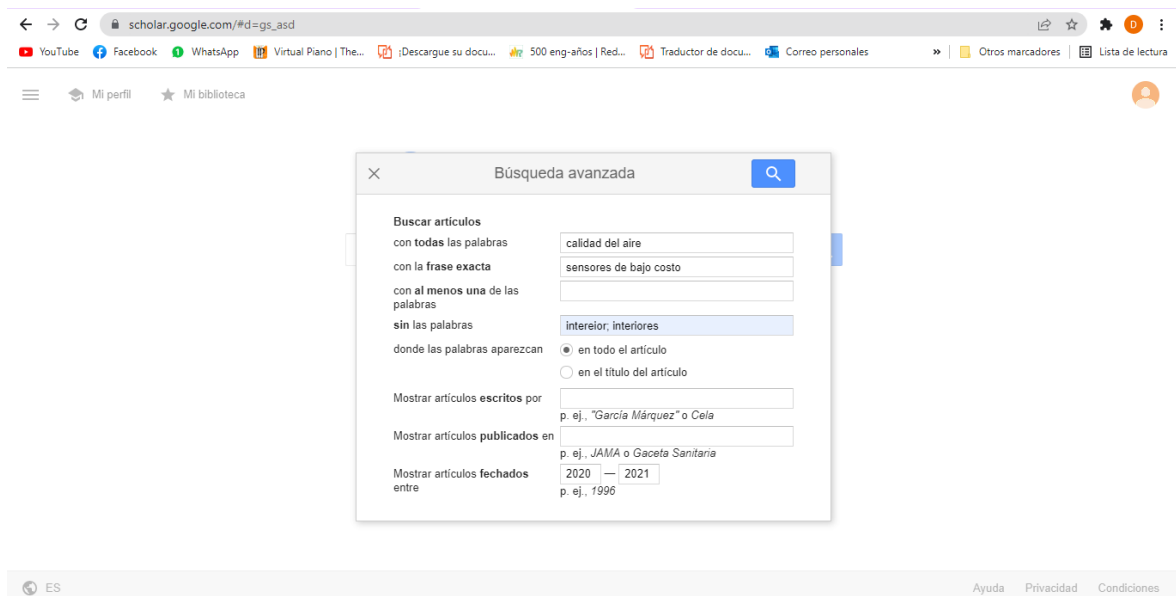


Figura 4. Captura de pantalla buscador google con búsqueda avanzada

Adquisición de la evidencia

En este apartado se filtra toda la información recolectada, este apartado está conformada por varias secciones que se describirán a continuación:

- Eliminación por duplicados:

Debido a que se empleó un mismo buscador en 2 idiomas se corre el riesgo de que varios de ellos ya se encuentren en el listado que tiene mayor cantidad de escritos. Por lo cual se procedió a revisar de forma manual uno a uno los títulos, al tener los mismos títulos en la pantalla principal del buscador, se observó que lo cambia es la dirección url, tal como se evidencia en la tabla 4.

Tabla 4. Evidencia de citas duplicadas halladas en el buscador Google Scholar.

<p><u>Practicar la ciencia ciudadana en Zúrich: manual</u></p> <p>T Eliseeva, O Höhener, DM Kretzer... - 2021 - ruj.uj.edu.pl</p> <p>... Ejemplo: "En el monitoreo de la calidad del aire , los sensores de bajo costo actualmente no pueden competir con los instrumentos profesionales para lograr la precisión y exactitud en los niveles necesarios para la regulación. Por lo tanto, uno de los objetivos de los proyectos de calidad del aire de ciencia ciudadana puede ser lograr que los reguladores tomen...</p>	<p><u>Practicar la ciencia ciudadana en Zúrich: Manual</u></p> <p><u>MR Mondardini</u> , U Roffler, T Eliseeva, O Höhener... - 2021 - researchgate.net</p> <p>... Ejemplo: "En el monitoreo de la calidad del aire , los sensores de bajo costo actualmente no pueden competir con los instrumentos profesionales para lograr la precisión y exactitud en los niveles necesarios para la regulación. Por lo tanto, uno de los objetivos de los proyectos de calidad del aire de ciencia ciudadana puede ser lograr que los reguladores tomen...</p>
--	---

- Eliminación por lectura de los títulos:

Para el desarrollo de este apartado se continúa estando en la pantalla principal de búsqueda, a razón de que se tiene la facilidad de leer en una misma carilla los títulos y las descripciones, la selección se la hizo trasladando la información importante a una tabla de Excel donde se identificó el título de los escritos y la dirección url, con la finalidad de poder ingresar a los documentos para su posterior revisión

