



Desarrollo de un sistema de monitoreo de CO2 para el Shut de basuras de las  
Unidades Tecnológicas de Santander  
Proyecto de investigación

**Leider Andrés Rubiano Rondón**  
**1002295576**

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER**  
**Facultad de Ciencias Naturales e Ingenieras**  
**Tecnología en Producción Industrial**

**Bucaramanga 29/06/2022**



Desarrollo de un sistema de monitoreo de CO2 para el Shut de basuras de las  
Unidades Tecnológicas de Santander  
Proyecto de Investigación

Leider Andrés Rubiano Rondón  
100022995776

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Tecnólogo en Producción Industrial**

**DIRECTOR  
Ing. Edwing Fabian Amaya Arias**

Grupo de investigación – SIGLA

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER  
Facultad de Ciencias Naturales e Ingenieras  
Tecnología en Producción Industrial**

**Bucaramanga 29/06/2022**

Nota de Aceptación

---

---

---

---

Firma del Evaluador

Firma del Director



F-DC-125

## DOCENCIA

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO  
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,  
EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

PÁGINA 4  
DE 61

VERSIÓN: 1.0

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios y a mis padres, por ser los responsables de que este proceso se haga realidad, por ser un apoyo incondicional en todo momento.

***Leider***

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a Dios por permitirme llegar hasta esta etapa de mi ciclo profesional; también a mi madre por siempre ser mi apoyo incondicional y estar conmigo en todo momento.

También quiero agradecer a la Institución por prestar las instalaciones para el aprendizaje y desarrollo académico. Agradezco a mi director el Ingeniero Edwing Fabian Amaya Arias por aportar de su conocimiento y ser una guía incondicional en el proceso de este trabajo.

Finalmente, a los docentes, compañeros que estuvieron presente en este ciclo.

***Leider***

**TABLA DE CONTENIDO**

<b><u>RESUMEN EJECUTIVO .....</u></b>	<b><u>10</u></b>
<b><u>INTRODUCCIÓN .....</u></b>	<b><u>11</u></b>
<b><u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....</u></b>	<b><u>13</u></b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	15
1.3. OBJETIVOS .....	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
1.4. ESTADO DEL ARTE .....	17
<b><u>2. MARCO REFERENCIAL.....</u></b>	<b><u>20</u></b>
2.1. MEDIO AMBIENTE .....	20
2.1.1. CAMBIO CLIMÁTICO .....	20
2.2. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA .....	21
2.2.1. PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AIRE.....	21
2.2.2. DIÓXIDO DE CARBONO CO <sub>2</sub> .....	22
2.3. MONITOREO AMBIENTAL .....	26
2.3.1. SENSORES DE GASES .....	26
<b><u>3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....</u></b>	<b><u>28</u></b>
3.1. ETAPA 1: SELECCIÓN.....	28
3.2. ETAPA 2: CARACTERIZAR.....	28

<b>3.3. ETAPA 3: ANALIZAR.....</b>	<b>29</b>
<b><u>4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....</u></b>	<b><u>30</u></b>
<b>4.1. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>30</b>
4.1.1. MATRIZ DE SELECCIÓN .....	36
4.1.2. COMPONENTES DEL SISTEMA PROPUESTO .....	40
4.1.3. SOFTWARE DEL SISTEMA .....	43
<b>4.2. ENSAMBLAJE DEL SISTEMA.....</b>	<b>44</b>
4.2.1. SOFTWARE .....	44
<b>4.3. ANÁLISIS DE DATOS .....</b>	<b>45</b>
4.3.1. PRUEBAS DE CAMPO .....	45
<b><u>5. RESULTADOS.....</u></b>	<b><u>47</u></b>
<b>5.1. SELECCIÓN DEL SISTEMA.....</b>	<b>47</b>
<b>5.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....</b>	<b>47</b>
<b>5.3. ANÁLISIS DE LOS DATOS.....</b>	<b>48</b>
<b><u>6. CONCLUSIONES.....</u></b>	<b><u>51</u></b>
<b><u>7. RECOMENDACIONES .....</u></b>	<b><u>53</u></b>
<b><u>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</u></b>	<b><u>54</u></b>

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Porcentaje de emisiones GEI en el departamento de Santander.....	25
Figura 2. Sensor electroquímico.....	26
Figura 3. Sensor en estado sólido.....	27
Figura 4. Sensor de CO <sub>2</sub> MG-811 .....	41
Figura 5. Arduino UNO .....	42
Figura 6. Esquema de Conexión entre el Arduino UNO R3 y el sensor MG-811 ..	43
Figura 7. Sistema de CO <sub>2</sub> ensamblado .....	44
Figura 8. Shut de basuras de las Unidades Tecnológicas de Santander .....	46
Figura 9. Esquema del funcionamiento del sistema de captación de CO <sub>2</sub> .....	47
Figura 10. Sistema de medición de CO <sub>2</sub> instalado en el shut de basuras .....	48
Figura 11. Valores obtenidos con el shut de basuras vacío .....	49
Figura 12. Valore máximos con el shut lleno de basura.....	50

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de CO <sub>2</sub> para evaluar la calidad del aire .....	23
Tabla 2. Métodos para el monitoreo de cantidad de CO <sub>2</sub> en una zona determinada. ....	32
Tabla 3. Dispositivos para la medición de gases. Costos .....	36
Tabla 4. Valor de puntuación.....	38
Tabla 5. Matriz Holmes Totalidad.....	38
Tabla 6. Matriz Holmes Exactitud.....	39
Tabla 7. Matriz Holmes Costo .....	39
Tabla 8. Costos de los elementos del sistema propuesto. ....	40
Tabla 9. Características del sensor MG-811 .....	41
Tabla 10. Datos de los parámetros destacados para la prueba de campo .....	45

## RESUMEN EJECUTIVO

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), es un gas de efecto invernadero primario, un factor importante en el calentamiento global al atrapar el calor en la atmósfera. El clima extremo y el derretimiento de los glaciares causado por el calentamiento global tienen un gran impacto en la supervivencia de las especies en todo el mundo, e incluso pueden ser devastadores (Anderson et al., 2016). Este proyecto monitoriza la cantidad de  $\text{CO}_2$  contenido en el shut de basuras de las Unidades Tecnológicas de Santander por medio de un sistema de monitoreo de gases de  $\text{CO}_2$ . Este trabajo se realiza por medio de la metodología documental, experimental y analítico. Se inicia con la documentación en bases de datos obteniendo alternativas de sistemas de monitoreo; por lo tanto, mediante de la matriz de Holmes, se selecciona el sensor MG-811 como el dispositivo adecuado para ser instalado en el cuarto de basuras. Una vez instalado se realizaron pruebas de campo donde, los datos demuestran una diferencia de 20 PPM entre el monitoreo del shut cuando se encuentra sin basura y cuando se encuentre con su capacidad al máximo; sin embargo, aunque no parezca una gran diferencia, este valor hace que la concentración de  $\text{CO}_2$  aumente y produzca daños en la salud de las personas.

**PALABRAS CLAVE.** Contaminación, Dioxido de Carbono, Shut, Sensor, Monitoreo.

## INTRODUCCIÓN

Según señalan Chipana y Zavaleta (2020), en la actualidad la contaminación del aire es uno de los problemas más graves que afronta la humanidad. La mala calidad del aire afecta incluso a las personas que pasan la mayor parte de su tiempo en espacios interiores, situación que trae consigo distintas y serias complicaciones de salud. De hecho, según lo indican los datos de la OMS, el 92% de la población mundial habita en lugares donde la calidad del aire no es la adecuada, y cerca de 4.2 millones de personas, en 2015, murieron como consecuencia de alguna enfermedad relacionada con la mala calidad del aire.

El CO<sub>2</sub> en la atmósfera se origina principalmente por la quema de combustibles fósiles, la respiración de plantas y animales, la descomposición de cadáveres de animales y principalmente la acumulación de desechos sólidos (Alonso et al., 2017). Entre estas fuentes, las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por los desechos sólidos deben reducirse con urgencia, ya que se han duplicado en emisiones en los últimos 30 años y lo más probable es que no se controlen con el aumento de la población (Santos et al., 2022).

Este proyecto se desarrolla mediante métodos de investigación con metodología documental, experimental y analítico, dividido en cuatro etapas de desarrollo; por lo que, se basa en la implementación de un sistema de monitoreo de CO<sub>2</sub> en el shut de basuras de las Unidades Tecnológicas de Santander, una institución educativa ubicada en la ciudad de Bucaramanga, y cuya población estudiantil consta de aproximadamente de 18.000 estudiantes; convirtiéndose en una generadora constante de residuos sólidos.

