



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

## INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Ingeniero en  
Electrónica e Instrumentación

Diseño e implementación de una nariz electrónica para detección de compuestos orgánicos volátiles presentes en el aliento de seres humanos, en colaboración con la Escuela de Medicina de la Universidad San Francisco de Quito.

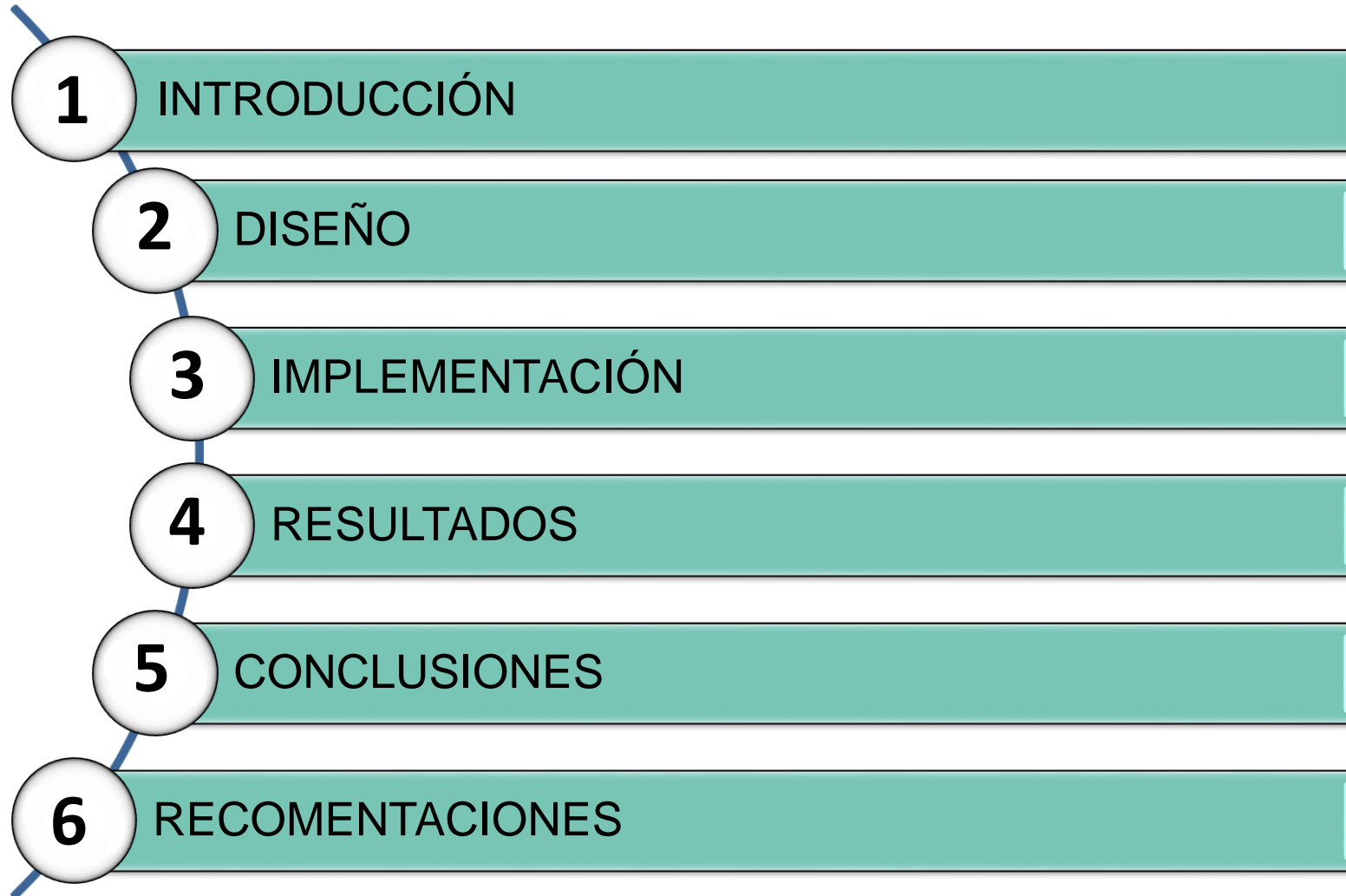
**Autores:**

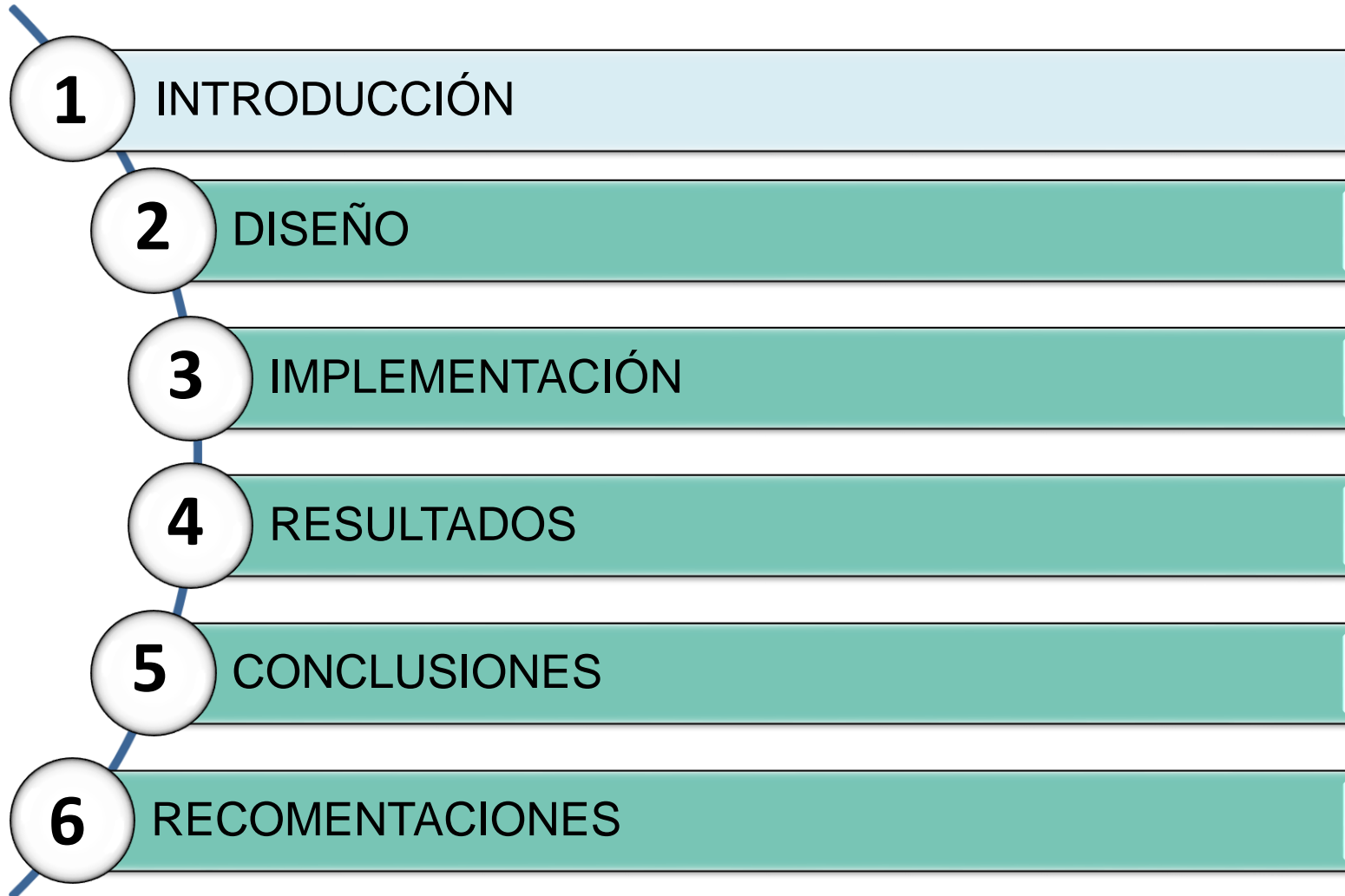
Cueva Constante Carlos Andrés

Erazo Galarza Kerly Gissella

Ing. Milton Fabricio Pérez Gutiérrez M.Sc. **Director**

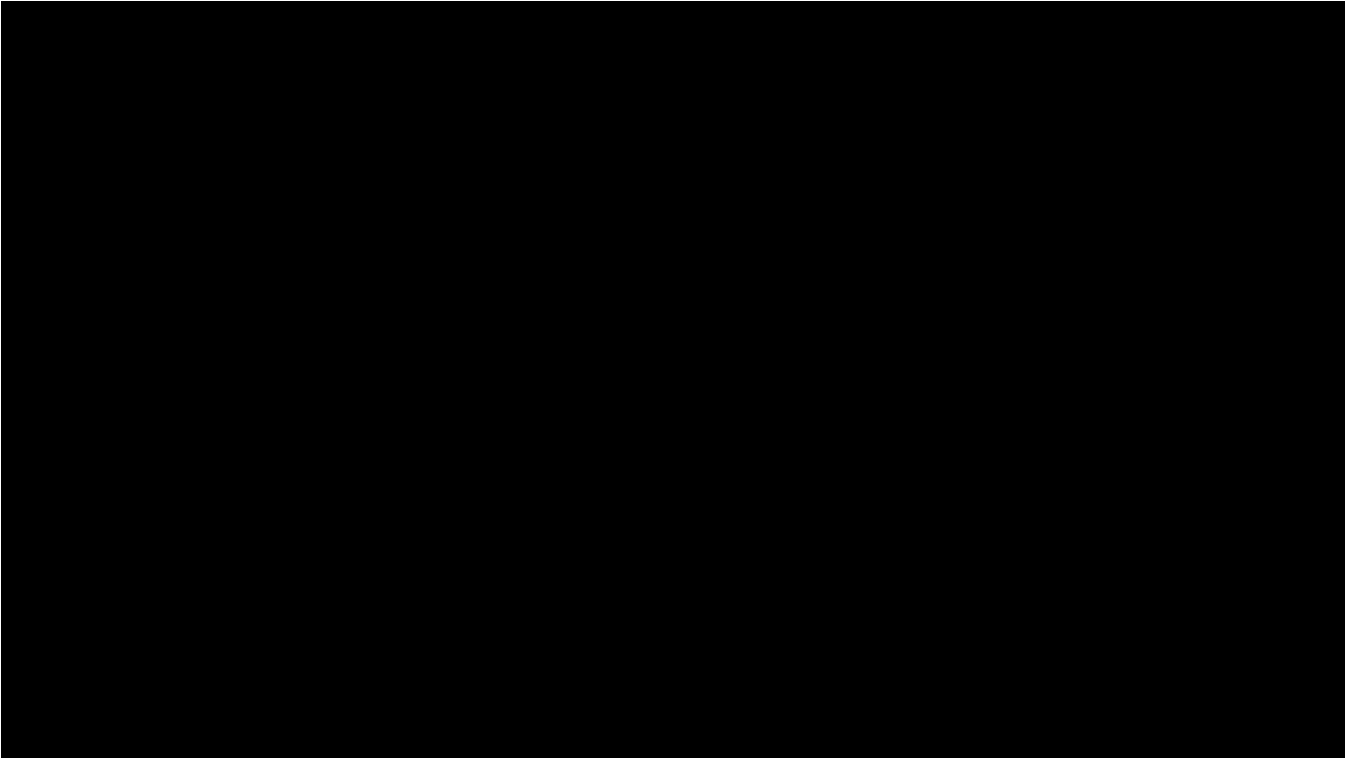
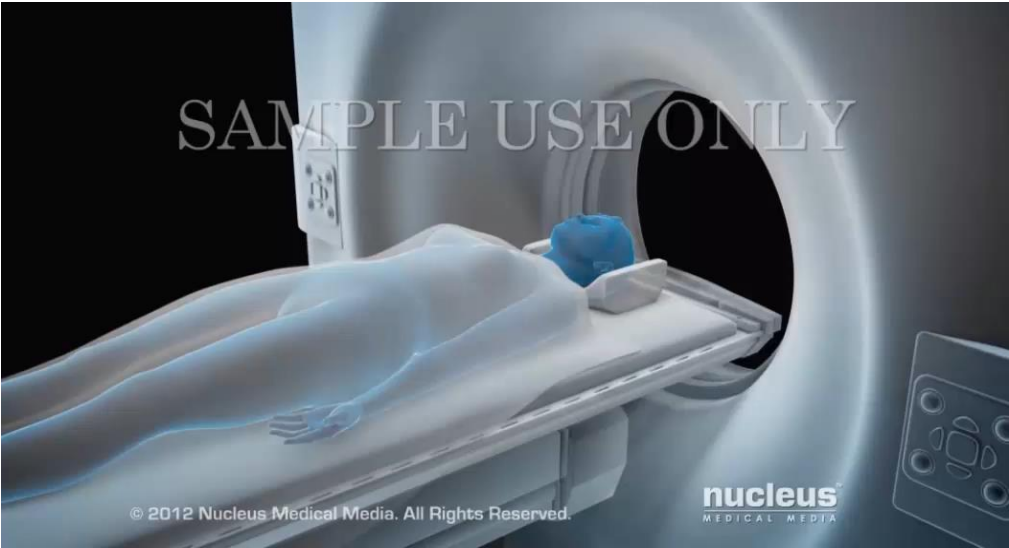