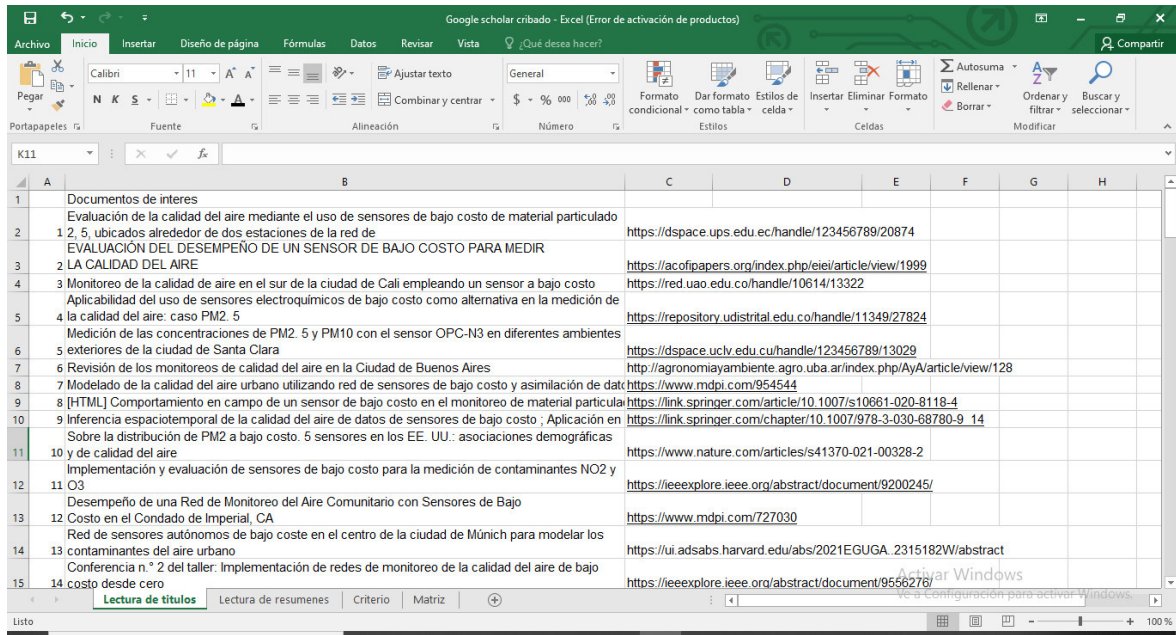


Figura 5. Evidencias de la selección de los escritos

- **Eliminación en función a la lectura de los resúmenes:**

Al contar ya con una lista de los escritos de interés se procedió a abrir uno por uno los enlaces, leer únicamente los resúmenes, para poder aceptar o descartar los documentos, en este paso se identificaba con un sí o no, junto a la fila que le correspondía a cada escrito

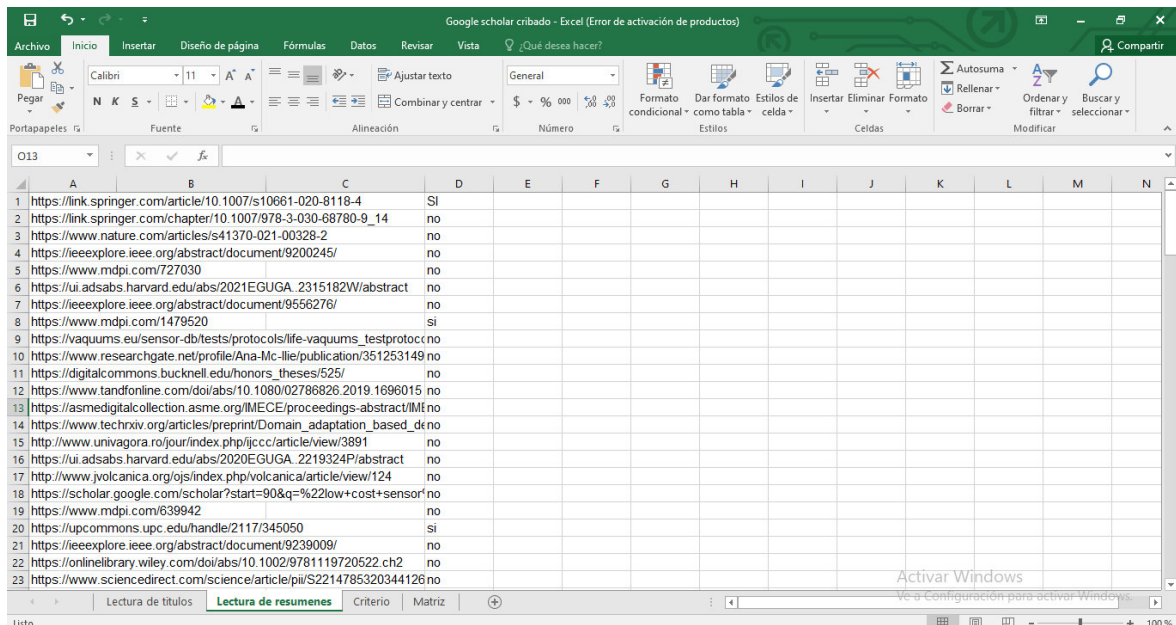


Figura 6. Evidencia de la selección de escritos por lectura de resúmenes

- **Eliminación en función a criterios de inclusión y exclusión:**

Al contar con los escritos ya un poco filtrados se procedió a leer el documento completo e identificar si cumple o no con los criterios de inclusión o exclusión se que presentar a continuación.

Criterios de inclusión:

- Debe indicar el tipo de sensor o sensores empleados
- Debe estar publicado a partir del 2020
- Deben involucrar contaminantes del aire siendo: “el ozono (O₃), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO₂), el dióxido de nitrógeno (NO₂) o el material particulado 2,5 y 10 (PM_{2,5} y PM₁₀)”.
- Comparación de los sensores con los equipos de alta eficiencia en el monitoreo de la calidad el aire
- Debes estar escrito en inglés o español

Criterio de exclusión:

- Estudios realizados para el monitoreo de otro tipo de contaminantes.
- Se de carácter experimental o virtual.
- Se encuentre en áreas cerradas
- No este en ingles ni español