Este sistema es seleccionado por medio de la matriz de selección Holmes con el fin de definir la mejor alternativa según los requerimientos; una vez identificado los elementos de dicho sistema se realizan las conexiones necesarias e implementa en el sitio requerido que en este caso es el shut de basuras de la UTS. Finalmente se realizan pruebas de campo y se obtiene el análisis de dicho tratamiento de datos recopilados a través del sistema de monitoreo.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la ciudad de Bucaramanga, se encuentra ubicada las Unidades Tecnológicas de Santander, institución educativa que cuenta con una población estudiantil de aproximadamente 18.000 estudiantes, los cuales cursan programas de pregrado en jornadas diurna, nocturna, y en modalidad virtual, de esta forma, proporcionalmente a la población estudiantil se generan residuos sólidos derivados de las diferentes actividades académicas, como lo son laboratorios, cafeterías, salones de clase, espacios de esparcimientos y recreación (UTS, 2022).

Los residuos sólidos se consideran uno de los problemas ambientales más grandes de nuestra sociedad. La población y el consumo per cápita crece, y por ende la basura; pero el espacio y además su tratamiento no es el adecuado generando impactos ambientales negativos que afectan a toda la comunidad y los recursos naturales. Uno de los más afectado es el recurso aire ya que su contaminación por Gases GEI es imperceptible a la vista.

La contaminación del aire por componentes potencialmente cancerígenos y no cancerígenos, la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Tanto el metano (CH<sub>4</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) -principales GEI-, como los componentes potencialmente cancerígenos, provienen de la descomposición natural de los residuos sólidos, ocasionado por las reacciones químicas y biológicas producidas por el biogás (Rojas et al., 2001). Consecuentemente, se requiere caracterizar el shut de basuras de la institución Unidades tecnológicas de Santander, para así

poder monitorear los niveles de gases que se están emitiendo al recurso aire y tomar acciones correctivas preferiblemente automatizadas, mitigando el impacto negativo y reforzando el compromiso ambiental de la institución con la ciudadanía.

Con base a lo anterior surgen las siguientes preguntas, ¿Cómo medir los niveles de contaminación del Shut de basuras de las Unidades Tecnológicas de Santander?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

La contaminación del aire es actualmente uno de los problemas más severos a nivel mundial. Las personas pasan el 90% de su tiempo en espacios interiores, por lo que una mala calidad de aire interior puede afectar de manera seria a su salud. La presencia de CO<sub>2</sub> puede ser usado para indicar la calidad del aire interior de un ambiente, ya que puede causar dolor de cabeza, mareos, somnolencia y problemas respiratorios, dependiendo de la concentración y de la duración de la exposición (Meza & Zavaleta, 2020)

De igual manera, el más reciente modelo de la OMS afirma que el 92% de la población mundial habita en lugares donde la calidad del aire excede los límites determinados por esta organización. Así mismo, la OMS calcula que, en 2015, entre 3.7 y 4.2 millones de personas murieron debido a enfermedades relacionadas con la mala calidad del aire exterior (Duque, 2017).

Uno de los gases que se generan en los espacios interiores es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Carazo Fernández et al., 2013). El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un gas incoloro e inodoro que se forma debido a los procesos de combustión de sustancias que contienen carbono (Huamán, 2015).

Es por esto que, caracterizar los posibles gases que se emiten al recurso aire mediante el shut de basuras de las UTS es de suma importancia; ya que, al tener acceso oportuno y continuo a una información confiable, se pueden generar estrategias a tiempo para mitigar de los efectos negativos de los gases GEI, específicamente el CO<sub>2</sub>. De esta forma, los sistemas de mitigación que se puedan implementar también contribuirán a la disminución de olores desagradables y

focos contaminantes, como también la proliferación de insectos por falta de higiene.

El proyecto de grado se formula como un espacio académico y de acuerdo a los conocimientos adquiridos en las asignaturas vistas se pretende aportar al sistema de información de Las unidades tecnológicas de Santander.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Implementar sistema de monitoreo con el fin de evaluar los niveles de contaminación en el Shut de basuras de las Unidades Tecnológicas de Santander

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Identificar el sistema de medición de CO<sub>2</sub> a implementar por medio de una matriz de selección basado en especificaciones técnicas basados en el entorno de ubicación del Shut de basuras

Caracterizar los niveles de contaminación de CO<sub>2</sub> del shut de basuras a través de la implementación de un sistema de medición in situ.

Evaluar los datos obtenidos en el proceso de simulación a través del software Matlab con el fin de determinar los niveles de contaminación de CO<sub>2</sub> del shut de basuras

#### 1.4. ESTADO DEL ARTE

En la universidad politécnica de Madrid se realiza una investigación que tiene como objetivo analizar cómo la monitorización de los niveles de CO<sub>2</sub>, la cual puede utilizarse como una estrategia de control de contaminación ambiental y atenuar la propagación de enfermedades tales como el COVID-19 en espacios cerrados; en los resultados de la investigación se demuestran que, en los sensores donde la ventilación es más favorable, la disminución de CO<sub>2</sub> ambiental es proporcional al aumento de metros cuadrados de aireación, en otros términos, a más mayor aperturas, mayor velocidad de disminución, siendo un sistema de ventilación una alternativa de mitigación para las emisiones de CO<sub>2</sub> (Bohorquez et al., 2021).

Investigadores de la universidad de Chetumal, realizaron un estudio científico para determinar el grado de influencia de los emisores contaminantes de tipo aire acondicionado en la estabilidad de los niveles de dióxido de carbono recomendado para espacios habitables tomando como caso de estudio ambientes cerrados del Instituto Tecnológico de Chetumal. En el desarrollo del estudio determinaron que, las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por el uso de equipos de enfriamiento mecánico sí afectan la calidad de aire interior en ambientes laborales, ya que existen además de dióxido de carbono otros compuestos que al combinarse con este alterar los estándares establecidos, y que, gracias a los datos generados de una campaña permanente de monitoreo, se puede llevar un control de información de la situación de calidad de aire (González et al., 2019).

Según Martin & Castañeda (2021) quienes, investigaron las emisiones del relleno sanitario doña Juana de Bogotá, anotaron que, la descomposición de compuestos orgánicos genera la alteración de la calidad del aire por las emisiones de diversos contaminantes a la atmosfera, los cuales se identifican como: metano CH<sub>4</sub> ,

dióxido de carbono CO<sub>2</sub> y compuestos orgánicos diferentes al metano NMOC, los cuales están en la categoría de gases de efecto invernadero.

En la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. Diseñaron un sistema de monitorización de gases contaminantes en ambientes cerrados para la toma de decisiones por parte del jefe de hogar. Se propone una red de sensores basada en Arduino para captar la presencia de gases contaminantes, posteriormente enviar estos datos a la app móvil Blynk la cual permite enviar reportes y alertas que ayudan a tomar acciones preventivas, finalmente, se logró simular la red de sensores para valorar su funcionamiento en un ambiente educativo y posteriormente implementar la red de sensores física que permite al sistema de monitorización evidenciar los niveles gases contaminantes dentro de la residencia. (Moreta et al, 2021)

Otro gran proyecto que aporta a este tema investigativo es la que realizaron Llumiquinga & Ubidia (2007) en el cual, se construye un sistema de monitoreo de Temperatura, Humedad Relativa y Concentración de CO<sub>2</sub>, cuyos valores determinan la calidad del aire, para lo anterior, realizan medición de los parámetros mencionados mediante sensores, una vez obtenidos los resultados se hacen las correcciones requeridas mediante un control difuso. Finalmente se concluye que, para mejorar las variables mencionadas, se requiere manejar un calefactor, un humidificador y des humidificador y el CO<sub>2</sub> se controla mediante ventilación.

En la búsqueda de estrategias para la mitigación de los impactos ambientales negativos que se generan por las emisiones del CO<sub>2</sub>, Jaramillo & Montoya (2017) plantea el diseño de un sistema fotovoltaico de autoconsumo aplicado a un desarrollo tecnológico de aspersión en un shut de basuras en las Unidades

Tecnológicas de Santander, Colombia, realizando un estudio comparativo entre dos métodos de cálculo: Amperio hora / system advisor model (SAM), para el dimensionamiento de la superficie de captación. Esto con el fin de dimensionar la superficie de captación, para posteriormente llevar a cabo un estudio comparativo entre los resultados obtenidos, determinando cuál es más adecuado para proceder con el diseño estructural en las Unidades Tecnológicas de Santander, estableciendo los componentes físicos y evaluando los costos para su futura implementación.