# INTRODUCCIÓN

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



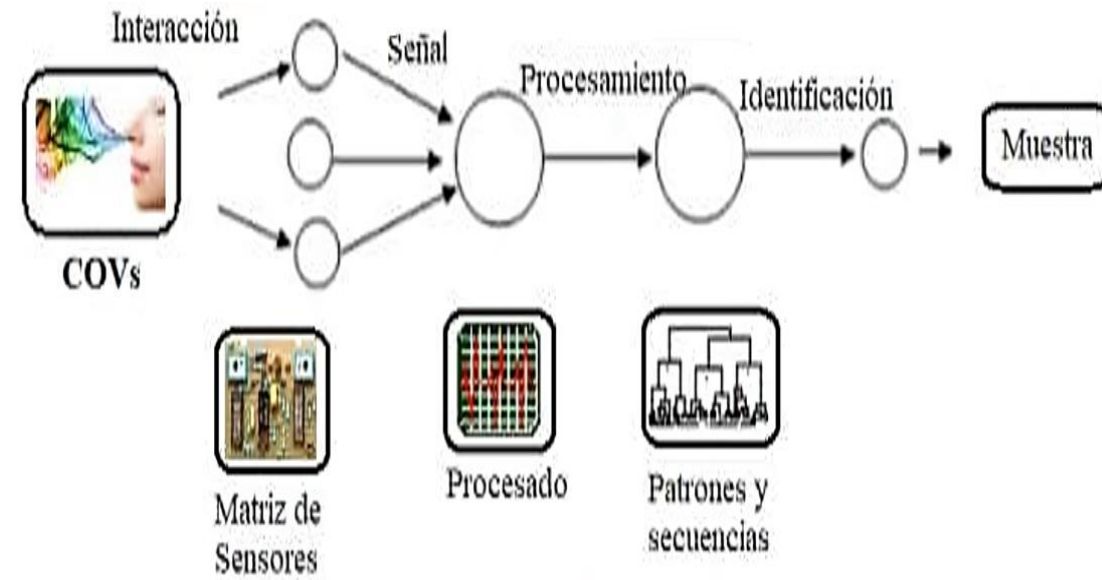
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# INTRODUCCIÓN

## ANTECEDENTES



# INTRODUCCIÓN

## OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar una nariz electrónica para detección de compuestos químicos (COVs) presentes en el aliento de seres humanos, en colaboración con la Escuela de Medicina de la Universidad San Francisco De Quito.

# INTRODUCCIÓN

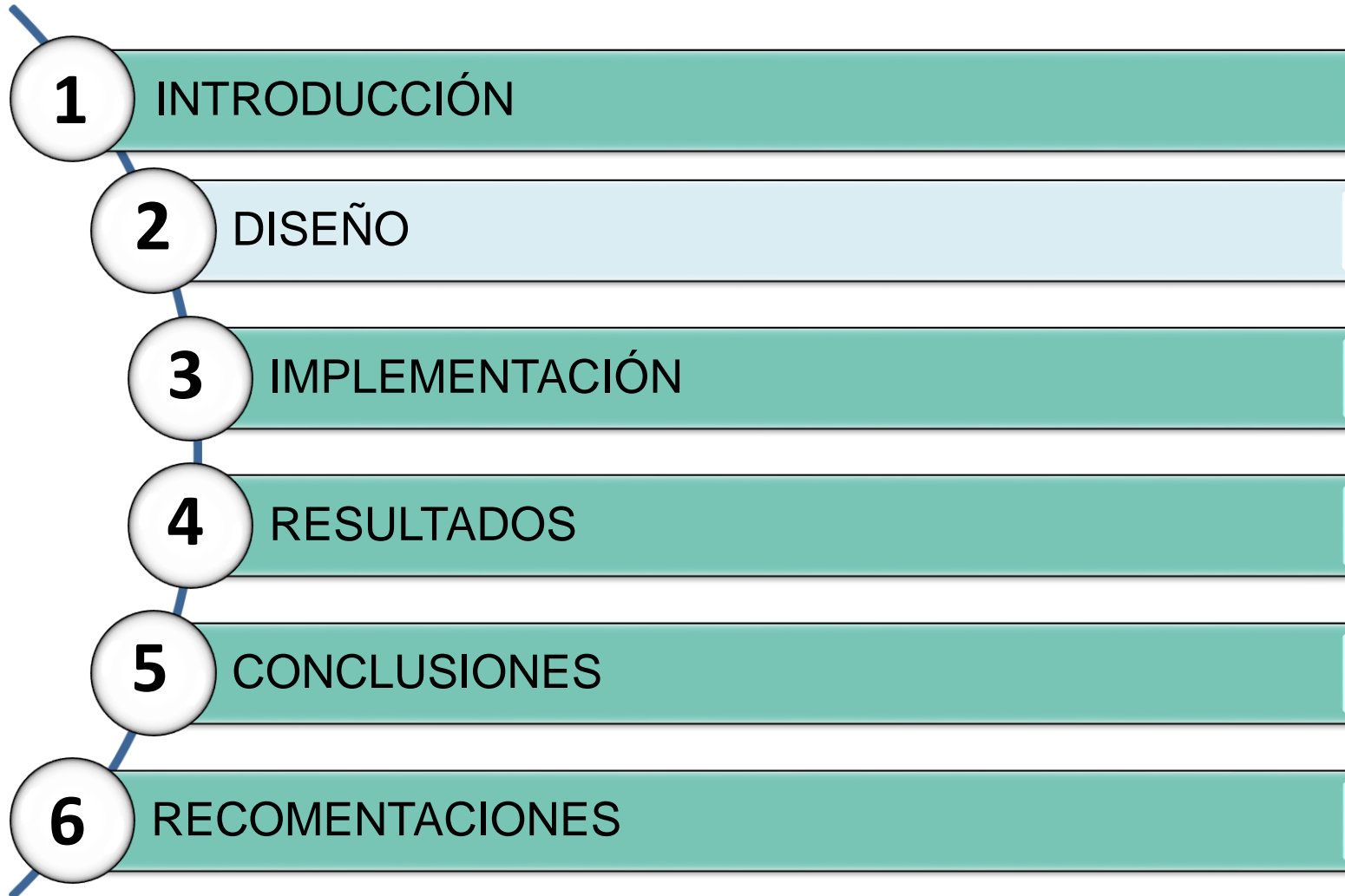
## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar sobre los sensores detectores de gases y su uso en el campo de la biomedicina.
- Diseñar e implementar un dispositivo capaz de sensar y reconocer muestras de gases a partir del aire exhalado (nariz electrónica).
- Diseñar una interfaz gráfica que permita mostrar los valores de las muestras recogidas.
- Analizar los datos a través de análisis estadísticos, generando modelos discriminatorios de patrones.
- Validar los datos obtenidos, mediante pruebas en personas con salud normal