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	1	Revisión de los monitoreos de calidad del aire en la Ciudad de Buenos Aires	no	No emple sensores de bajo costo para su monitoreo, pero si los recomienda para ampliar la red de medición						
2	2	Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de sensores de bajo costo de material particulado 2,5, ubicados alrededor de dos estaciones de la red	si							
3	3	Evaluación del desempeño de un sensor de bajo costo para medir la calidad del aire	si							
4	4	Monitoreo de la calidad de aire en el sur de la ciudad de Cali empleando un sensor a bajo costo	SI							
5	5	Aplicabilidad del uso de sensores electroquímicos de bajo costo como alternativa en la medición de la calidad del aire : caso PM2.5	SI							
6	6	Sobre la distribución de PM2 a bajo costo. 5 sensores en los EE.UU.: asociaciones demográficas y de calidad del aire	no	analís de la contaminación el aire en función a la demografía						
7	7	Implementación y evaluación de sensores de bajo costo para la medición de contaminantes NO2 y O3	no	No se pudo ingresar al buscador						
8	8	Red de sensores autónomos de bajo coste en el centro de la ciudad de Múnich para modelar los contaminantes del aire urbano	no	Es una noticia que explica el uso de los sensores en Munich						
9	9	Conferencia n.º 2 del taller: Implementación de redes de monitoreo de la calidad del aire de bajo costo desde cero	no	No se pudo ingresar al buscador						
10	10	Evaluación del desempeño de los monitores de calidad del aire de bajo costo en Dallas, Texas	si							

Figura 7. Evidencia de la selección de escritos por lectura de resúmenes

En el último apartado se presentan los resultados de la búsqueda mediante una matriz que recolecte toda la información pertinente de los escritos a evaluar. Debido a que en el último filtro denominado criterio de inclusión y exclusión se identificó los distintos usos que se les da a los sensores de bajo costo en la calidad del aire.

3 RESULTADOS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONE

3.1 Resultados

Selección de la mejor ecuación de búsqueda

Tabla 5. Identificación de la ecuación de búsqueda.

Motor de búsqueda	Ecuación de búsqueda
Scielo	(sensores de bajo costo) AND (calidad del aire) AND (contaminantes) AND NOT (interior)
	((sensores de bajo costo) AND (calidad del aire) OR (contaminantes) AND NOT (interior))
Google Scholar	calidad del aire contaminante "sensores de bajo costo" -interiores -interior
	"air quality" "low cost sensor" "monitoring" -indoor

La tabla 5, muestra la ecuación de búsqueda planteada para el tema a investigar, se puede notar que Scielo emplea paréntesis y conectores lógicos como AND y AND NOT. Al considerar Google Scholar se puede denotar que únicamente emplean comillas para buscar palabras textuales, sin simbología para palabras posibles y el signo menos para aquellas que se pretendía excluir.

La tabla 6, muestra como la búsqueda avanzada para Scielo no reflejó resultados relevantes, debido a que se le solicitó que incluyera textualmente las palabras: sensores de bajo costo, calidad del aire y contaminante, también se indicó que no debe incluir la palabra interior, la búsqueda se la desarrollo tanto en inglés como en español y los resultados fueron los mismos para ambos casos. A diferencia de la tabla 7, que, si refleja resultados relevantes, igual que el buscador anterior, se le solicitó que incluyera textualmente las palabras: calidad del aire, sensores de bajo costo y contaminantes, excluyendo la palabra interior e interiores. Esta búsqueda también se la realizó en inglés y español. Dando un total de 669 resultados.

Tabla 6. Resultados de la ecuación de búsqueda para en buscador Scielo.

Motor de búsqueda	Fecha de búsqueda	Ecuación de búsqueda	Número de resultados
Scielo	17/1/2022	(sensores de bajo costo) AND (calidad del aire) AND (contaminantes) AND NOT (interior)	0
	17/1/2022	((sensores de bajo costo) AND (calidad del aire) OR (contaminantes) AND NOT (interior))	0
		TOTAL	0

Tabla 7. Uso de la ecuación de búsqueda para en buscador Google Scholar

Motor de búsqueda	Fecha de búsqueda	Ecuación de búsqueda	Número de resultados
Google Scholar	24/1/2022	calidad del aire contaminante "sensores de bajo costo" -interiores -interior	23
	24/1/2022	"air quality" "low cost sensor" "monitoring" -indoor	646
		TOTAL	669

Después de observar los resultados entregados en las tablas 6 y 7, se concluye que Scielo no fue un buen motor de búsqueda elegido, debido a que no entregó información relevante, por tal motivo se decidió eliminarlo del desarrollo y únicamente se trabajará con Google Scholar con términos en inglés y español. Se tiene como resultado 669 citas en total, siendo 23 resultados para la ecuación de búsqueda en español y 646 resultados para la ecuación de búsqueda en inglés. Para los siguientes ítems de la revisión se considerará únicamente el total de los resultados presentados, sin diferenciar aquellos que fueron hallados por el buscador en inglés o en español debido a que se está trabajando con el mismo motor de búsqueda