Con respecto a lo anterior, en las UTS un grupo de investigación realizó un proyecto cuyo objetivo es Dimensionar e implementar de un sistema de aspersion sostenible con alimentación fotovoltaica para el shut de basura de las UTS, mediante paneles solares que alimentan el sistema de aspersion que cada cierto tiempo distribuye una sustancia liquida llamada BIOLOR, la cual es un organocatalizador de alto desempeño, el cual contribuye a reducir o disolver residuos orgánicos, mejorando la situación de contaminación ambiental en el shut de basuras de las UTS. (Silva J, Pico W. 2021).

## 2. MARCO REFERENCIAL

Con el fin de cumplir los objetivos establecidos en este proyecto, se hace necesario conocer la relación entre la ciencia medioambiental y la ingeniería. Por lo tanto, se analiza la relación entre estos.

### 2.1. Medio ambiente

Para comenzar, el medio ambiente se define como el conjunto de elementos físicos, químicos, biológicos y sociales con capacidad de generar efectos tanto directos como indirectos en los seres vivos y sus actividades cotidianas. La palabra “medio” lleva a relacionarse con los factores físicos fundamentales para la vida como, el agua, aire y tierra (Yigitcanlar et al., 2019).

#### 2.1.1. Cambio climático

El cambio climático hace referencia al cambio o modificación en el clima en diversos puntos de vista, como por ejemplo el cambio de cálido a frío, de seco a húmedo. Esta alteración de temperatura se presenta en torno de la tierra. La variación en el clima se presenta en diferentes escalas de tiempo y parámetros climáticos como la temperatura, nubosidad, humedad, precipitaciones, velocidad del viento, entre otras. Lo que en resumen se considera como un fenómeno de origen natural que a través de los años se ha acoplado con el mundo de la industria y a las actividades humanas, siendo la mayor causa del incremento en el cambio climático (Anderson et al., 2016).

La capacidad de influir en los climas históricos puede afectar en las decisiones políticas y públicas contemporáneas. Si finalmente se puede establecer una correlación entre los fenómenos climáticos o ambientales y el declive de la civilización, sería una consecuencia lógica que los gobiernos trataran de prevenir o mitigar los efectos de tales eventos en su propio interés.

La magnitud del cambio climático y su impacto dependerá en su totalidad de las decisiones políticas. Por otra parte, en el área de la academia se debería dedicar a realizar estudios que contribuyan a mitigar la incertidumbre de los modelos del clima global. Los temas incluyen el impacto de las precipitaciones y los cambios de temperatura en la escorrentía, la tasa de almacenamiento de dióxido de carbono en las turberas, los costos adicionales que los países tienen que soportar para combatir el cambio climático (Anderson et al., 2016).

## **2.2. Contaminación atmosférica**

La contaminación atmosférica se define como la presencia de materia o formas de energía en el aire que produzcan riesgo, daño o molestia para los seres vivos; por lo que pueden implicar a diferentes materiales, disminuir la visibilidad o generar olores no agradables (Aldieri et al., 2019).

Los principales componentes de contaminación atmosférica se radican en los procesos industriales de todo tipo. Sin embargo, también se puede presentar de manera local, cuando el efecto está relacionado con las inmediaciones del mismo.

### **2.2.1. Principales contaminantes del aire**

Dentro de los principales contaminantes del aire se encuentran los siguientes (G. Chen et al., 2017):

- **Contaminantes gaseosos:** estos pueden encontrarse tanto en ambientes exteriores como interiores. Los principales que se pueden encontrar son el dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, óxido de azufre y el ozono. Su principal fuente de generación se atribuye al uso de los combustibles fósiles. Para el ambiente interior, se pueden producir por el uso del tabaco, materiales de construcción. El más común de los contaminantes gaseosos es el famoso smog fotoquímico, el cual es una niebla tóxica producida por los gases de escape de los automóviles y fábricas, edificios, entre otros.
- **Aerosoles:** el aerosol se considera una mezcla heterogénea de partículas sólidas. El inhalar el polvo que produce el aerosol puede generar daños fatales en la salud respiratoria humana, partiendo desde irritar y dañar los pulmones ya que, estas partículas finas se absorben en el torrente sanguíneo y podrían quedar por un tiempo extendido.

### **2.2.2. Dióxido de carbono CO<sub>2</sub>**

El fenómeno del cambio climático es un concepto que está revolucionando la forma en que funciona el mundo, y aunque el problema se conoce desde hace muchos años, últimamente se ha intensificado en el día a día de las personas debido a su impacto negativo en la sociedad. Este fenómeno es causado por el aumento excesivo de gases de efecto invernadero, especialmente dióxido de

carbono CO<sub>2</sub>, en la atmósfera (Salas et al., 2022). Este gas es liberado en la quema de combustibles fósiles por diversos procesos industriales y actividades del ser humano. Desde la revolución industrial, las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera se han incrementado radicalmente.

En la **Tabla 1** se presentan las cantidades de CO<sub>2</sub> que son permitidas y sus técnicas de medición

**Tabla 1. Cantidad de CO<sub>2</sub> para evaluar la calidad del aire**

MEDIDA	TÉCNICA EMPLEADA	OBSERVACIONES
CO2 como contaminante	Medidas puntuales	Aire exterior: 300-400 ppm LEP: 5.000 ppm
CO2 como indicador de la contaminación generada por los ocupantes	Medidas puntuales (final de mañana/ tarde) o series de datos	UNE 100-011-91 recomienda una concentración máxima de 1.000 ppm
CO, como Indicador básico de un adecuada o inadecuada renovación de aire	Medidas puntuales (final de mañana/ tarde) o series de datos	Algunos organismos proponen la realización de mediciones para, por ej. A 800 ppm, aconsejar la revisión del funcionamiento del sistema de ventilación.
de aire exterior/caudal de ventilación	Medida de las concentraciones de CO2 en el aire de suministro, de retorno y exterior del caudal total de aire.	Determina la cantidad de aire exterior suministrado a una zona por la unidad de tratamiento de aire. No tiene en cuenta las infiltraciones. Se basa en la diferencia entre CO2 interior y exterior

MEDIDA	TÉCNICA EMPLEADA	OBSERVACIONES
Caudal de ventilación	Utilización del CO <sub>2</sub> ; como gas trazador.	se requieren medidas muy exactas de CO <sub>2</sub> . Es conveniente una tasa de renovación alta (para alcanzar las condiciones de datos durante un periodo equilibrio). El cálculo viene afectado por la estimación del CO, generado por los ocupantes
Caudal de ventilación	Registro continuo de la disminución de los niveles de CO <sub>2</sub> utilizado como gas trazador	Es conveniente una tasa de renovación baja si se utiliza el CO <sub>2</sub> generado por los ocupantes. Es preferible introducir CO <sub>2</sub> sin los ocupantes
Reentrada de aire	Comprobación puntual de los niveles de CO, en el aire exterior y en el aire de entrada	Sencilla comprobación de la reentrada de aire procedente de la expulsión
Distribución de la ventilación	Medida de CO, en varios puntos del edificio	Comprobación de la mezcla adecuada y de la distribución del aire exterior a las zonas ocupadas
Cortocircuito	Medida de CO; en varios puntos del edificio	comprobación rápida, habitación por habitación, de la velocidad y perfil de los chorros de aire de los difusores

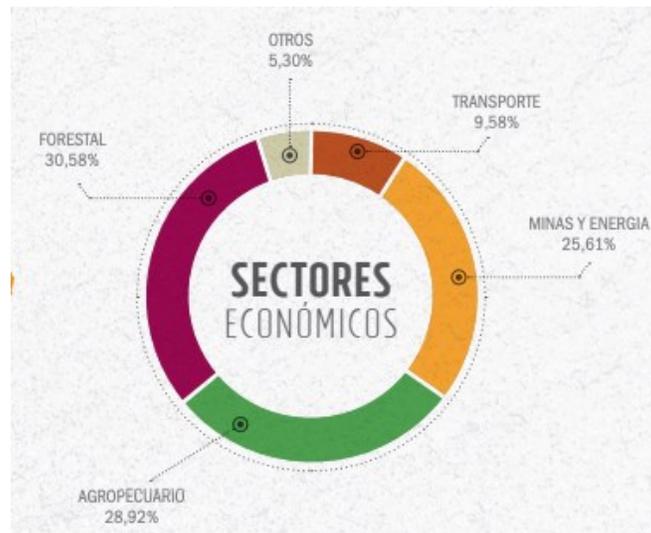
*Fuente: (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2019)*

### 2.2.2.1 Emisiones CO<sub>2</sub> en Santander

Colombia es un país que está regido por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) por lo que cada año debe presentar un informe con el inventario de los gases de efecto invernadero a nivel nacional. Para esto, el IDEAM se encarga de realizar este inventario donde incluye los tres principales gases: el CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O (IDEAM et al., 2016).