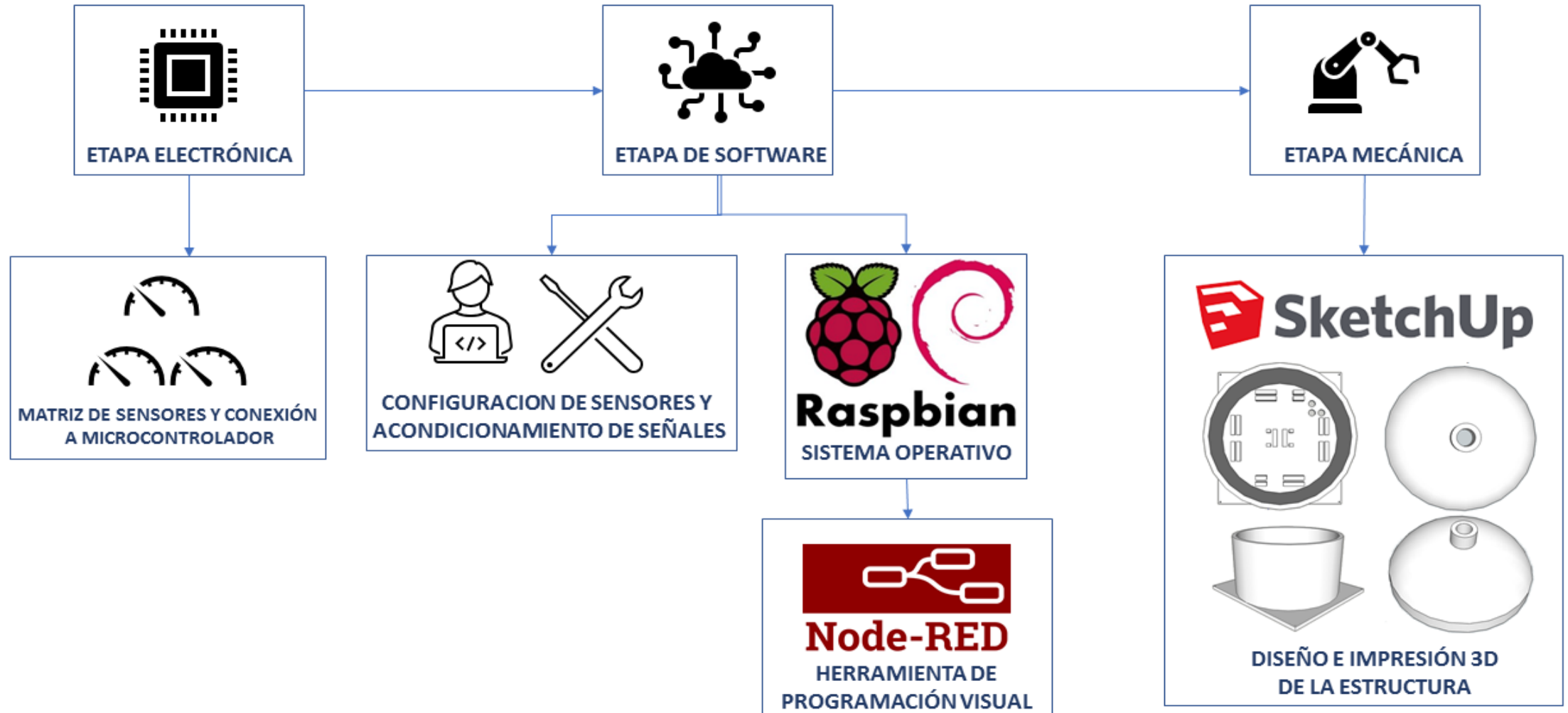


# HIPÓTESIS

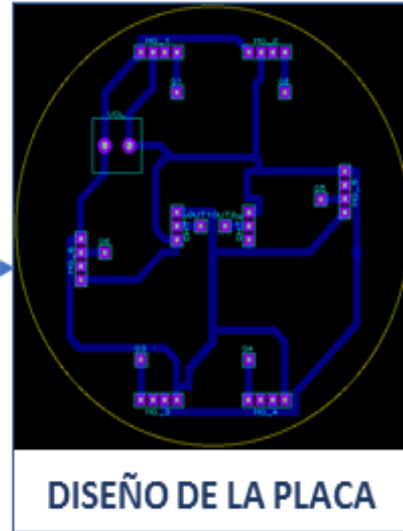
¿El sistema que compone la nariz electrónica será capaz de procesar e identificar la presencia de componentes químicos en el aire exhalado por personas consideradas con salud normal?



# DISEÑO



# ETAPA ELECTRÓNICA

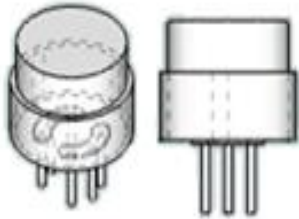


# SENSORES

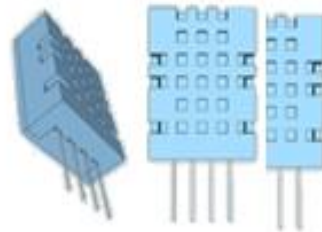
a)



b)



c)

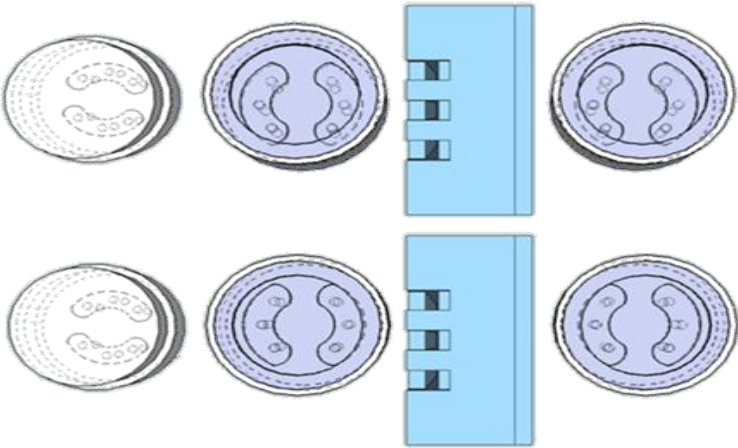


| Compuesto           | Símbolo | Tipo       |
|---------------------|---------|------------|
| Monóxido de carbono | CO      | Inorgánico |
| Dióxido de carbono  | CO2     | Orgánico   |
| Metano              | CH4     | Orgánico   |
| Amonio              | NH3     | Inorgánico |
| Ácido sulfhídrico   | H2S     | Inorgánico |
| Dihidrógeno         | H2      | Inorgánico |

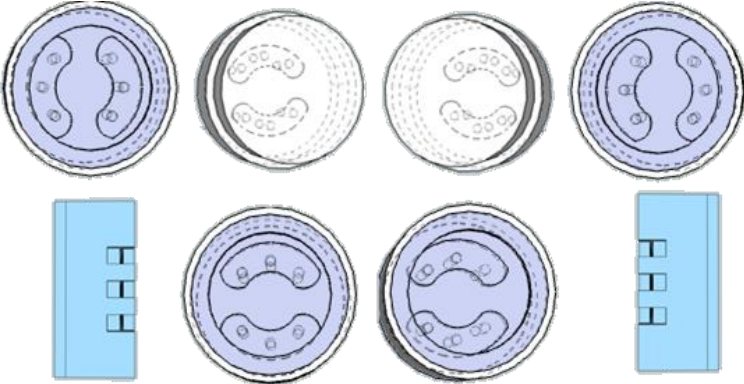


# DISTRIBUCIÓN DE LOS SENSORES

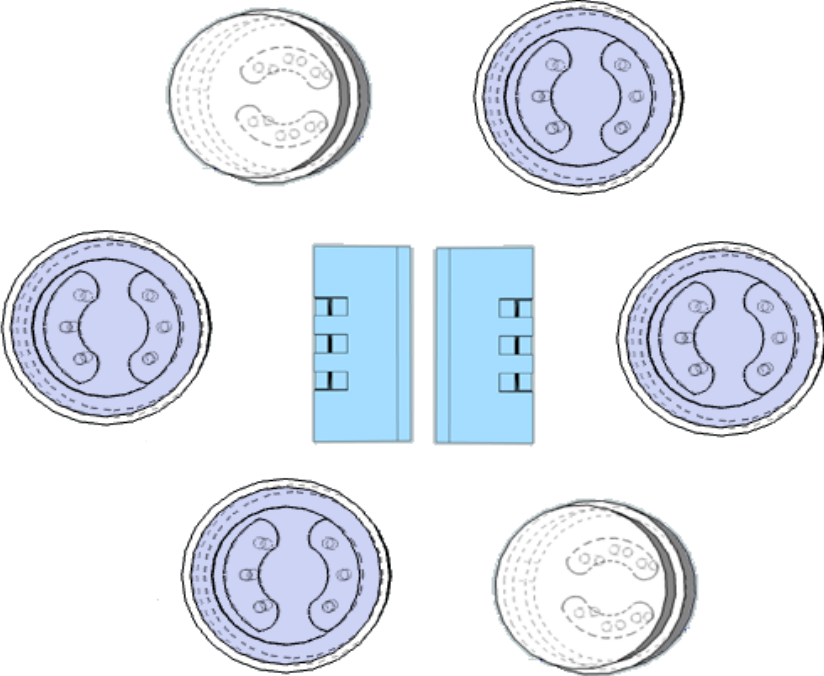
Primer diseño



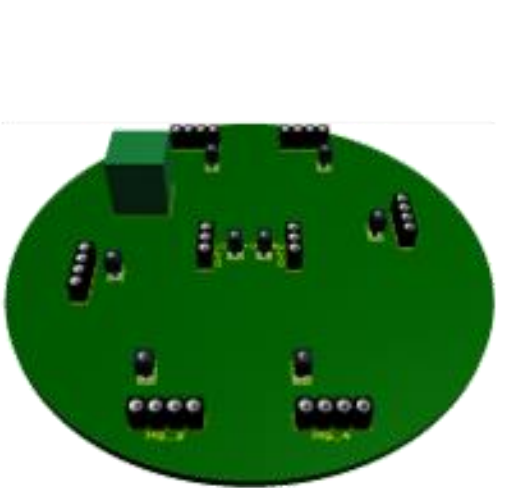
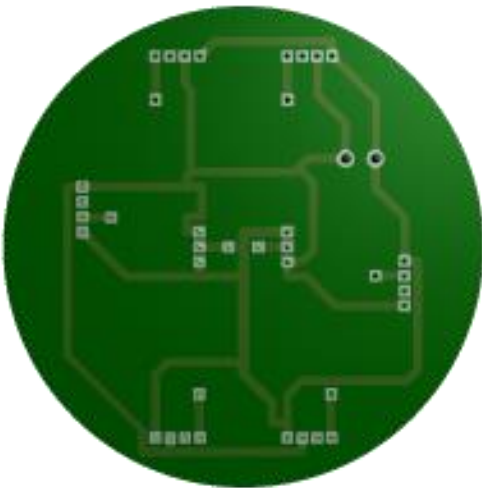
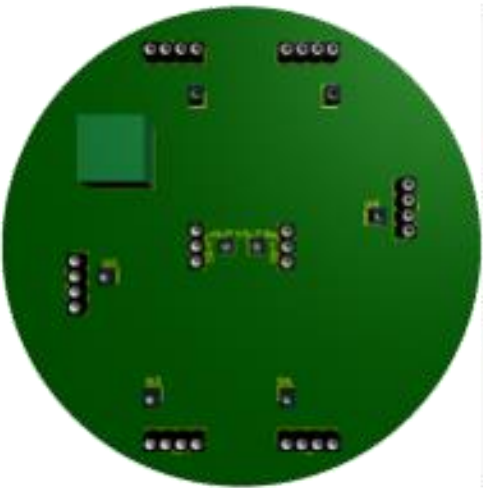
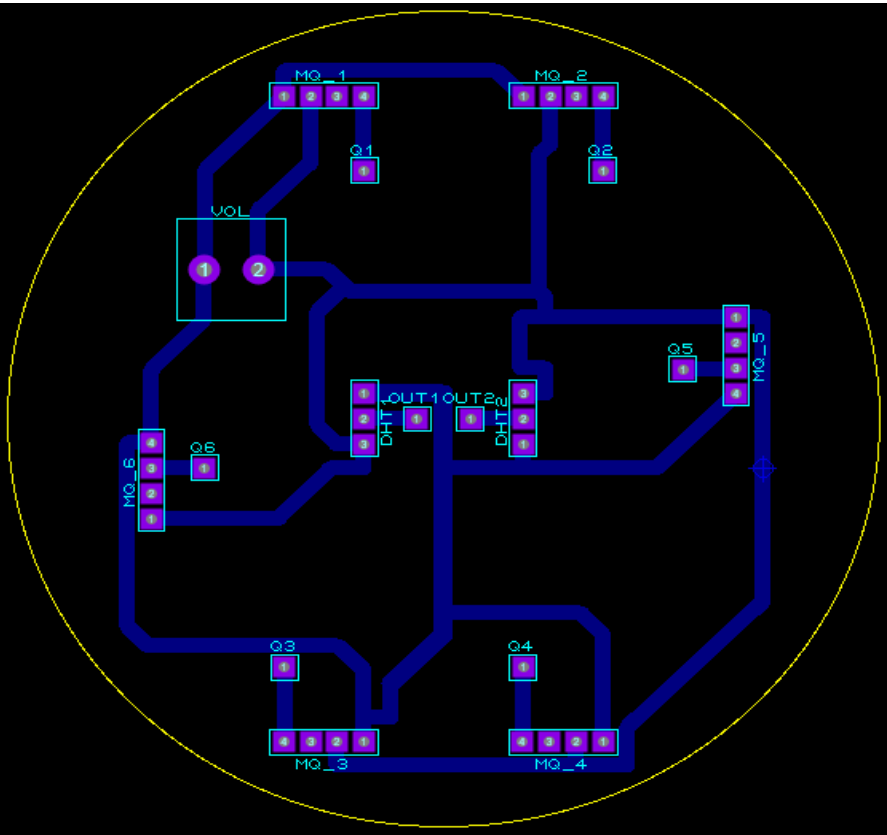
Segundo diseño