Selección de estudios para la revisión sistemática literaria

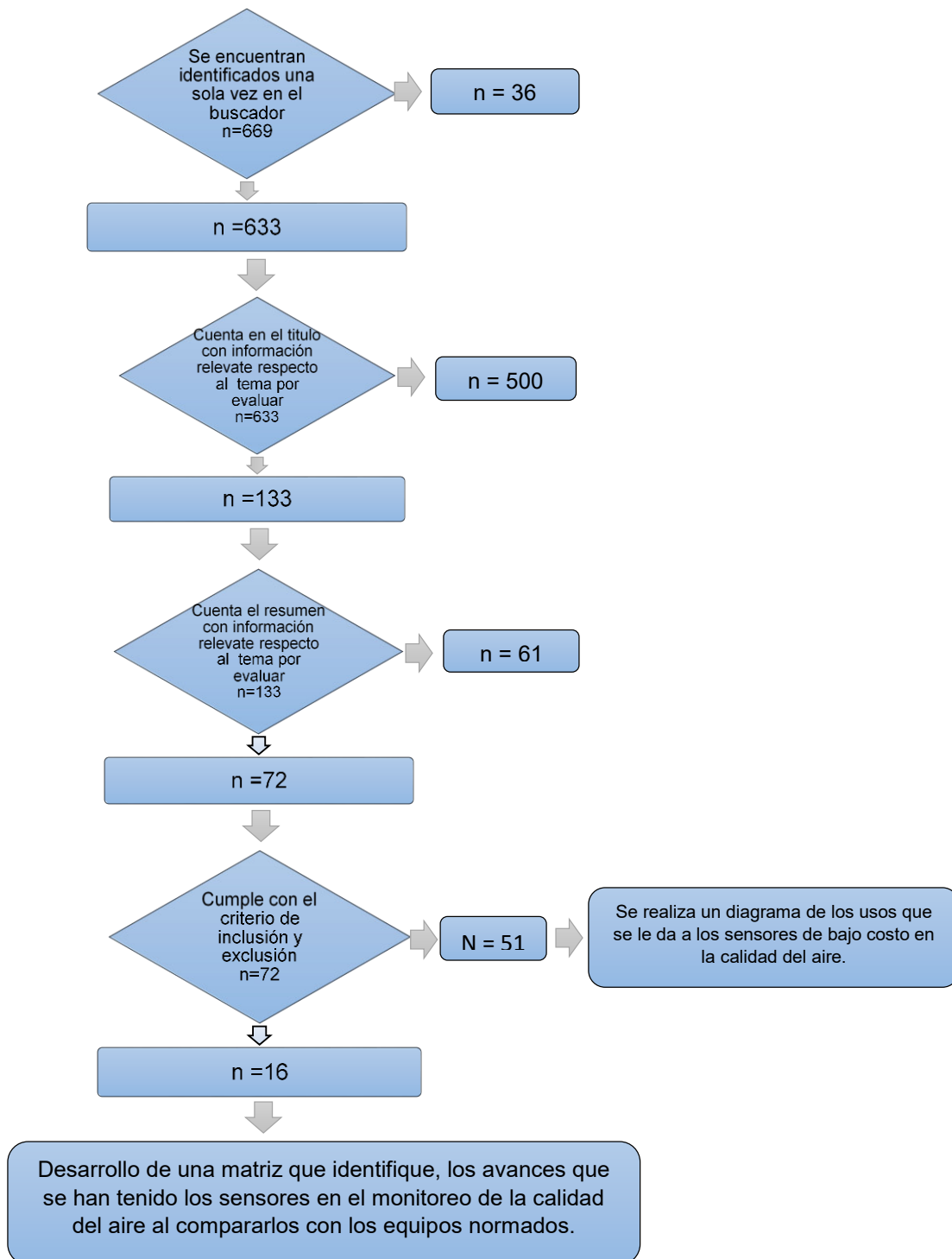


Figura 8. Diagrama de flujo del proceso realizado

A continuación, se describirá en resultado arrojado por cada una de las etapas desarrolladas:

- 1) La eliminación por duplicado arrojó 36 escritos de este tipo, a los cuales se los excluyo, quedo como resultado 633 citas por revisar.
- 2) La eliminación por lectura de títulos, excluyo a 500, dejando como resultado a 133 escritos por revisar.
- 3) La eliminación por lectura de resúmenes determino que 61 escritos no cumplían con el propósito de la búsqueda, por lo cual se los descarto, quedaron únicamente 72 escritos por revisar.
- 4) La eliminación por criterio de inclusión y exclusión dio como resultado 16 escritos que se relacionaban con el uso de los sensores de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire, comparados con los sensores normados. A su vez entregó 51 escritos del uso que se les da a los sensores de bajo costo en la calidad del aire.

Revisión sistemática en función al “uso de los sensores de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire”, comparados con los sensores normados.

Se generó una matriz (Anexo 1) que engloba los 16 escritos, detallando el uso de los sensores de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire, comparados con los sensores normados. Esta matriz especifica el título, autores, tipos de sensores empleados, tipo de contaminante evaluado, metodología empleada y los resultados obtenidos. A continuación, se describen los resultados observados de la matriz.

- Se identificó que los 16 escritos tienen como finalidad validar, calibrar y ajustar los resultados obtenidos de los sensores, respecto a los resultados entregados por las estaciones de monitoreo. Empleando en su mayoría el coeficiente de Poisson y la correlación lineal.
- El material particulado 2,5 ($PM_{2.5}$) es el contaminante que más se evalúa en lo que respecta al monitoreo de la calidad del aire empleando sensores de bajo costo comparados con los sensores normados,
- De los 16 escritos evaluados la investigación de (Guerreo & Veintimilla,) con su tema “Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de sensores de bajo costo de material particulado 2,5 ubicado alrededor de dos estaciones de la red de monitoreo atmosférico del DMQ.” Refleja que no existió una buena correlación entre los sensores y la estación. A diferencia de los otros 15 escritos que si demuestran tener una buena correlación entre sensores y estaciones.

- De los 16 escritos evaluados se pudo identificar que los sensores AirBear, Temtop M2000C, SPS30, Dyllos y BAM 1020, han sido evaluados por más de un escritor, en lugares y condiciones climáticas distintas, dejando una buena reseña de la validez de estos equipos.
- De los 16 escritos evaluados, todos tuvieron un inconveniente en lo que respecta a la presión y temperatura, se identificó que en más de un escrito el error aumentaba a medida que la temperatura aumentaba y de forma inversa pasaba con la humedad, a menor humedad relativa se tenía un error menor, por lo cual existen varios criterios de ajuste para disminuir el error.
- Los artículos seleccionados demostraron que los sensores entregan resultados semejantes a los de las estaciones de monitoreo, cuando las concentraciones del contaminante son bajas y ocurre todo lo contrario en lo que respecta a altas concentraciones de contaminante, lo cual se ve reflejado en su correlación.