Según el informe del 2016 (última actualización del IDEAM) los residuos sólidos y rellenos regionales produjeron 195,73 miles de toneladas (kton) de CO<sub>2</sub> en Santander (IDEAM et al., 2016). La Figura 1 muestra el porcentaje de las emisiones generadas por cada sector en el departamento; como se puede observar el mayor porcentaje lo ocupa el sector de Minas y Energía ya que, el 73% del crudo del país se refina en este departamento.

**Figura 1. Porcentaje de emisiones GEI en el departamento de Santander.**



*Fuente: (IDEAM et al., 2016)*

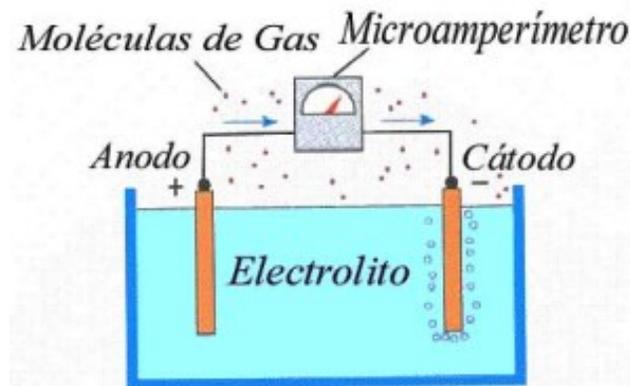
### 2.3. Monitoreo ambiental

Este monitoreo ambiental es realizado con el fin de medir presencia y concentración de contaminantes en el medio ambiente y el estado de conservación de los recursos naturales naturaleza. El objetivo final de esta actividad es conocer quién es responsable de los cambios ambientales identificados. En este sentido, con este monitoreo se genera apoyo a las acciones de seguimiento, control y sanción ambiental, ya que permite conocer la magnitud de los impactos ambientales atribuibles a los posibles responsables (Martin & Castañeda, 2021).

#### 2.3.1. Sensores de gases

- Sensores electroquímicos: este consiste en un cátodo y ánodo separados de una delgada capa de electrolito. De este modo, el gas queda en contacto con el sensor y reaccionan por la superficie del electrodo del sensor, por lo que genera una reacción de oxidación (Salazar, 2017). En la Figura 2 se presenta el esquema de un sensor electroquímico.

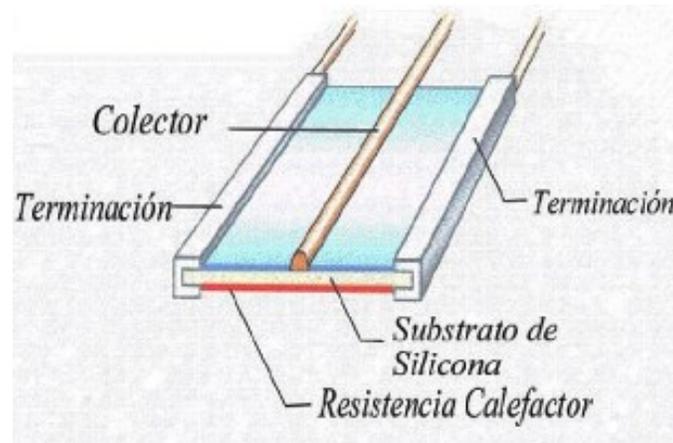
**Figura 2. Sensor electroquímico.**



*Fuente: (Salazar, 2017)*

- Sensor de gas de estado sólido: este tipo de sensores se caracterizan por tener uno o más óxidos metálicos de metales de transición. Los óxidos se preparan y procesan con una pasta usada para formar el sensor en la forma de una burbuja. En la Figura 3 se presenta el esquema de un sensor en estado sólido.

**Figura 3. Sensor en estado sólido.**



*Fuente: (Salazar, 2017)*

### **3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION**

El presente proyecto se desarrolla por medio de los métodos de investigación con una metodología documental, experimental y analítico, el cual se divide en 4 etapas:

#### **3.1. Etapa 1: Selección**

Para empezar con el desarrollo del proyecto se requiere documentos donde expliquen, describan, analicen o comparen técnicas y sistemas de monitoreo de CO<sub>2</sub> con el fin de contar con fuentes de información de diferentes tipos de trabajos como artículos científicos, tesis de grado, actas de conferencia, ponencias y demás.

A partir de la información recopilada anteriormente, se analizan las mejores opciones por medio de una matriz de selección para identificar el sistema que haga un sentido satisfactorio del CO<sub>2</sub> y se acomode a los requerimientos del shut de basuras de las Unidades Tecnológicas de Santander.

#### **3.2. Etapa 2: Caracterizar**

Una vez seleccionado el sistema de monitoreo, se procede a la construcción e instalación en el lugar donde se va a medir el CO<sub>2</sub>, con el fin de caracterizar los niveles de contaminación que se presenta en el área.

### 3.3. Etapa 3: Analizar

Una vez recopilados los datos a través del sistema implementado se realiza el tratamiento de datos del monitoreo realizado por medio del software de Matlab evaluando los resultados de manera que se analice la cantidad de CO<sub>2</sub> que genera el shut de basuras. Este análisis se realiza comparando los valores capturados de CO<sub>2</sub> con el cuarto de basura tanto lleno como vacío con el fin de identificar la variabilidad entre un caso y el otro.

## 4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

De acuerdo con los objetivos establecidos al comienzo de este documento, el producto previsto de implementar un sistema de monitoreo de CO<sub>2</sub> en el shut de basuras de las Unidades Tecnológicas de Santander por medio de pruebas de campo y finalizar estimaciones de gas para un área determinada. En tal sentido, para el cumplimiento de cada una de ellas, se explicarán detalladamente las actividades que se realizan en el ámbito respectivo:

### 4.1. Recopilación bibliográfica

El observatorio Mauna Loa de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica detectó que la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ha superado las 415 ppm, que es el nivel más alto jamás registrado (US Department of Commerce, 2020). El Informe de brecha de emisiones de 2019 del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente(PNUMA) advirtió que incluso si se cumplieran todos los compromisos incondicionales del Acuerdo de París, la temperatura global aún podría haber aumentado 3,2 °C, y solo una disminución anual de las emisiones de CO<sub>2</sub> de alrededor del 7,6 % mantendría el calentamiento global por debajo de 1,5°C (PNUMA, 2021). El CO<sub>2</sub> en la atmósfera se origina principalmente por la quema de combustibles fósiles, la descomposición de cadáveres de personas, animales y la basura acumulada (Alonso et al., 2017). Entre estas fuentes, las emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción industrial deben reducirse con urgencia, ya que se han duplicado en emisiones en los últimos 30 años y lo más probable es que no se controlen (J. Chen et al., 2019).

Dado que el propósito fundamental del presente trabajo es implementar un sistema de monitoreo accesible tanto para los que se encuentran implícitos en el desarrollo del proyecto como para empresas y personas interesadas en realizar investigaciones sobre la cantidad de CO<sub>2</sub> contenido en alguna zona en específico.

**Primero se investigan los métodos utilizados para la medición de CO<sub>2</sub> en el mercado actualmente, los cuales se muestran en la**

Tabla 2. De esta tabla se puede inferir que los métodos directos de monitoreo de CO<sub>2</sub>, distribución y migración es el método más utilizado en el monitoreo de sensores remotos ya que, muestra visualmente el cambio de concentración de CO<sub>2</sub> cerca de la superficie y localiza rápidamente el área de fuga y logra un monitoreo en tiempo real de la fuga de CO. Las ventajas y desventajas de cada método directo se muestran en la la tabla. Para los trazadores, años de investigación han hecho que se utilicen ampliamente en el control de fugas CCS. El establecimiento del modelo de reacción subterráneo del trazador facilitará en gran medida el seguimiento y el análisis cuantitativo de la presencia de CO<sub>2</sub>. Lidar también es adecuado para monitorear la presencia de dióxido de carbono debido a su alta resolución y alta precisión.