Tercer diseño

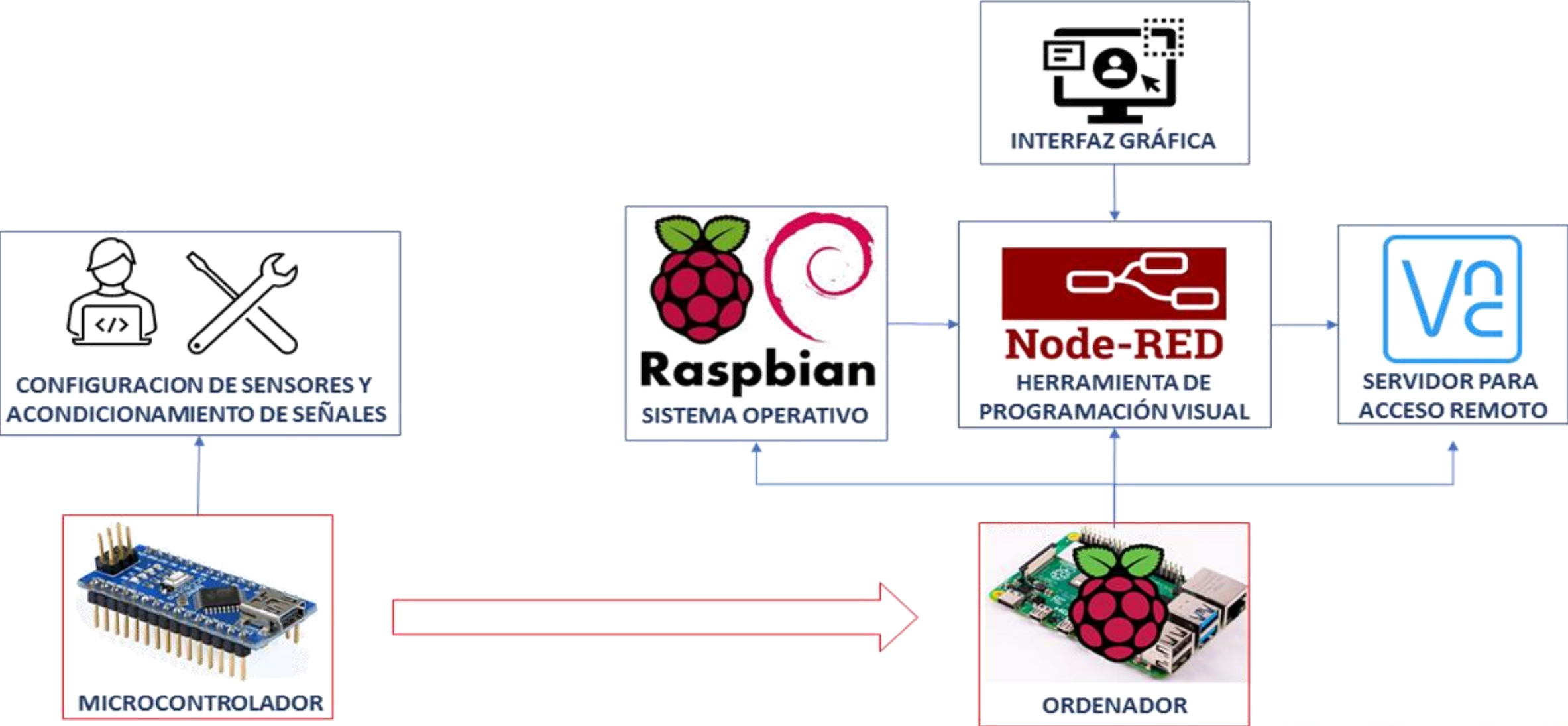


# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN



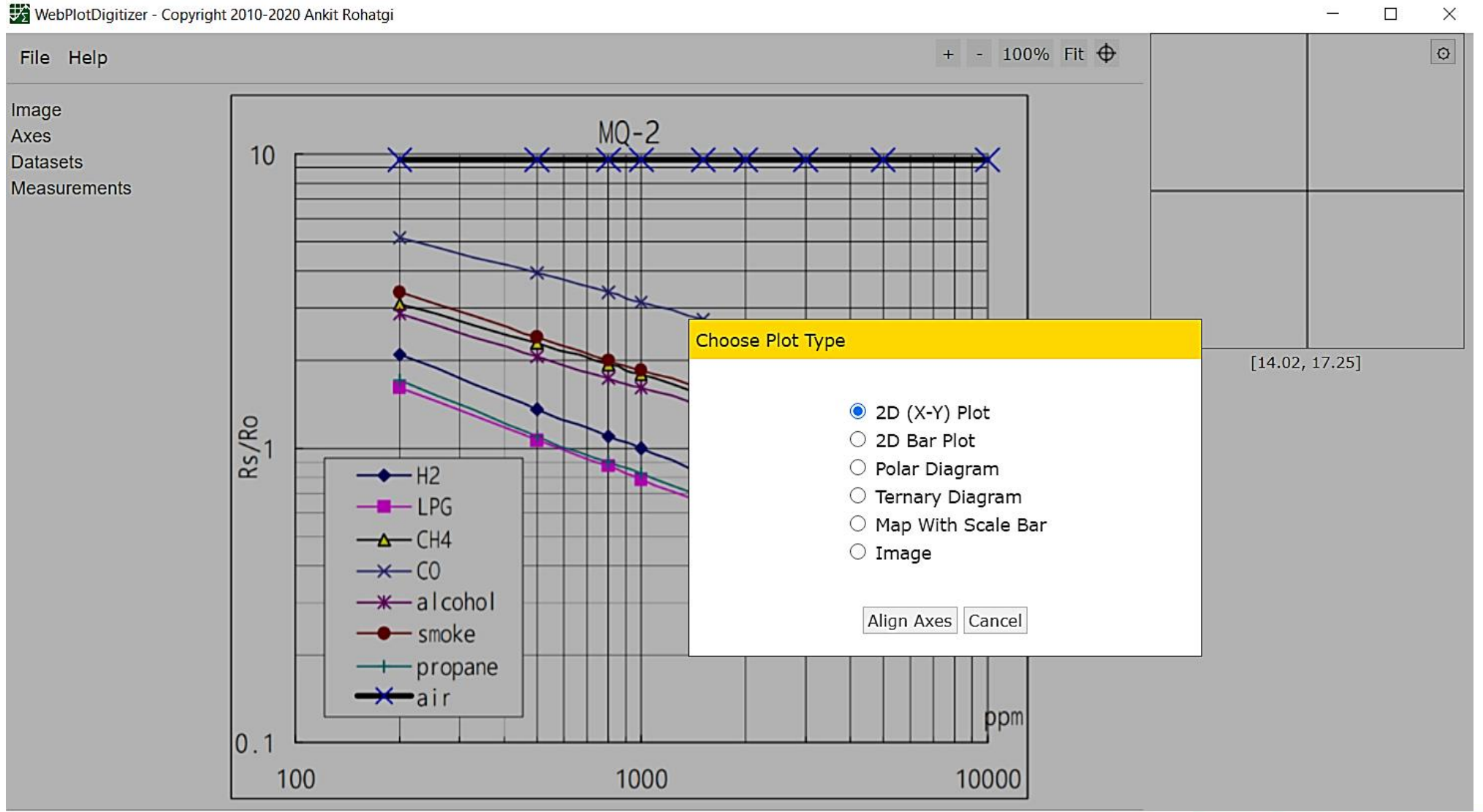
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# ETAPA DE SOFTWARE





# CONFIGURACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO



WebPlotDigitiz...

# CONFIGURACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO

Variables: X, Y

```
200,52026661264762; 1,6419193171805158
498,702708156546; 1,055490084439462
799,6090444938593; 0,8758519548438837
1000; 0,7939383499814043
1500,5794437383045; 0,6588147687110022
2021,8800900688097; 0,5741982091955568
2984,1465264156386; 0,4672072730840002
3987,671959555558; 0,40322152705264813
4987,02708156546; 0,3619390102583038
10000; 0,2592065999731564
```

Copy to Clipboard

Download .CSV

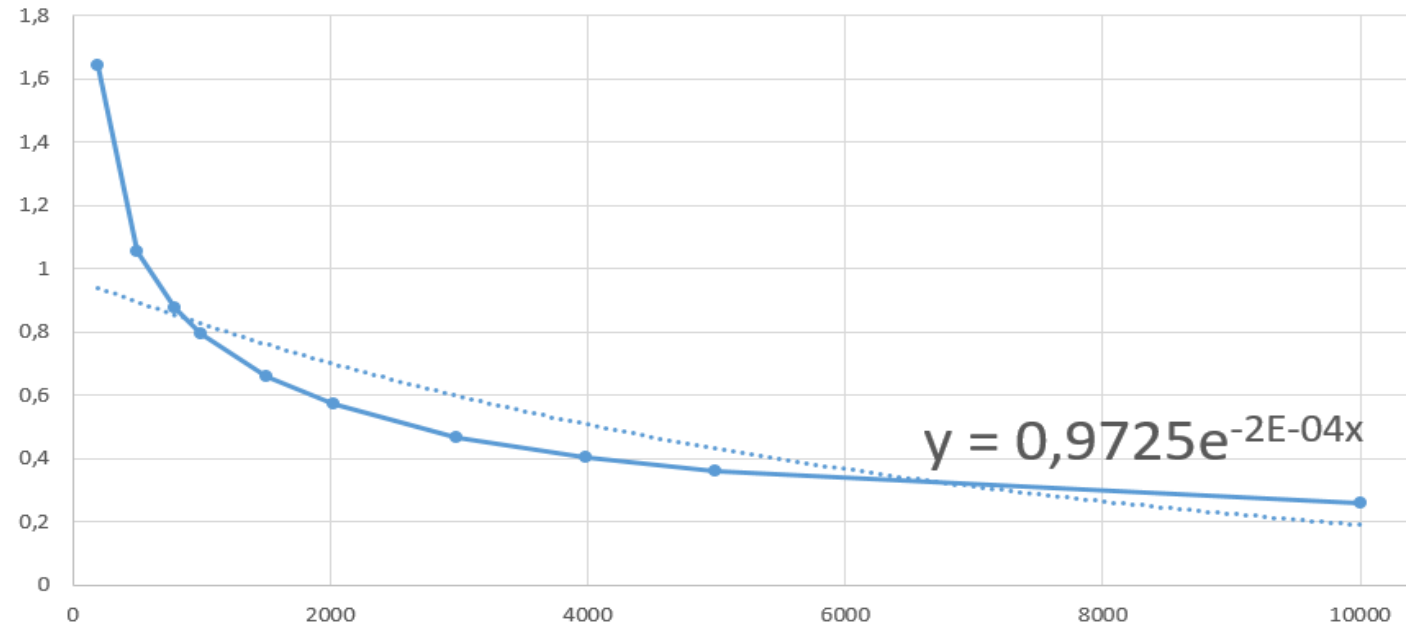
Graph in Plotly\*

Close

\*Plotly is a secure data analysis and graphing site with data sharing and access controls.

Visit <http://plot.ly> for details.

## Configuración del sensor MQ-2

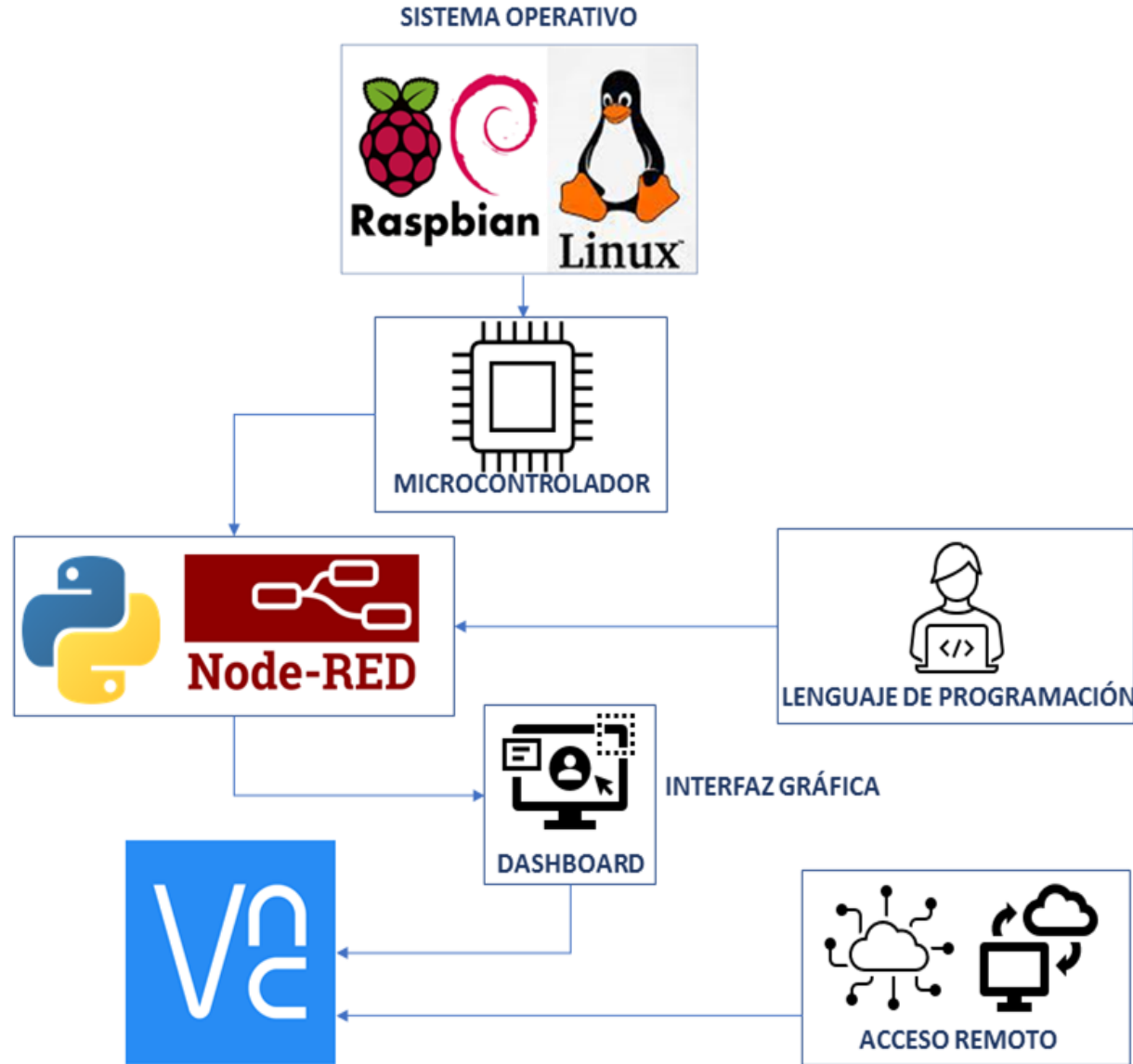


# CONFIGURACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO

```
#include <MQUnifiedsensor.h>
#define Pin5 (A0) //MQ_2
#define Pin4 (A1) //MQ_4
#define Pin3 (A2) //MQ_8
#define Pin2 (A3) //MQ_135
#define Pin1 (A4) //MQ_136
#define Pin0 (A5) //MQ_137
#define Voltage_Resolution 5
#define ADC_Bit_Resolution 10 // For arduino UNO/MEGA/NANO
MQUnifiedsensor MQ2(Board, Voltage_Resolution, ADC_Bit_Resolution, Pin0, Type);
MQUnifiedsensor MQ4(Board, Voltage_Resolution, ADC_Bit_Resolution, Pin1, Type);
MQUnifiedsensor MQ135(Board, Voltage_Resolution, ADC_Bit_Resolution, Pin2, Type);
MQUnifiedsensor MQ136(Board, Voltage_Resolution, ADC_Bit_Resolution, Pin4, Type);
MQUnifiedsensor MQ137(Board, Voltage_Resolution, ADC_Bit_Resolution, Pin5, Type);
void setup() {
  Serial.begin(9600); //Init serial port
  MQ2.setRegressionMethod(1); //_PPM = a*ratio^b
  MQ4.setRegressionMethod(1); //_PPM = a*ratio^b
  MQ135.setRegressionMethod(1); //_PPM = a*ratio^b
  MQ136.setRegressionMethod(1); //_PPM = a*ratio^b
  MQ137.setRegressionMethod(1); //_PPM = a*ratio^b
  MQ2.init();
  MQ4.init();
  MQ135.init();
  MQ136.init();
  MQ137.init();
}
```



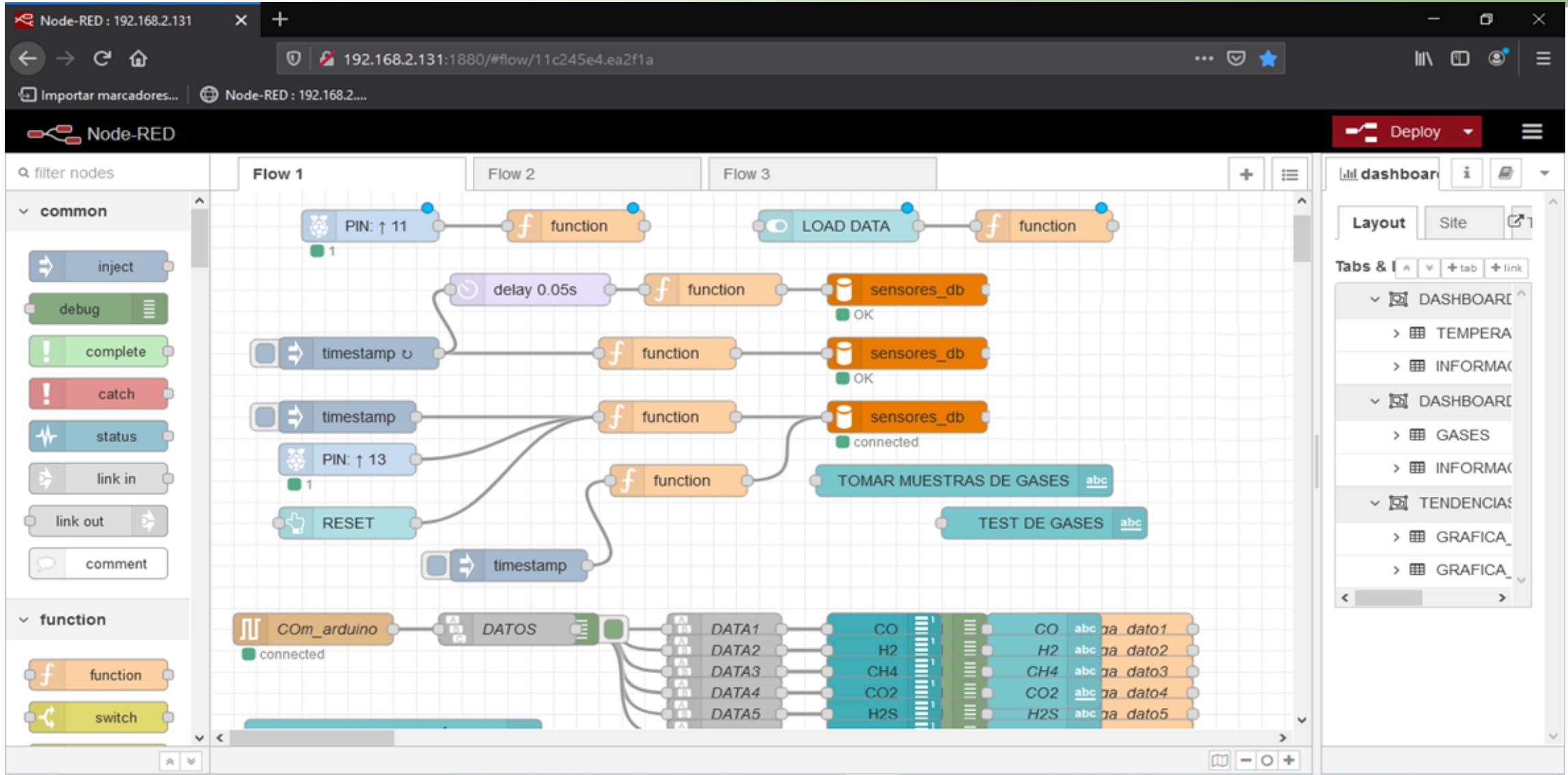
# ETAPA DE SOFTWARE



# ETAPA DE SOFTWARE

The image shows a screenshot of the VNC Viewer application window. The title bar reads "VNC Viewer" and includes standard window controls (minimize, maximize, close). The menu bar contains "Archivo", "Visualizar", and "Ayuda". Below the menu bar, the "vnc connect" logo is visible, followed by the text "by RealVNC". A text input field contains the IP address "192.168.2.131". To the right of the input field is a button labeled "Iniciar sesión..." with a user icon and a dropdown arrow. The main area of the window displays a thumbnail of a remote desktop session. Below the thumbnail, the IP address "192.168.2.131" is written in a red box. A red arrow points from this box to a larger red box containing the IP address "192.168.2.131".