Revisión sistemática en función al “uso que se les da a los sensores de bajo costo en la calidad del aire”.

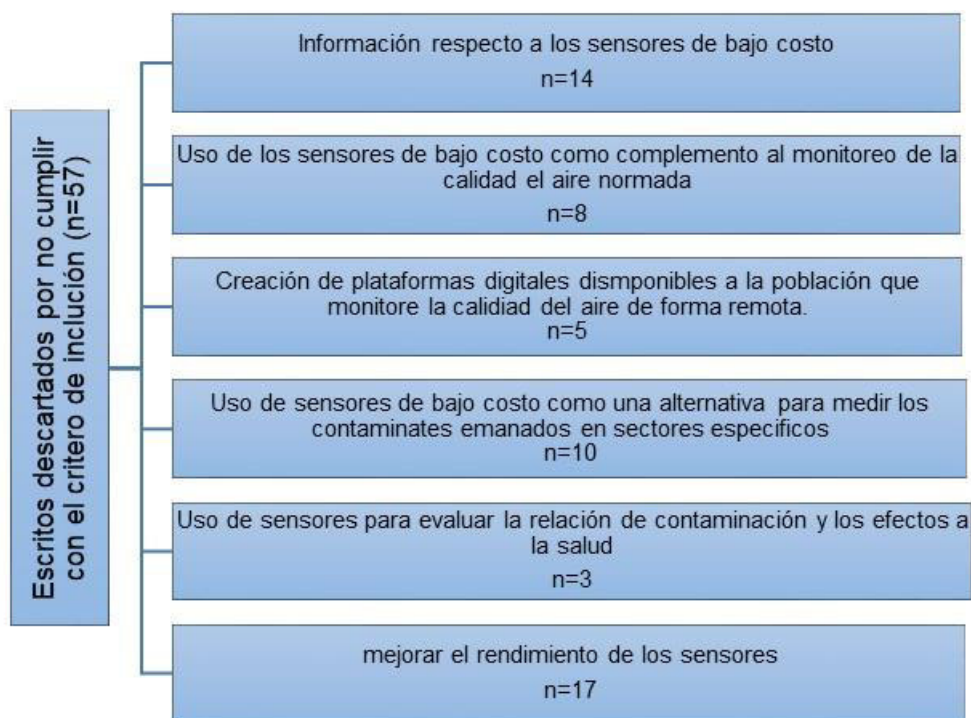


Figura 9. Diagrama de los distintos usos que se le da a los sensores de bajo costo en la calidad del aire.

La figura muestra el resultado de los escritos que fueron excluidos por no cumplir con la selección de estudios, pero aun así entrega información relevante del uso que se les da a los sensores de bajo costo en la calidad del aire. A continuación, se describe cada uno de ellos.

- En primero lugar se tiene la mejora de los sensores, siendo un total de 17 escritos dedicados a esta área de investigación, esto se debe a que son equipos nuevos y existe una variedad de cuestionamientos al respecto y una gran necesidad de emplearlos como instrumentos de medición certificados y calibrados por una entidad gubernamental.
- Se puede observar que en segundo lugar está la información que brindan los sensores ya sea en manuales, descripción de los equipos, entre otros. Siendo un total de 14 escritos, esta información ayuda a desarrollar nuevas versiones de los equipos existentes con la finalidad de ir disminuyendo las falencias.
- Como tercer eslabón, se emplea a los sensores como una alternativa para medir los contaminantes en sectores específicos, estos pueden ser desde fábricas, lugares residenciales, áreas de influencia por actividad volcánica, mineras, petroleras, la contaminación causada por la presencia de vehículos. De este apartado se han encontrado 10 escritos al respecto y algunos de ellos tenían como finalidad tomar acciones legales por la contaminación causada y a su vez identificar el riesgo que esto provoca a las comunidades aledañas.
- A continuación, se tiene el uso de los sensores como complemento a la red de monitoreo existente, esto se debe a que en lugares específicos únicamente se cuenta con un punto de muestre, lo cual no es representativo respecto a estimaciones de contaminación presente, cabe mencionar que se encontraron 8 documentos al respecto.
- Como últimos, pero no menos importantes se tiene el uso de los sensores como alternativa para brindar datos en tiempo remoto, e informar a la comunidad el estado de la calidad el aire mediante una plataforma en la internet. siendo uno de sus principios identificar el índice de la calidad del aire, entre los dos temas a evaluar se tiene un total de 8 escritos relacionados al tema.

3.2 Conclusiones

- Se generó mayor conocimiento en lo que respecta a la validez de los sensores como instrumentos de monitoreo, debido a que varios estudios detallan los métodos empleados, siendo de vital importancia para futuros estudios al respecto. También se entrega una lista de los sensores de bajo costo empleados en las distintas investigaciones, aquellos que ya han sido evaluados y dan resultados próximos a los esperados
- Se identificó que la guía PRISMA es una herramienta que puede ser empleada en el desarrollo de una revisión sistemática de la literatura, la cual permite seguir un orden, es fácil de replicar debido a que cuenta con apartados que permiten filtrar la información y al final tener pocos, pero relevantes escrito acerca del tema a desarrollar.
- La matriz de resultados muestra información detallada y resumida, indicando cuales han sido los sensores de bajo costo empleados o evaluados, el tipo de contaminante monitoreado, la metodología empleada para su validación, calibración o ajuste y los resultados obtenidos de dichos estudios.
- Los sensores de bajo costo no son empleados únicamente para el monitoreo de la calidad del aire, sino que se lo emplea en otros aspectos, siendo uno de ellos el uso de los sensores para medir la calidad del aire, ya sea como instrumento de apoyo para el monitoreo de la calidad del aire, instrumento empleado para desarrollar plataformas que muestren la calidad del aire en tiempo remoto o identificación de contaminación en aéreas especificar, entre otros.