**Tabla 2. Métodos para el monitoreo de cantidad de CO2 en una zona determinada.**

Métodos	Fase de Solicitud	Sensores	Plataforma	Ventajas	Desventajas	Referencia	
<b>Trazadores</b>	Trazadores de Isótopos	En el lugar	Sistema de muestreo de tubo en U	Basado en tierra	Sensible a pequeñas fugas Capaz de rastrear la información de la pluma y estimar cuantitativamente las reservas de CO2	Es necesario explorar las interacciones entre los trazadores y las formaciones de almacenamiento, los fluidos de formación y el CO2	(Freifeld et al., 2019)
	Marcadores aditivos artificiales	En el lugar	Muestreador de tubo de adsorción capilar Jeringa hermética	Basado en tierra	Capaz de verificar otros métodos de monitoreo	Falta de mecanismo de flujo y comportamiento de migración del trazador en el yacimiento	(Mayer et al., 2019)

Métodos	Fase de Solicitud	Sensores	Plataforma	Ventajas	Desventajas	Referencia
<b>Teledetección activa por microondas</b>	En el lugar	Instrumento Micropulse DIAL	Basado en tierra	Las columnas de CO2 se pueden detectar directamente en lugar de un proxy	Dificultad para separar las fugas y otras fuentes de CO de la atmósfera	(Zimmerman et al., 2018)
	En el lugar	Espectrómetro de absorción FTIR	Basado en tierra	Se pueden monitorear múltiples contenidos de gas simultáneamente	Es necesario garantizar la altitud de los instrumentos	(Ran & Li, 2019)
<b>Teledetección activa por microondas</b>	En el lugar	Espectrómetro de absorción TDL	Basado en tierra	Se puede usar un instrumento portátil para un monitoreo conveniente y flexible	LIDAR e in situ para equilibrar la precisión de detección y la cobertura de medición	
	sitio piloto	LiDAR Raman	Basado en tierra	Menos equipo y menor costo		

Métodos	Fase de Solicitud	Sensores	Plataforma	Ventajas	Desventajas	Referencia
<b>Teledetección pasiva por microondas</b>	Teórico	espectrómetros de rejilla	Basado en tierra	No necesita una fuente de luz de emisión activa y tiene una mayor robustez	Es necesario mejorar la velocidad de identificación de las columnas de CO	(Crowell et al., 2018)
	sitio piloto	Espectrómetro de absorción FTIR	UAV	Se pueden monitorear múltiples contenidos de gas simultáneamente	Susceptible a interferencias de temperatura, humedad y otras condiciones meteorológicas	
	Teórico	espectrómetros de imágenes	UAV	El rango de monitoreo y la frecuencia se pueden seleccionar de forma independiente	La señal puede pasar a través de la atmósfera que contiene un alto nivel de CO2 Baja resolución, interferencia de	(Y. Chen et al., 2019)

Métodos	Fase de Solicitud	Sensores	Plataforma	Ventajas	Desventajas	Referencia
Satélite de observación de carbono	Teórico	GOSAT OCO-2, OCO-3 TANSAT	Satélite	Amplio rango de monitoreo Los datos de fondo están fácilmente disponibles No se requiere equipo de campo	aerosoles	

*Fuente: (autor)*

Actualmente, se pueden mencionar diferentes métodos de monitoreo de CO<sub>2</sub> los cuales van desde los tipos de fuentes de emisión hasta cómo pueden los gases ser detectados para estudio y el cómo se categorizan estas emisiones; siendo un claro ejemplo como se pudo observar en la tabla anterior.

Adicionalmente, para tener en cuenta en el diseño funcional del sistema y seleccionar los elementos que conformaran dicho sistema se mencionan en la Tabla 3 los costos de cada elemento. Esta tabla está basada en la literatura recopilada anteriormente y solo se involucran los dispositivos que detecten la variable CO<sub>2</sub>.

**Tabla 3. Dispositivos para la medición de gases. Costos**

Referencia	Elemento	Variable	Alcance	Precio COP
0632 1240	Sonda de Medidor de gas	CO <sub>2</sub> -CH <sub>4</sub>	10.000 ppm	2'120.644
TESTO 330- 1 LL	Sonda de Medidor de gas	CO <sub>2</sub>	10.000 ppm	3'167.834
PCE-AC 2000	Medidor de gas	CO <sub>2</sub> NO <sub>x</sub>	3.000 ppm	592.124
MG811	Sensor	CO <sub>2</sub>	350-10.000 ppm	152.950

Nota: el precio mencionado no incluye impuestos ni costo de envío.

*Fuente: Adaptado de (Burbano, 2022)*

#### 4.1.1. Matriz de selección

Con la información anterior, se establecen criterios de selección para realizar la matriz de Holmes, la cual es una matriz que ayuda a definir cuál es la mejor

alternativa con mayor beneficio y que se adecuada para la implementar en el shut de basuras de la UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER . Por lo tanto, se especifican lo criterios que ayudaran con la selección del sistema que sea adecuado :

- Totalidad: el inventario reportado por el sistema debe detectar la totalidad de las emisiones de CO<sub>2</sub> requeridas para el análisis. Este criterio es aplicado en todo dispositivo con el fin de conocer cuál de estos detecta el valor de CO<sub>2</sub> en su totalidad y con poca sensibilidad ante la presencia de otros gases, esto con el fin de no contar con más variables innecesarias dentro del estudio.
- Exactitud: los cálculos no deben ser exagerados ni reducirse según las emisiones actuales. La incertidumbre entre los cálculos y el inventario sensado debe minimizarse al máximo.
- Costo: es importante seleccionar un dispositivo que sea de fácil uso y que el costo de adquisición se encuentre dentro del alcance económico siendo asequible para el personal implícito en el proyecto.

Con el fin de realizar la matriz de Holmes se deben seguir los siguientes pasos (Gómez, 2022):

- I. Plantear los criterios con los que serán evaluadas las alternativas propuestas.
- II. Indicar las alternativas encontradas como posible solución para el sistema
- III. Realizar la matriz
- IV. Tabular con una X las celdas que se crucen con las mismas alternativas
- V. Especificar un valor para evaluar las alternativas en este caso, en la Tabla 4 se asignan estos valores, con el fin de realizar una sumatoria total al final.

- VI. Designar un valor para cada casilla comparando la opción A con la columna de la opción B.
- VII. Sumar el total de cada alternativa
- VIII. Asignar un valor de mayor a menor, dependiendo de la totalidad de la suma, donde prime la más favorable para el proyecto.

**Tabla 4. Valor de puntuación**

criterio	Puntuación
Si es mejor que otro	1
Si es igual	0,5
Si es peor	0

*Fuente: (autor)*

Para finalizar se evalúan las 4 alternativas mencionadas en la Tabla 3 mediante la matriz Holmes teniendo como referencia los criterios de selección. En la Tabla 5 se presenta la matriz del criterio “Totalidad”; en este criterio cabe resaltar que tiene como prioridad el dispositivo que se su función se centre en el inventario únicamente de la variable CO<sub>2</sub>.

**Tabla 5. Matriz Holmes Totalidad**

Referencia del dispositivo	0632 1240	TESTO 330- 1 LL	MG811	PCE-AC 2000	Total	Orden
0632 1240		0	0	0,5	0,5	3
TESTO 330- 1 LL	1		0,5	1	2,5	2
MG811	1	0,5		1	2,5	1
PCE-AC 2000	0,5	0	0		0,5	4

*Fuente: (autor)*

En la Tabla 6 se aplica el criterio de exactitud, en el cual prima aquel dispositivo donde los grados de incertidumbre sean mínimos.

**Tabla 6. Matriz Holmes Exactitud**

Referencia del dispositivo	del	0632 1240	TESTO 330- 1 LL	MG811	PCE-AC 2000	Total	Orden
0632 1240			0,5	0	0,5	1	3
TESTO 330- 1 LL		0,5		0,5	0	1	4
MG811		1	0,5		1	2,5	1
PCE-AC 2000		0,5	1	0		1,5	2

*Fuente: (autor)*

Finalmente, las alternativas son evaluadas bajo el criterio del costo como se muestra en la Tabla 7. Para este criterio es importante tener en cuenta que las personas implícitas en el proyecto prefieren aquellos dispositivos que sean asequibles y económicos por lo que tendrá como prioridad aquel dispositivo de menos costo que se encuentre actualmente en el mercado.