# FLOW 1



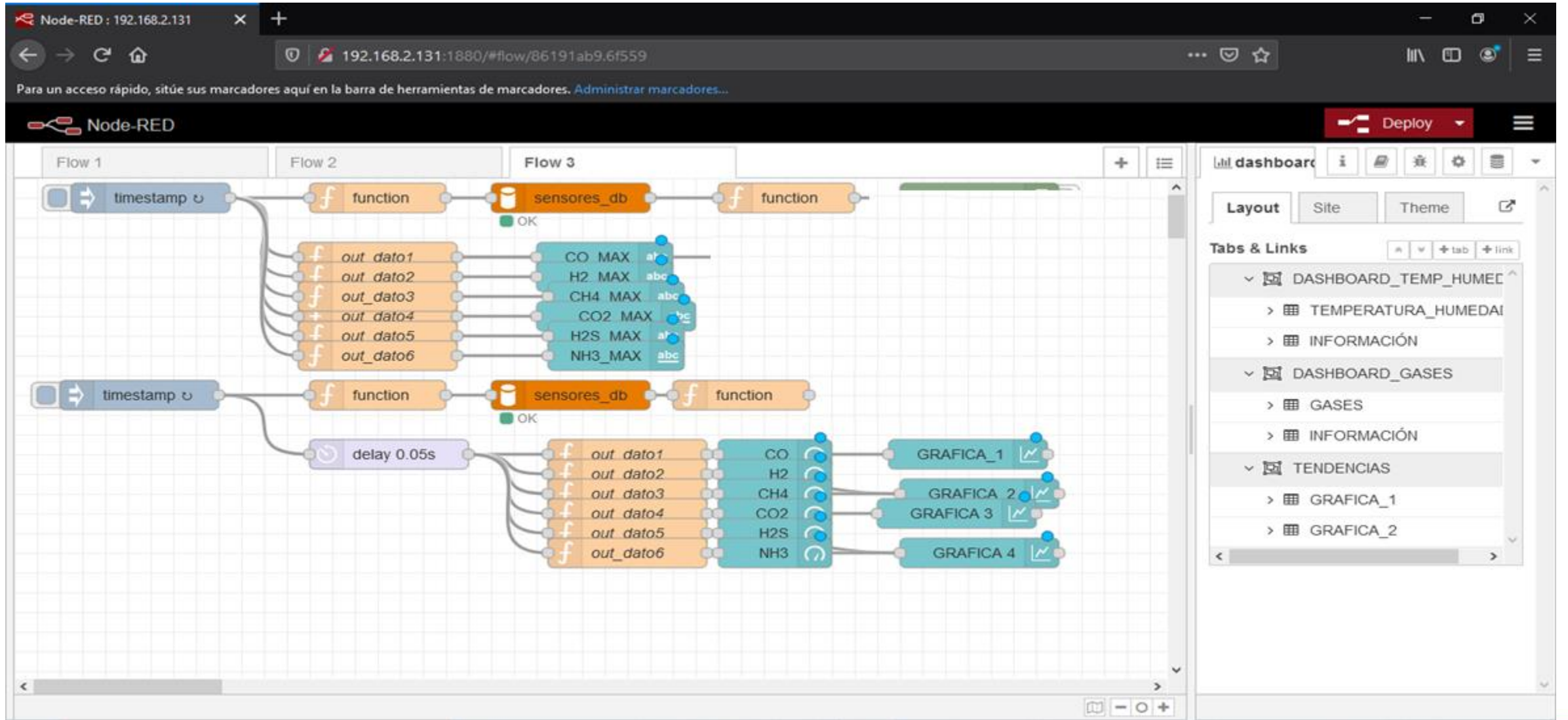
# FLOW 2

The screenshot shows the Node-RED web interface in a browser window. The address bar indicates the URL `192.168.2.131:1880/#flow/e5cad99a.91199`. The main workspace displays a flow named "Flow 2" with the following components and connections:

- Input:** A `timestamp` node.
- Sensors:** Two `DHT11` nodes, labeled `DHT11_1` and `DHT11_2`.
- Function Nodes:** Two function nodes, `temp1/humd1` and `temp2/humd2`, each receiving data from one of the DHT11 sensors.
- Output/Display:** Two `Temperatura` and `Humedad` nodes (e.g., `Temperatura 1`, `Humedad 1`) connected to the function nodes. These are followed by `0 - 100` nodes, likely representing a scale or range.
- Media Nodes:** A `media` node connected to the `timestamp` node, and two `clock` nodes connected to the `media` node.

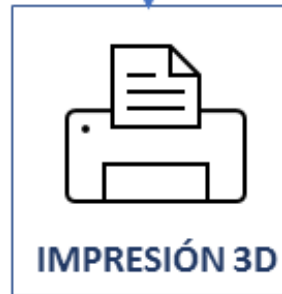
The left sidebar shows the "common" and "function" node categories. The right sidebar shows the "dashboard" configuration panel, including "Layout", "Site", "Theme", and "Tabs & Links" sections.