3.3 Recomendaciones

- Es de vital importancia realizar más estudios de esta índole, enfocados en otros aspectos como los detallados en el punto *Descripción de las alternativas al uso de sensores*. Debido a las grandes incógnitas que se presentan a medida que se estudia un tema en específico.
- Es importante conocer de antemano, qué es una revisión literaria y la guía a seguir ya su respectivo desarrollo ya que se puede incurrir en el error de buscar de forma aleatoria y no llegar a consolidar la idea plasmada en la mente, mas no en lo escrito.

- Para finalizar, es importante tener una idea general del tema de desarrollar, ya sea conocer el campo de investigación y los avances respecto al tema, debido a que se puede caer en el error de querer investigar algo demasiado extenso que no se va a poder filtrar y no se llegara al resultado esperado o a su vez considerar un tema tan limitado que al querer emplear las herramientas de una literatura sistemática se llegue a tener como resultado un escrito.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Espinoza S (2021). Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación previo a la obtención del Título de Abogada de los Tribunales y Juzgados de la República del Ecuador Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/23086/1/UCE-FJCPS-ESPINOSA%20SILVANA.pdf>

Candia A, Luengo M, Represa N, Porta A, Giuliani D, Marrone A, (2018). Solutions for SmartCities: proposal of a monitoring system of air quality based on a LoRaWAN network with low-cost sensors Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Soledad-Represa/publication/329837914_Solutions_for_SmartCities_proposal_of_a_monitoring_system_of_air_quality_based_on_a_LoRaWAN_network_with_low-cost_sensors/links/5c33e4c8458515a4c7151968/Solutions-for-SmartCities-

Calle I. (2016). Metodologías para hacer la revisión de literatura de una investigación. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Luis-Calle/publication/301748735_Metodologias_para_hacer_la_revision_de_literatura_de_una_investigacion/links/572514e708ae262228adbcd/Metodologias-para-hacer-la-revision-de-literatura-de-una-investigacion.pdf

Diez S, Guizzo E, Fichetti T y Britch J, (2019) Allin-Wayra: una estación experimental para el monitoreo continuo de la calidad del aire empleando sensores de bajo costo. Recuperado de: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEfYN/article/view/22896/22556>

Espinoza S (2021). Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación previo a la obtención del Título de Abogada de los Tribunales y Juzgados de la República del Ecuador Recuperado de:

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/23086/1/UCE-FJCPS-ESPINOSA%20SILVANA.pdf>

Feenstra B, Papapostolou V, Polidori A & Zhang C. (2017). Evaluación de campo de sensores de calidad del aire de bajo costo. Recuperado de: [file:///C:/Users/User/Downloads/sensors-field-testing-protocol.en.es%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/sensors-field-testing-protocol.en.es%20(1).pdf)

Gaitan M, Cancino J & Behrentz E. (2007). Analisis del estado de la calidad del aire en Bogotá. Recuperado de: <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/epdf/10.16924/revinge.26.10>

Garcia J, Grutter M & Cintora D. (2007). Evaluación del riesgo por contaminantes criterio y formaldehído en la ciudad de México. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v23n4/v23n4a2.pdf>

Gil V (2019). Confirmación de métodos para estaciones automáticas de monitoreo de calidad del aire de la empresa gsa s.a.s recuperado de: http://tesis.udea.edu.co/bitstream/10495/15666/1/GilValeria_2019_ConfirmacionMetodosEstaciones.pdf

IDEAM (s.f). Contaminantes del aire y sus efectos. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/001083/Course2/Lecturas/Vehiculos/chapter2.pdf>

Jorge G (2021). Caracterización de sensor de material particulado de bajo costo. Recuperado de: <https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/rtyc/article/view/858/775>

Karagulian F, Barbieri M, Kotsev A, Spinelle L, Gerboles M, Lagler F, Redon N, Crunaire S y Borowiak A. (2019). Revisión del desempeño de sensores de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire. Recuperado de: https://www-mdpi-com.translate.goog/2073-4433/10/9/506/htm?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sc

Leon y (2021). APLICABILIDAD DEL USO DE SENSORES ELECTROQUÍMICOS DE BAJO COSTO COMO ALTERNATIVA EN LA MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE: CASO PM2.5. Recuperado de: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/27824/Le%c3%b3nSalaSyeimerDanian2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Luna A, Talavera A & Cano L (2017). Uso de sensores electroquimicos de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire en el distrito de San Isidro - Lima – Perú. Recuperado de: <https://repositorio.up.edu.pe/handle/11354/1845>
- Manterola C, Astudillo P, Arias E, Claros N & Grupo MINCIR (2013). Revisiones sistemáticas de la literatura. Qué se debe saber acerca de ellas. Metodología e investigación de cirugía. Recuperado por: <https://www.elsevier.es/es-revista-cirurgia-espanola-36-articulo-revisiones-sistematicas-literatura-que-se-S0009739X11003307>
- Mateu E & Casal J (2003). Tipos de Muestreo. Recuperado de: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55524032/TiposMuestreo1-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1645676137&Signature=P0weLJindZOrvgSDCeVEYV2uEWUIQtEfKtlgYmdeFyXjjarbn7FZ6GLsrwPDtiiUnCHSU0rbad4ATILsdjknaU1PwaA8y4M3DPV0Knw4Vwn4y8XT0hUz2w1rCw1H3yf6CuLmSSE9DV7vsirAAsAghxa15vZv6A41PXIXNsfyjWXiXxYNCx4n2R3Zjkhx42GESSxNdb5oqn7Rywdl3z95puSHxPeec6T8p2JaTRhi4p1jTN9pzetSAICy3~q058tnQTor6sEcAoy2zzdU5Nsilr7q5rcZXcCWhLRwbv6XOhrALYUhfhvEaXJ~TwXxoSknvaut2q-YLXAMJbwAM5ykiw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Matus P & Lucero R. (2002). Norma Primaria de calidad del aire. Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-73482002000200006&script=sci_arttext&lng=e
- Mayorga C, Ruiz M & Aldas D (2020). Percepciones acerca de la contaminación del aire generada por el transporte urbano en Ambato, Ecuador. Recuperado de: <https://ww.revistaespacios.com/a20v41n17/a20v41n17p11.pdf>
- MITECO (s.f). Monóxido de carbono. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. Recuperado de: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/monoxido-carbono.aspx>
- Mohe D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman D & The PRISMA Group (2009). Elementos de informe preferidos para revisiones sistemáticas y metanálisis: la declaración PRISMA. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2707599/>
- Navarrete J & Rico K (2018). Sensores de bajo costo, para el monitoreo de la calidad del aire. Recuperado de: <https://epistemus.unison.mx/index.php/epistemus/article/view/108/83>