**Tabla 7. Matriz Holmes Costo**

Referencia del dispositivo	del	0632 1240	TESTO 330- 1 LL	MG811	PCE-AC 2000	Total	Orden
0632 1240			1	0	0	1	3
TESTO 330- 1 LL		0		0	0	0	4
MG811		1	1		1	3	1
PCE-AC 2000		1	1	0		2	2

*Fuente: (autor)*

#### 4.1.2. Componentes del sistema propuesto

Para conformar el sistema de monitoreo junto con el sensor MG-811 seleccionado, en la Tabla 8 se mencionan los demás elementos que serán utilizados con su función dentro del sistema.

**Tabla 8. Costos de los elementos del sistema propuesto.**

Elemento	Función	Precio en Euros	Precio COP
Sensor MG-811	Captación CO <sub>2</sub> Leer señal analógica con los convertidores	\$ 35,00	\$ 152.950,00
Arduino UNO R3	ADC	\$ 14,30	\$ 62.491,00
Cable para Arduino USB macho 2.0 A macho tipo B 30 cm	Conectividad entre el Arduino y el equipo de cómputo		\$ 6.500,00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$ 221.941,00</b>

**Nota:** el precio mencionado no incluyo IVA ni costo de envío. La conversión de euros a peso colombiano corresponde al día 31 de mayo 2022 (1 Euro español= 4.370 pesos colombiano)

*Fuente: (autor)*

##### 4.1.2.1 Sensor MG-811

El sensor MG-811 visualizado en la Figura 4, se trata de un sensor de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> con alta sensibilidad y rapidez de respuesta, el cual está diseñado especialmente para los tanques dedicados a la fermentación y para ambientes

industriales que necesiten de un dispositivo con durabilidad y estabilidad. Este sensor es el más conocidos de la referencia MQ-XX, por ejemplo como el MQ-131 el cual es un sensor de Ozono. Sus características principales se mencionan en la Tabla 9.

**Figura 4. Sensor de CO<sub>2</sub> MG-811**



*Fuente: (Prometec, 2022)*

**Tabla 9. Características del sensor MG-811**

<b>Voltaje de operación</b>	6.0±0.1 V
<b>Resistencia</b>	30.0±5%
<b>Corriente de operación</b>	200mA
<b>Potencia de operación</b>	1200mW
<b>Temperatura de operación</b>	20--50 °C
<b>Rango de operación</b>	30mV -- 50mV 350--10000ppm CO <sub>2</sub>
<b>Temperatura de almacenamiento</b>	-20—70 °C

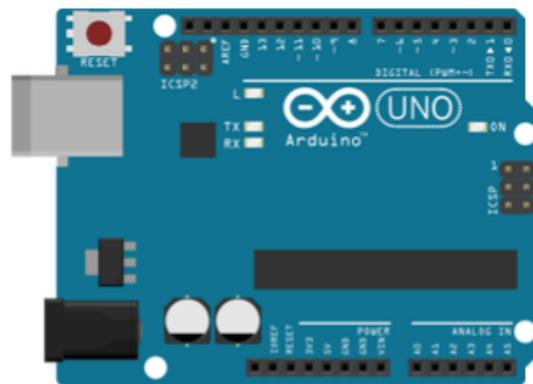
*Fuente: (Prometec, 2022)*

#### 4.1.2.2 Arduino UNO R3

El Arduino UNO es una placa de microcontrolador basada en ATmega328P (ver Figura 5). Tiene 14 pines de entrada/salida digital (6 de los cuales se pueden usar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un cabezal ICSP y un botón de reinicio. Todo lo necesario para admitir el microcontrolador está incluido; simplemente basta con conectarlo a un computador por medio de un cable USB o encender y apagar con un adaptador de CA-CC o directamente a una batería para iniciar.

En resumen el Arduino Uno es una placa de cómputo, que ha sido diseñada para personas que se les dificulte el área de la electrónica, ingeniería o programación. Por lo que es una multiplataforma económica y de fácil programación.

**Figura 5. Arduino UNO**

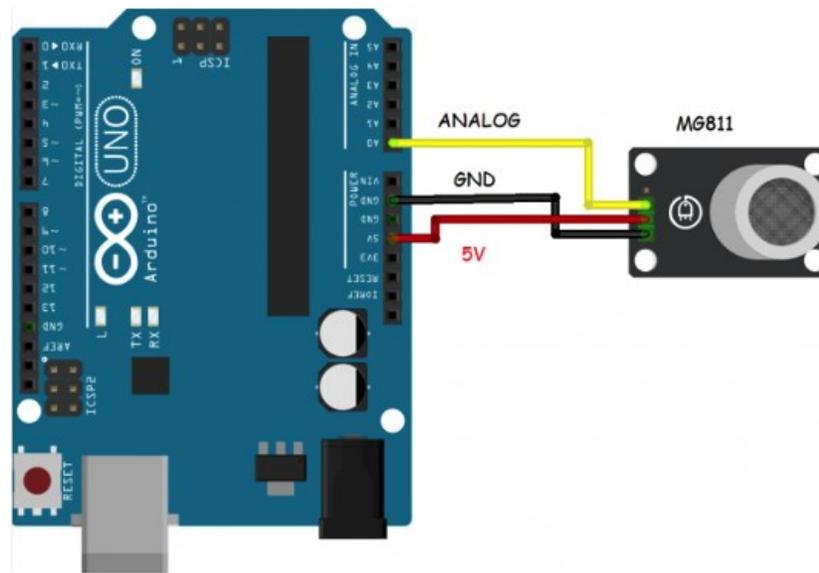


*Fuente: (Prometec, 2022)*

### 4.1.2.3 Conexiones

En la Figura 6 se visualiza las conexiones indicadas entre el Arduino y el sensor MG-811 ya que deben estar conectadas entre sí.

**Figura 6. Esquema de Conexión entre el Arduino UNO R3 y el sensor MG-811**



*Fuente: (Prometec, 2022)*

#### **4.1.3. Software del sistema**

El proceso es llevado por una serie de actividades secuenciales que interactúan tanto con el sensor como como con el módulo de comunicación. En primera instancia la señal análoga es captada por el sensor MG-811 la cual es procesada por Arduino por medio del cable de comunicación (cable para Arduino USB). En esta etapa de análisis la información obtenida es procesada para el tratamiento de

datos por medio del programa Python con el fin de ser analizar los datos en MATLAB.

## 4.2. Ensamblaje del sistema

Una vez adquirido los dispositivos necesarios para la construcción del sistema realizado anteriormente, se procede a instalar los elementos en el lugar correspondiente. En la Figura 7 se muestra el sistema ensamblado y listo para ser instalado.

**Figura 7. Sistema de CO2 ensamblado**



*Fuente: (autor)*

### 4.2.1. Software

Lenguaje: Python

El algoritmo permite la captación de los datos que son enviados por el Arduino el cual es el receptor, con el fin de recibir los archivos tipo hoja de cálculo de Excel. Esto proporciona al usuario los datos recopilados durante el tiempo del monitoreo de la prueba de modo que registra la información hasta la fecha de finalización del periodo de medición.

### 4.3. Análisis de datos

En esta etapa se realizan la pruebas de campo con el fin de evaluar los datos arrojados por el sistema en el tiempo de monitoreo del shut de basuras de las Unidades Tecnológicas de Santander. El periodo de prueba comienza el primero de mayo hasta el 31 de mayo del año vigente sin contar los días domingos presentando durante el mes. A continuación se describe el proceso realizado para dichas pruebas.

Es importante destacar que los datos son tomados en diferentes horas del día ya que, se prefiere el momento en que se encuentra en su máxima capacidad el shut de basuras. Por lo que no se tiene una hora definida durante el transcurso del día.

#### 4.3.1. Pruebas de campo

Para comenzar la prueba de campo se identifica el lugar donde será instalado el sistema, el cual se encuentra ubicado en la zona exterior del edificio C de las Unidades Tecnológicas de Santander como se presenta en la Figura 8. Los datos de la prueba están presentado en la Tabla 10 siendo parámetros destacados.