# FLOW 3





# ETAPA MECÁNICA



# TIPOS DE LA MASCARILLA

MASCARILLA DE OXÍGENO



MASCARILLA TIPO RESERVORIO

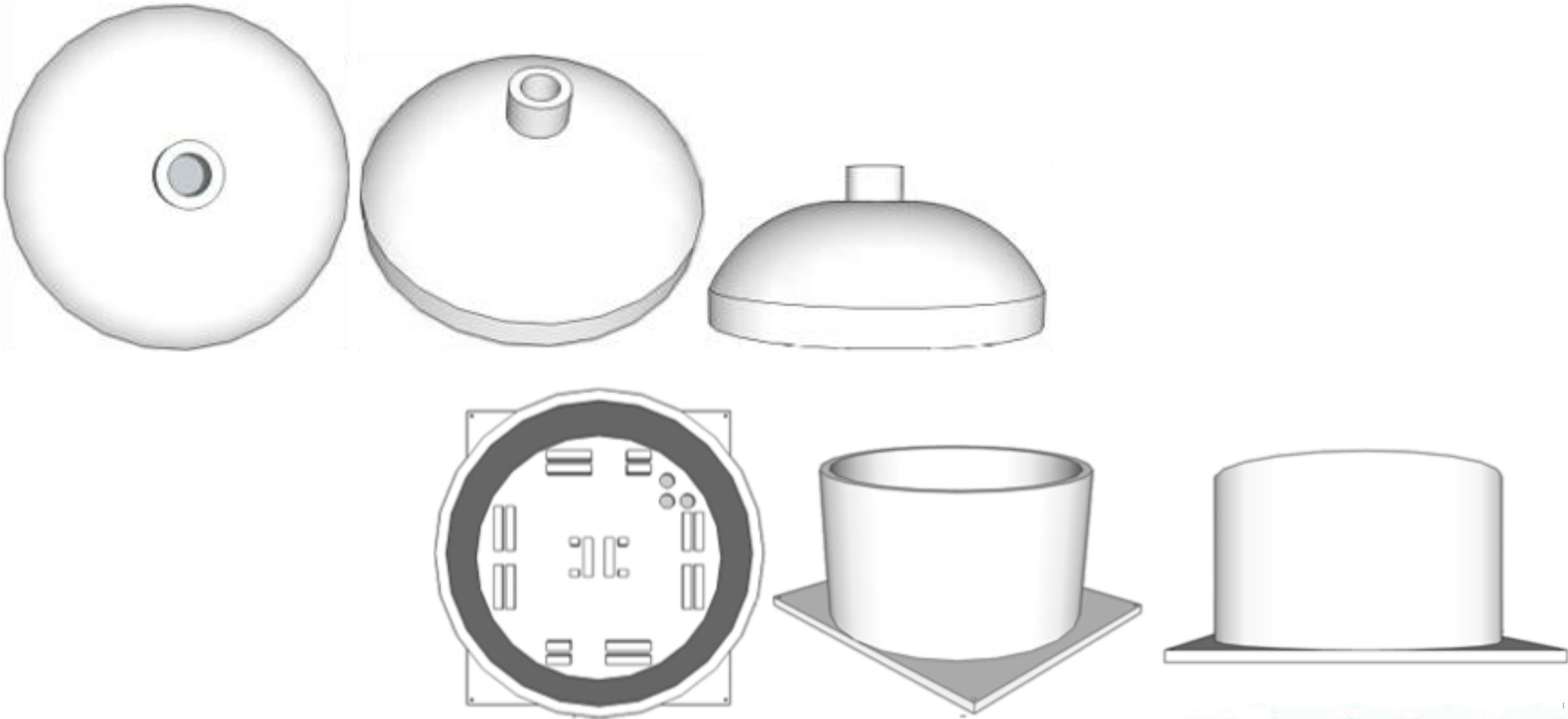


MASCARILLA TIPO VENTURI



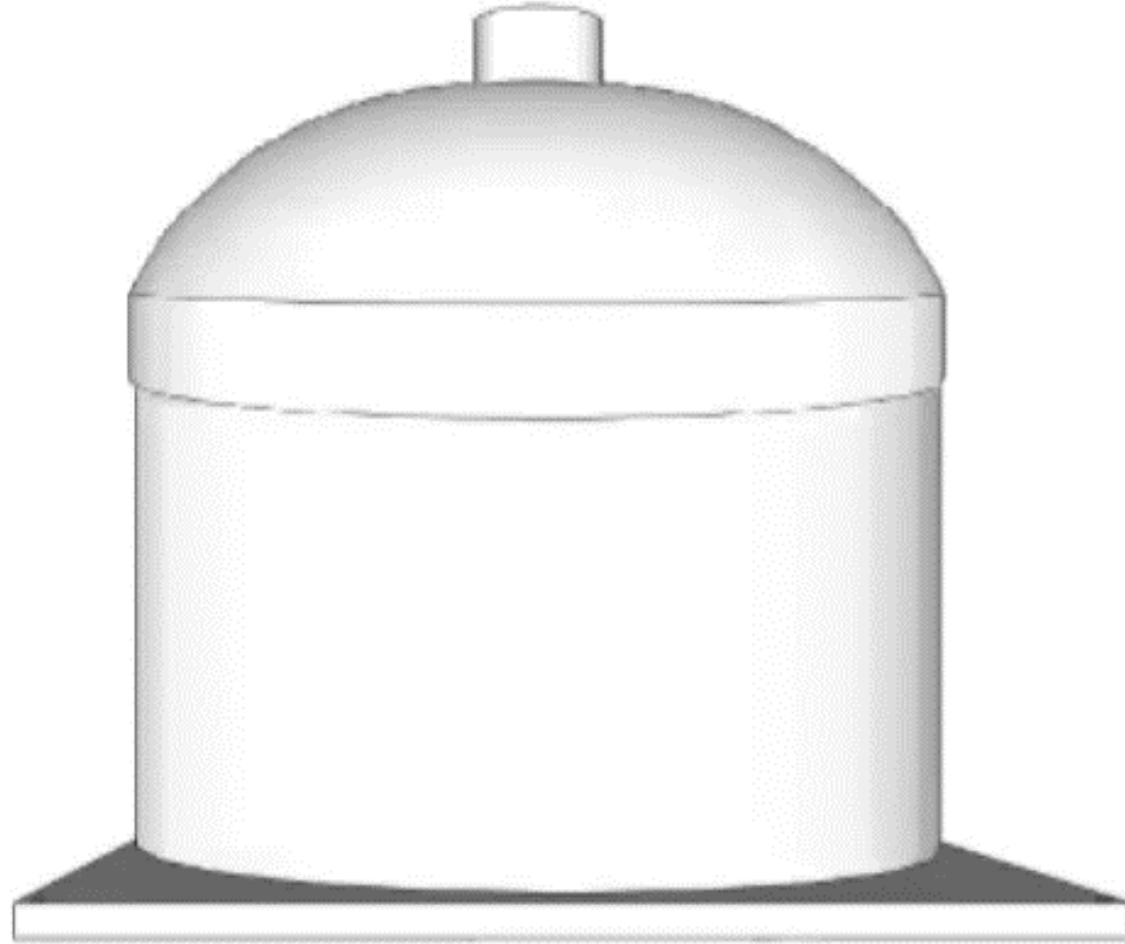
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

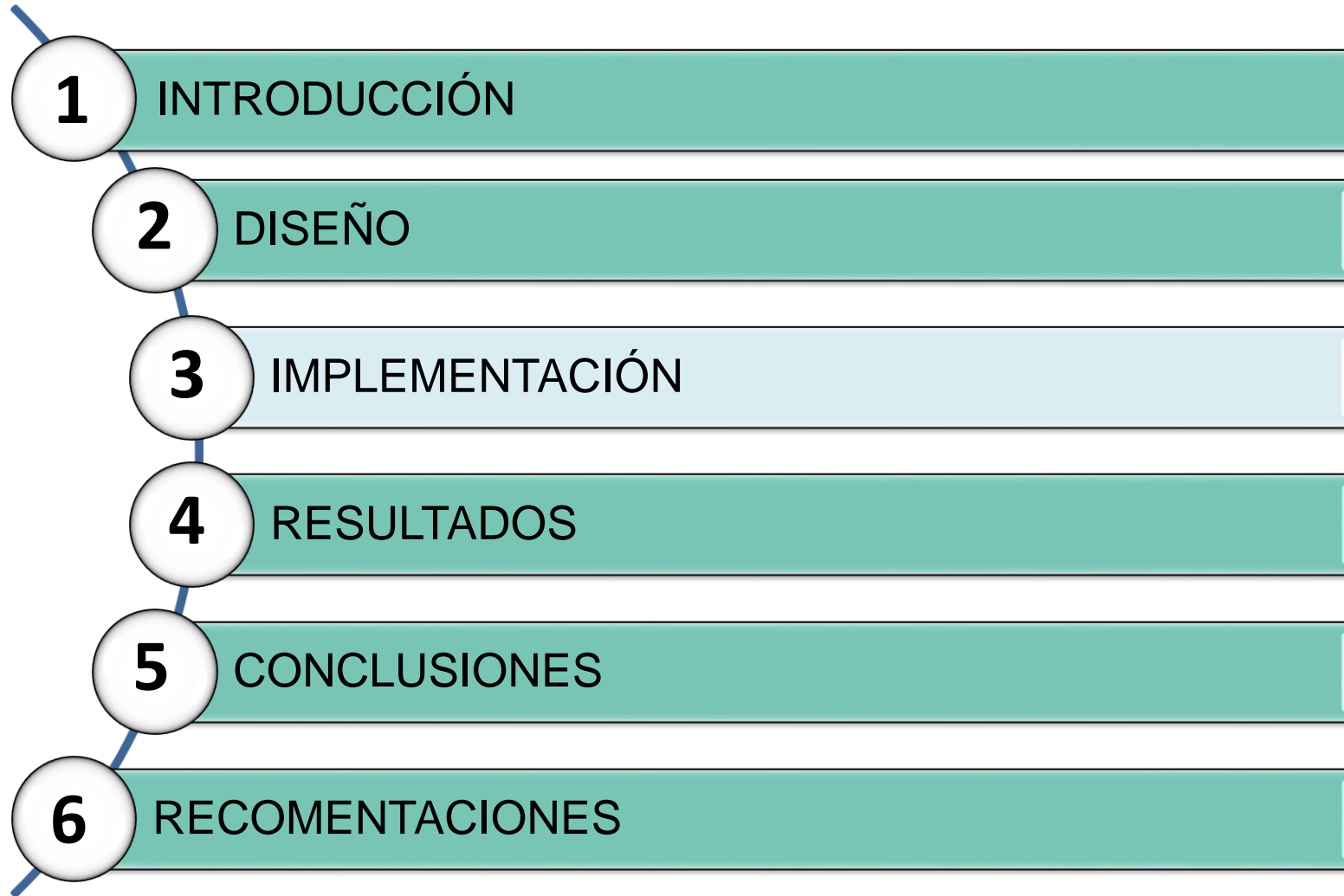
# CÁMARA DE GASES



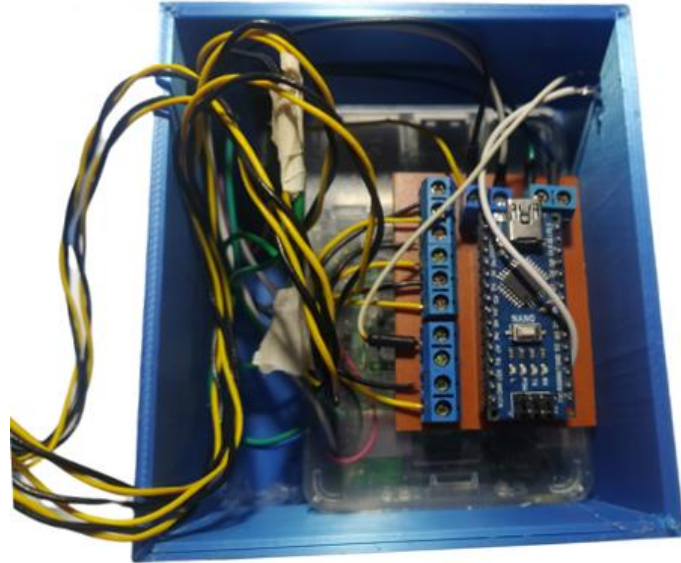
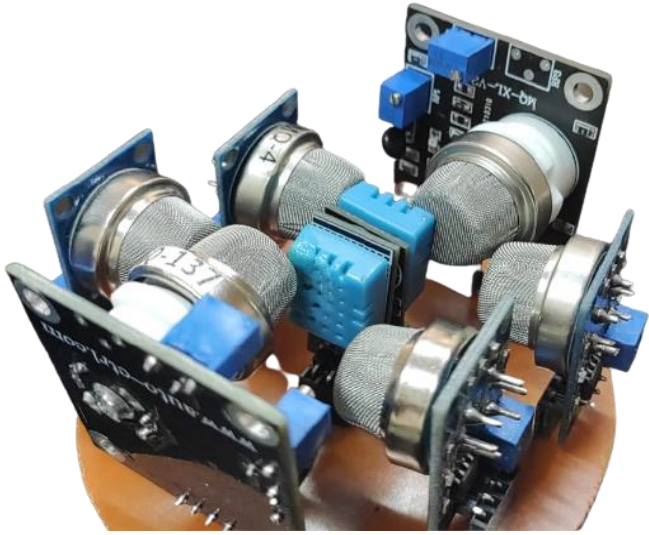
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# SIMULACIÓN DEL AIRE EXHALDO