OMS (2021). Las nuevas Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire tienen como objetivo evitar millones de muertes debidas a la contaminación del aire. Organización mundial de la salud. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>

Roncano L (2019). Evaluación del desempeño de sensores de bajo costo como complemento para el monitoreo de la calidad del aire de Bogotá y como herramienta para la determinación del grado de exposición de una población caso de estudio. Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77273/1032456241.2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

UNICEF (2020). El aire que respiramos. Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. Recuperado de: https://www.unicef.org/ecuador/media/6611/file/Ecuador_el_aire_que_respiramos.pdf%20.pdf

Zapata C, Quijano R, Molina E, Rubiano C, Londoño G (2007). Fortalecimiento de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire en el Valle de Aburra con Medidores Pasivos. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169414452004.pdf>

5 ANEXOS

ANEXO I

1. Matriz de los artículos seleccionados para su revisión y analisis

Titulo	Autores	Equipo	Contaminante	Metodología	Resultados
Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de sensores de bajo costo de material particulado 2,5, ubicados alrededor de dos estaciones de la red de monitoreo atmosférico del DMQ	Guerrero D Veintimilla E	SENSIRION SPS30	PM 2.5	Se emplearon 4 sensores, 2 en cada estación y se recolectó información de 4 meses Se recolecto información de la REMMAQ Se calculó del error cuadrático medio (RMSE), análisis de Varianza (ANOVA) y prueba de TURKEY	Los 4 sensores no registran diferencias significativas entre ellas, pero si al compararlos con la REMMAQ
Evaluación del desempeño de un sensor de bajo costo para medir la calidad del aire	Durán S Aldana A Altamar A	Temtop M2000C	PM 2.5 PM 10	Toma de datos con los sensores por 32 días Comparación con la red de monitoreo (RMCAB) Análisis estadístico de Excel (Real Statistics), coeficiente de correlación de Pearson y prueba de Shapiro-Wilk	La tendencia es semejante en cuanto a sensores y equipos de monitoreo, aunque los datos de los sensores siempre fueron menores. El coeficiente de correlación de Pearson de los sensores en mayor al 0.75 para ambos contaminantes
Monitoreo de la calidad de aire en el sur de la ciudad de Cali empleando un sensor a bajo costo	Lozano M	AirBeam2	PM 2.5 PM 10	El periodo de monitoreo fue de 3 meses Comparación con el sistema de vigilancia de la calidad del aire (DAGMA) Se empleó la prueba T-Student, regresion lineal y el coeficiente de Pearson	Existe una tendencia similar entre los 2 sistemas de monitoreo La estación arroja valores superiores a los entregados por los sensores Los sensores presentan una correlación del 0.9
Aplicabilidad del uso de sensores electroquímicos de bajo costo como alternativa en la medición de la calidad del aire : caso PM2.5	León Y	Plantower PMS7003, Plantower A7003, Honeywell HPMA115SO, Sensirion SPS30 Panasonic SN-GCJA5	PM 2.5	Fase 1: Recolección de información e identificación de los mejores equipos Fase 2: Monitoreo de sensores vs el equipo estandarizado Fase 3: identificación de los mejores sensores.	El reporte de concentraciones de contaminantes medido por los sensores, es similar al presentado por el equipo de referencia, sin embargo 4 de ellos sobreestimaron los valores para PM2,5