**Tabla 10. Datos de los parámetros destacados para la prueba de campo**

Lugar	Shut de basuras UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
-------	--

<b>Periodo</b>	Mes de Mayo (26 días ya que no se cuenta con domingos)
<b>Variable</b>	CO <sub>2</sub>
<b>Intervalo de Captación</b>	10 segundos durante una hora por día
<b>Datos obtenidos</b>	156

*Fuente: (autor)*

**Figura 8. Shut de basuras de las Unidades Tecnológicas de Santander**



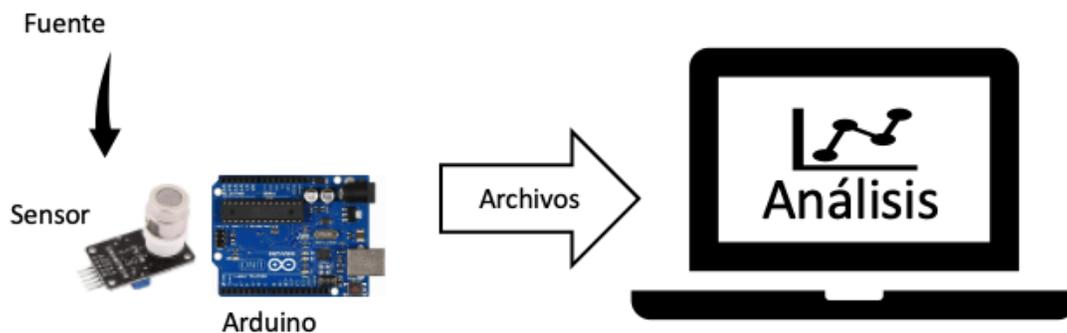
*Fuente: (autor)*

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Selección del sistema

Una vez definido el sistema por medio de la matriz de selección de Holmes y establecido el precio de los elementos que lo conforman. En la Figura 9 se visualiza el esquema en el que se basa el funcionamiento del sistema.

**Figura 9. Esquema del funcionamiento del sistema de captación de CO<sub>2</sub>**



*Fuente: (autor)*

### 5.2. Implementación del sistema

En la Figura 10 se muestra la implementación del sistema en el shut de basuras de la UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER. El cual será monitorizado durante el mes de mayo a excepción de los días domingos en diferentes horas del día; este monitoreo depende del estado en qué se encuentre el cuarto de basura durante el día, si se encuentra lleno de basura se realizará la recolección de datos.

**Figura 10. Sistema de medición de CO2 instalado en el shut de basuras**

*Fuente: (autor)*

### 5.3. Análisis de los datos

Como se ha mencionado las pruebas de campo y la recolección de datos son iniciadas el día 1 del mes de mayo del año vigente. Los datos recopilados son analizados por medio del software MATLAB donde se inician con medidas en un porcentaje de PPM muy bajo debido a que no había basura depositada en el shut de basuras de la UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER como se verifica en la Figura 11 con un valor de 396 PPM; es por esto que se toma la

decisión de continuar recolectando datos cuando el cuarto de basura se encuentre en su máxima capacidad de basura y poder así tener valores reales de esta situación.

**Figura 11. Valores obtenidos con el shut de basuras vacío**

```

13 Estudiante:
14 Leider Rubiano
15 C
16 Calibrando sensor...
17
18 sensor Calibrado
19 I
20 Inicia trasmision
21 CO2 valor; 396;PPM
22 CO2 valor; 399;PPM
23 CO2 valor; 399;PPM
24 CO2 valor; 399;PPM
25 CO2 valor; 396;PPM
26 CO2 valor; 399;PPM
27 CO2 valor; 396;PPM
28 CO2 valor; 399;PPM
29 CO2 valor; 399;PPM
30 CO2 valor; 399;PPM

```

*Fuente: (autor)*

Por lo anterior se toman datos con el cuarto de basura lleno, con el fin de visualizar la diferencia entre estos casos; para el caso del shut lleno de basura los valores recopilados indican un incremento en el valor de las PPM del CO<sub>2</sub> con una diferencia de 20, ya que se registran valores máximos de 416 PPM como se evidencia en la Figura 12.

**Figura 12. Valore máximos con el shut lleno de basura.**

Linea	CO2 valor; PPM
435	CO2 valor; 416; PPM
436	CO2 valor; 416; PPM
437	CO2 valor; 412; PPM
438	CO2 valor; 416; PPM
439	CO2 valor; 412; PPM
440	CO2 valor; 412; PPM
441	CO2 valor; 412; PPM
442	CO2 valor; 412; PPM
443	CO2 valor; 416; PPM
444	CO2 valor; 412; PPM
445	CO2 valor; 416; PPM
446	CO2 valor; 416; PPM
447	CO2 valor; 416; PPM
448	CO2 valor; 412; PPM
449	CO2 valor; 416; PPM
450	CO2 valor; 412; PPM
451	CO2 valor; 412; PPM
452	CO2 valor; 412; PPM

*Fuente: (autor)*

La concentración de CO<sub>2</sub> registrada en los datos recopilados al realizar el monitoreo en el shut de basuras se puede deducir una variación mínima, por lo que se podría hablar de un valor constante en el monitoreo del CO<sub>2</sub>, variando desde 412 a 416 PPM durante el periodo de prueba.

## 6. CONCLUSIONES

La conservación de la energía y la reducción de emisiones seguirán siendo un problema urgente a resolver en el futuro. Por lo tanto la concientización por el medio ambiente donde se vive es una prioridad en la sociedad actual. Hoy en día se hace necesario de sistemas de desarrollo que, monitoricen la calidad del aire con el fin de establecer un diagnóstico en cuanto al nivel de contaminación que puedan presentar diferentes instituciones académicas, empresas, edificios residenciales y demás; ya sea por sus desechos sólidos o por cualquier otro tipo de contaminante. Por lo tanto, en este trabajo se implementó en el shut de basuras de la UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER un sistema de monitoreo de CO<sub>2</sub> donde se concluye lo siguiente:

De la información recopilada se puede observar que existe una gran tendencia por los diferentes métodos de monitoreo. Según la matriz de Holmes se logró definir el dispositivo adecuado para realizar el sistema de monitoreo requerido para el desarrollo del proyecto; el sensor MG-811 es seleccionado como la mejor alternativa debido a su bajo costo en comparación de los demás dispositivos y por su alta sensibilidad al CO<sub>2</sub> la cual es la variable de interés. Además es un sensor utilizados para controlar la calidad del aire y para monitorizar el aire desde la puerta.

El Arduino UNO permite el exitoso procesamiento de los datos recopilada por el sensor MG-811, lo que logró una eficiente recolección de información en el equipo de cómputo siendo óptimo con el monitoreo y la transmisión de datos necesarios para la investigación.

Del sistema implementado se puede decir que es posible implementar sistemas confiables de monitoreo para la variable de CO<sub>2</sub> utilizando herramientas técnicas de bajo costo y altamente accesibles basadas en conceptos de software y hardware libre, donde se exploran aplicaciones académicas e industriales y se

puede generar información de manera sencilla y en tiempo real, aportando de manera positiva al mejora de la situación ambiental en cada región.

Los datos demuestran claramente la diferencia entre el monitoreo del shut cuando se encuentra sin basura y cuando se encuentre con su capacidad al máximo; sin embargo, aunque 20 PPM no parezca una gran diferencia, este valor hace que la concentración de CO<sub>2</sub> aumente y produzca daños en la salud de las personas.

Existen numerosas normativas ambientales a nivel mundial, continental, nacional y regional, pero se evidencia falta de información sobre medidas de aseguramiento y acciones de control para su cumplimiento en el sector académico e industrial. Es por esto que se considera necesario dejar esto más claro para el público y las organizaciones que tienen un impacto significativo en la naturaleza.

## 7. RECOMENDACIONES

Se recomienda un proyecto que desarrolle un sistema donde se puedan monitorizar diferentes gases contaminantes dentro del Shut de basuras de la UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER y de este modo encontrar una solución a este problema.

Asimismo, se recomienda seleccionar y clasificar la basura para determinar cuáles son los puntos más elevados dentro del shut en la emanación de CO<sub>2</sub> y poder establecer las distancias que se deben tener en cuenta para no afectar ni la salud de los empleados encargados de esta zona ni la transmisión de información por procesos handoff.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldieri, L., Carlucci, F., Vinci, C. P., & Yigitcanlar, T. (2019). Environmental innovation, knowledge spillovers and policy implications: A systematic review of the economic effects literature. *Journal of Cleaner Production*, 239, 118051. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118051>
- Alonso, A., Moral-Vico, J., Abo Markeb, A., Busquets-Fité, M., Komilis, D., Puntos, V., Sánchez, A., & Font, X. (2017). Critical review of existing nanomaterial adsorbents to capture carbon dioxide and methane. *Science of The Total Environment*, 595, 51-62. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.229>
- Anderson, T. R., Hawkins, E., & Jones, P. D. (2016). CO<sub>2</sub>, the greenhouse effect and global warming: From the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models. *Endeavour*, 40(3), 178-187. <https://doi.org/10.1016/j.endeavour.2016.07.002>
- Bohorquez, M. C., Chapa, J. L., López, D., Manrique, M. A., Miranda, C., & Caballero, R. T. (2021). Use of filters and special materials in classrooms, based on the assessment of the presence of CO<sub>2</sub> as an indicator of Covid reduction and control in closed spaces = Uso de filtros y materiales especiales en aulas, basado en la evaluación de presencia de CO<sub>2</sub> como indicador de reducción y control de Covid en espacios cerrados. *Building & Management*, 5(3), 51-62. <https://doi.org/10.20868/bma.2021.3.4714>

Burbano, C. (2022). *Sistema de monitoreo de gases de efecto invernadero de económica implementación* [Tesis de grado]. Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium.

Chen, G., Ozelkan, E., Singh, K. K., Zhou, J., Brown, M. R., & Meentemeyer, R. K. (2017). Uncertainties in mapping forest carbon in urban ecosystems. *Journal of Environmental Management*, 187, 229-238. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.062>

Chen, J., Shen, L., Shi, Q., Hong, J., & Ochoa, J. J. (2019). The effect of production structure on the total CO2 emissions intensity in the Chinese construction industry. *Journal of Cleaner Production*, 213, 1087-1095. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.203>

Chen, Y., Guerschman, J. P., Cheng, Z., & Guo, L. (2019). Remote sensing for vegetation monitoring in carbon capture storage regions: A review. *Applied Energy*, 240, 312-326. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.02.027>

Crowell, S. M. R., Randolph Kawa, S., Browell, E. V., Hammerling, D. M., Moore, B., Schaefer, K., & Doney, S. C. (2018). On the Ability of Space-Based Passive and Active Remote Sensing Observations of CO2 to Detect Flux Perturbations to the Carbon Cycle. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(2), 1460-1477. <https://doi.org/10.1002/2017JD027836>

Duque, J. (2017). *Sobre los efectos de la Contaminación Atmosférica en la Salud (Basado en el texto Clean the air for children, UNICEF, 2016)*.

<https://www.eafit.edu.co/minisitios/calidad-aire/Documents/contaminacion-efectos-salud.pdf>

Freifeld, B. M., Trautz, R. C., Kharaka, Y. K., Phelps, T. J., Myer, L. R., Hovorka, S. D., & Collins, D. J. (2019). The U-tube: A novel system for acquiring borehole fluid samples from a deep geologic CO<sub>2</sub> sequestration experiment. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 110(B10).  
<https://doi.org/10.1029/2005JB003735>

Gómez, A. (2022). *Matriz de priorización: Herramienta de toma de decisiones*. Asesor de calidad. [http://asesordecalidad.blogspot.com/2018/02/matriz-de-priorizacion-herramienta-de.html#.Yh\\_YUOjMK5d](http://asesordecalidad.blogspot.com/2018/02/matriz-de-priorizacion-herramienta-de.html#.Yh_YUOjMK5d)

González, I. A. W., Correa, G. R., Azamar, R. E. V., & Urbina, L. I. G. (2019). *CALIDAD DE AIRE INTERIOR EN AMBIENTES CERRADOS, CASO DE ESTUDIO: INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL*. 10.

Huamán, V. Q. (2015). Descripción de los efectos de los óxidos de carbono (CO<sub>2</sub> y CO) en ambientes interiores y exteriores. *Revista de Investigación Universitaria*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.17162/riu.v4i1.605>

IDEAM, CANCELLERÍA, DNP, MADS, & PNUD. (2016). *Inventario nacional y departamental de gases efecto invernadero Colombia* (Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.).

Jaramillo, J. D., & Montoya, A. C. (2017). *ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE UN SISTEMA DE AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO, PARA SUPLIR*

*EL CONSUMO BÁSICO DE SUBSISTENCIA ELÉCTRICO, EN UNA VIVIENDA TÍPICA FAMILIAR* [Tesis de grado]. INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO.

Llumiquina, J., Ubidia, M. A., & Rodas, A. (2007). *CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE CALIDAD DE AIRE EN UN AMBIENTE CERRADO* [Tesis de grado]. Escuela Politécnica Nacional.

Martin, J., & Castañeda, J. (2021). Estimación de metano, dióxido de carbono y compuestos orgánicos en el relleno de Doña Juana en Bogotá, Colombia. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(2), 307-320. <https://doi.org/10.15359/rca.55-2.16>

Mayer, B., Humez, P., Becker, V., Dalkhaa, C., Rock, L., Myrntinen, A., & Barth, J. A. C. (2019). Assessing the usefulness of the isotopic composition of CO<sub>2</sub> for leakage monitoring at CO<sub>2</sub> storage sites: A review. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 37, 46-60. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2015.02.021>

Meza, M. M. C., & Zavaleta, N. M. (2020). *Evaluación de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en interiores y su influencia en la salud de los estudiantes de la Universidad Peruana Unión* [Tesis de grado]. Universidad Peruana Unión.

Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. (2019). *NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior*.

[https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp\\_549.pdf/e9364a82-6f1b-4590-90e0-1d08b22e1074](https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp_549.pdf/e9364a82-6f1b-4590-90e0-1d08b22e1074)

PNUMA. (2021). *Emissions Gap Report 2021*. UNEP - UN Environment Programme. <http://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2021>

Prometec. (2022). Sensor CO2 MGS811. *Tienda Prometec*.  
<https://store.prometec.net/producto/sensor-co2-mgs811/>

Ran, Y., & Li, X. (2019). TanSat: A new star in global carbon monitoring from China. *Science Bulletin*, 64(5), 284-285.  
<https://doi.org/10.1016/j.scib.2019.01.019>

Rojas, M., Sheinbaum, C., & Orta, M. (2001). *Gases de invernadero generados de residuos sólidos*.  
[https://www.researchgate.net/publication/265050648\\_Gases\\_de\\_invernadero\\_generados\\_de\\_residuos\\_solidos](https://www.researchgate.net/publication/265050648_Gases_de_invernadero_generados_de_residuos_solidos)

Salas, J., Stix, J., & de Moor, J. M. (2022). A new Multi-GAS system for continuous monitoring of CO<sub>2</sub>/ CH<sub>4</sub> ratios. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 426, 107533. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107533>

Salazar, O. (2017). *Sistema de telemetría que monitorea el contaminante monóxido de carbono en punto más concurridos del distrito de Huancayo para alertar su incremento*. (p. 156) [Tesis de grado]. Universidad Alas Peruanas.

- Santos, F. M., Gonçalves, A. L., & Pires, J. C. M. (2022). Chapter 1—Negative emission technologies. En J. C. Magalhães Pires & A. L. D. Cunha Gonçalves (Eds.), *Bioenergy with Carbon Capture and Storage* (pp. 1-13). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816229-3.00001-6>
- US Department of Commerce, N. (2020). *Global Monitoring Laboratory—Carbon Cycle Greenhouse Gases*. <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/mlo.html>
- UTS. (2022). *Caracterización de los usuarios*.
- Yigitcanlar, T., Kamruzzaman, Md., Foth, M., Sabatini-Marques, J., da Costa, E., & Ioppolo, G. (2019). ¿Can cities become smart without being sustainable? A systematic review of the literature. *Sustainable Cities and Society*, 45, 348-365. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.11.033>
- Zimmerman, J. W., Li, R. A. L., Blakley, C. S., Frish, M. B., Laderer, M. C., & Wainner, R. T. (2018). Tunable Diode Laser Absorption Spectrometers for CO<sub>2</sub> Wellhead and Pipeline Leakage Monitoring: Experiences from Prototype Testing at the Illinois Basin – Decatur Project, USA. *Energy Procedia*, 63, 4083-4094. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.440>



F-DC-125

## DOCENCIA

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO  
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,  
EMPREDIMIENTO Y SEMINARIO

PÁGINA 61

DE 61

VERSIÓN: 1.0