Medición de las concentraciones de PM2.5 y PM10 con el sensor OPC-N3 en diferentes ambientes exteriores de la ciudad de Santa Clara	Danielly S Sánchez A Valero J	sensor OPC-N3	pm2,5 y 10	fueron monitoreadas con el sensor OPC-N3 en tres sitios de la ciudad de Santa Clara afectados por diferentes fuentes	Se identifica que los menores valores en el sitio representativo de las concentraciones de fondo y los mayores, en los otros dos con valores picos.
Modelado de la calidad del aire urbano utilizando red de sensores de bajo costo y asimilación de datos en el valle de aburrá, colombia	Lopez S, et al	BAM-1020 Y BAMM 1022	PM2.5	Datos de 2 meses, 255 sensores, se consideraron únicamente los que estaban a un radio de 2 Km respecto a la estación de monitoreo, se empleó LOTOS-EUROS	Las mediciones de PM2,5 son muy cercanas a las observadas por la red oficial simulaciones de alta calidad tienen un error más bajo
Comportamiento en campo de un sensor de bajo costo en el monitoreo de material particulado en Santiago de Chile	Tagle M Rojas F	BAM 1020 TEOM 1400	PM 2.5 PM 10	Escaneo de datos, para medir el error se empleó nRMSE. La relación entre el sensor y el equipo se lo realizó mediante regresión ortogonal y los resultados mediante regresión lineal	Los sensores sobre estiman la concentración de PM en condiciones de humedad relativamente altas. La regresión lineal fue de 0,67 para en 2.5 y 0,5 para a 0.47 fue de 0.4-0,47
Inferencia espaciotemporal de la calidad del aire de datos de sensores de bajo costo ; Aplicación en una Red de Monitoreo de Ciclismo	Hofman J, et al	SPS3P (SENSIRION)	PM 2.5 PM 10	Para pm2.5 depuración de datos y calibración de datos por un factor de masa (comparación de referencia del sensor) se aplicó el modelo AVGAE y ajuste. El rendimiento se evaluó mediante MAE, RMSE , correlación Pearson y otros.	Se obtuvo una buena presión y correlación MAE= 2,83-3,14 , R=0,63 - 0,72, siendo superiores ligeramente a AVGAE
Desempeño de una Red de Monitoreo del Aire Comunitario con Sensores de Bajo Costo en el Condado de Imperial, CA	Ingles P Amato B	Dylos DC1700 BAM 1020	PM	Se empleó 42 sensores con un contador óptico basado en laser modificado, se verifica el aseguramiento/control de la calidad y se envía a la plataforma. Para comparar entre los sensores y los equipos regulados se emplea T-student, regresiones lineales simples de mínimos cuadrados ordinarios (OLS)	La variabilidad de los datos fue mayo a los de la los monitores regulatorios Presenta desviaciones estándar más altas para PM10 La mediciones promedio anual de PM2,5 fueron mas bajs de las entregadas por los equipos. La correlación es de 0,16 a 0,67

Evaluación del desempeño de monitores de calidad del aire de bajo costo en Dallas, Texas	Khreis H, et al	AQY1 comerciales	O3, NO2, PM2.5 PM10	Se evaluaron 12 sensores, en un periodo de 18 meses Se ubicaron junto a una estación de monitoreo para evaluar el rendimiento de los sensores mediante diagramas de dispersión y el error porcentual Los equipos fueron ajustados	Lo sensores entregaron resultados negativos sin procesar, posterior a su calibración se determinó que lo sensores arrojaban valores superiores o inferiores a los entregados por la estación, para los contaminantes evaluados.
[PDF] Desarrollo de un monitor de partículas de bajo costo e independiente de la energía para el monitoreo de la calidad del aire en el Bronx y la ciudad de Nueva York	Ilie A Eisl H Heimbinder M	AireBeam2 Plantower PMS7003	PM	se monitorearon 11 puntos, el sensor fue calibrado por el fabricante y se validó por FEM Análisis de regresión entre FEM y el sensor.	La regresión fue de 0,79 - 0,87, calculados como mínimo y máximo respectivamente
Evaluación del rendimiento a largo plazo de sensores atmosféricos de bajo costo en el medio ambiente ártico	Carotenuto F, et al	AIRQino	CO2 PM 2.5 PM 10	Con datos de 2 estación de referencia y los del sensor se filtraron mediante la técnica de rango intercuartil Se evaluó los errores cuadráticos medios, la estadística descriptiva básica, sesgos y sesgos normalizados	El AIRQino entrego resultados sobre estimados para parámetros meteorológicos, al igual que para los contaminantes analizados respecto a la estación Aunque en términos de tendencia estas están acorde a la estación de referencia.
Evaluación de PM2.5 medidas en un entorno urbano utilizando un contador de partículas ópticas de bajo costo y un monitor de atenuación beta de método equivalente federal	Brian I, et al	Purple Air PA-II BAM 1022	PM 2.5	Se evaluó 16 meses de datos, se empleó a BAM, T, HR como predictores para modelar el PA-II PM2,5 Se emplea una regresión segmentada, método estadístico estands.	La calibración de PA-II reflejo mejoras al entregar resultados, siendo del 27 al 57 % siempre y cuando se calibre la T y HR

Usando una red de monitores de bajo costo para identificar la influencia de los factores modificables que impulsan los patrones espaciales en las concentraciones de partículas finas en un área urbana	Eilengerg S Subramanian R,	Ppurple Air Met-One	PM 2,5	Se imprente una red de 64 sensores Los datos recolectados has sido corregidos por a valores equivalentes a BAM Se comparó los de resultados con una estación de monitoreo referencial para identificar incertidumbre y muestreo	La calibración de los equipos permitió disminuir la incertidumbre del sensor a 1ug/m3
Evaluación del rendimiento de los sensores de ozono y partículas	Dewitt H Cuervo W Flores B	Dylos DC1100 AirBeam	O3 PM	Se analizó un periodo de 10 meses Se comparó el rendimiento por BAM-1020 Se convirtió los datos obtenidos a número de concentraciones de masa	Para PM, se demostró que los sensores y FEM midieron picos temporales similares La concordancia de 0,66-0,9 para Dylos y 0,79-0,98 para AirBeam
Evaluación del desempeño del sensor Temtop M2000C en la determinación de material particulado pm 2.5 en una zona de la localidad de Fontibón	Duran S	Temtop M2000C	PM 2.5 PM 10	Comparación con la estación Fontibón, se examinó el coeficiente de Pearson Para la ecuación de calibración se empleó regresión lineal Se realiza una ecuación de calibración evitando la influencia respecto a la temperatura y humedad	Los resultados tiene una tendencia similar a la estación d monitoreo Los resultados entregados por los sensores son menores a los de la estación El ensayo tuvo una correlación >0,75 para el coeficiente de Pearson