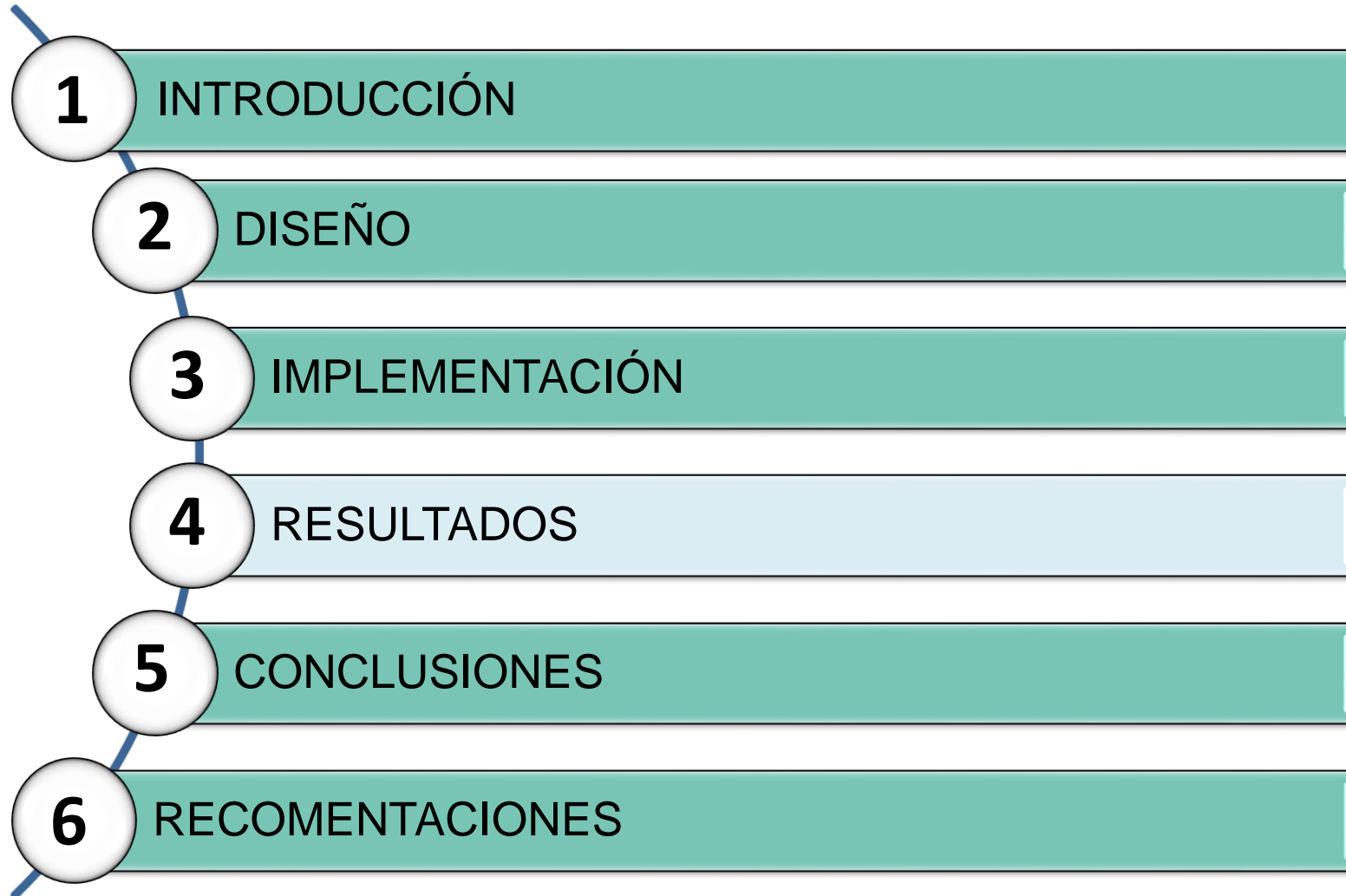




# IMPLEMENTACIÓN



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Quito, 16 de octubre del 2020

Oficio USFQ-COCSA-MED-2020-123

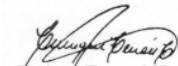
Tern. de E.M.  
Fausto de la Cadena  
Director, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE  
Sede Latacunga.  
Presente

De mi consideración,

Por medio del presente y luego de las conversaciones mantenidas con el Ing. Fabricio Pérez Gutierrez, docente del Departamento de Eléctrica y Electrónica en la sede bajo su acertada dirección, pongo en su conocimiento que la Escuela de Medicina de la Universidad San Francisco de Quito esta presta a brindar apoyo académico y técnico (médico) en la realización del proyecto “DESARROLLO DE UN ENTORNO INTUITIVO PARA DETECCIÓN DE ENFERMEDADES, COMBINANDO COMPONENTES ELECTRÓNICOS (NARIZ ELECTRÓNICA) Y HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS. EN UNA PRIMERA FASE, LA VALIDACIÓN DE DATOS” que estará a cargo del señor Carlos Andrés Cueva Constante (CI: 1721590550) y la señorita Kerly Gissella Erazo Galarza (CI: 1720757374), estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electrónica e Instrumentación.

En caso de Usted requerir cualquier información adicional, por favor no dude en contactarme.

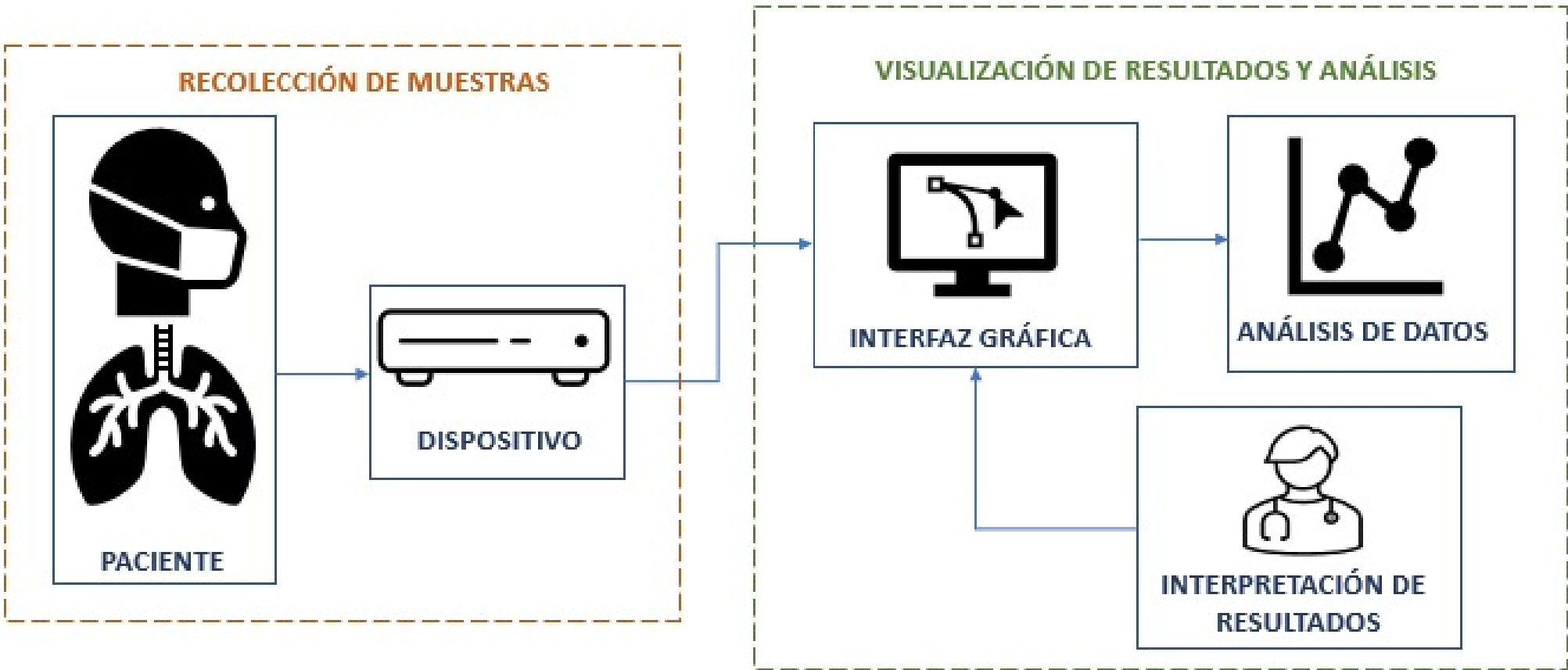
Un atento saludo,



Enrique Teran, MD, PhD  
Coordinador de Investigaciones  
Colegio de Ciencias de la Salud  
Universidad San Francisco de Quito  
eteran@usfq.edu.ec



# PROCESO PARA LA TOMA DE MUESTRAS



# RESULTADOS

Grupo de investigación: Detección de compuestos químicos (COVs) presentes en el aliento exhalado en personas clínicamente sanas a través de una nariz electrónica con el apoyo del Dr. Enrique Terán de la Escuela de Medicina de la Universidad San Francisco de Quito

1. Datos personales Nº. 8  
 Nombres: Estefanía Changlusa  
 Edad: 20 Sexo: Femenina

2. Antecedentes.  
 Tabaquismo: No fuma Covid-19: Si  
 Alcoholismo: No bebe Otra: X  
 Observaciones: No procede

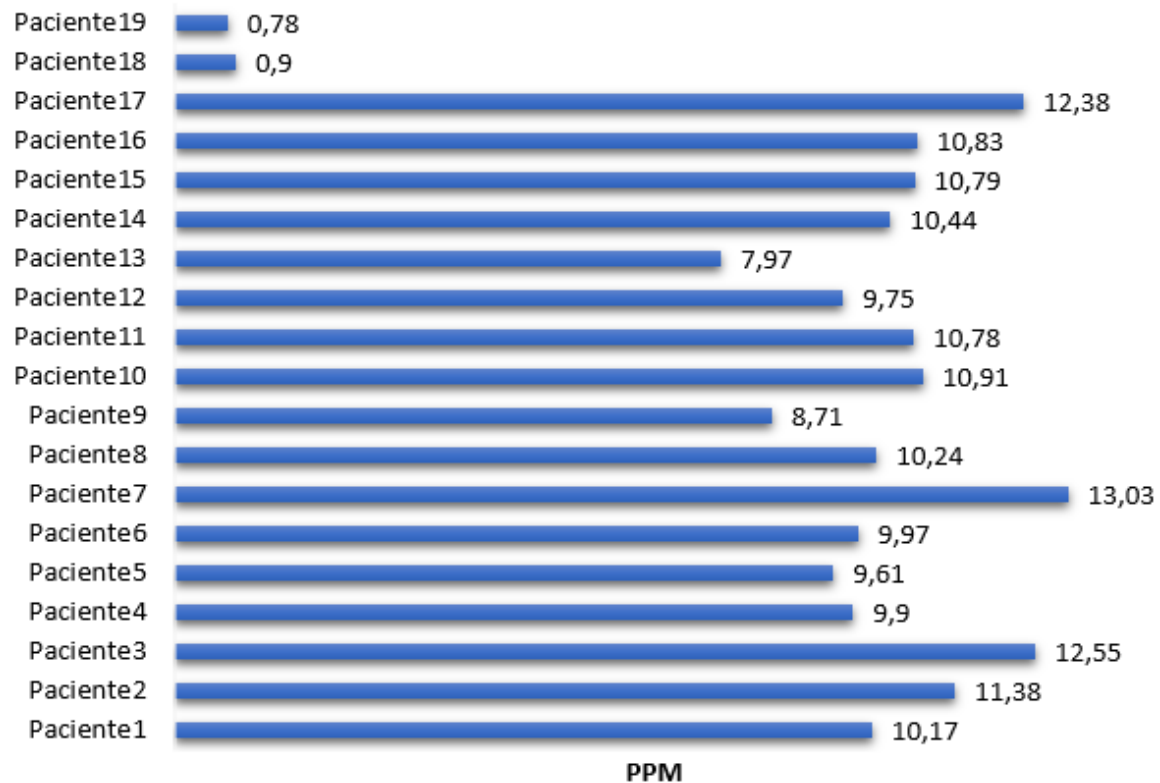
| Edades       | Población | F | % F     | M  | % M     |
|--------------|-----------|---|---------|----|---------|
| 20           | 8         | 3 | 15.79 % | 5  | 26.32 % |
| 21           | 2         | 1 | 5.26 %  | 1  | 5.26 %  |
| 22           | 1         | 0 | 0       | 1  | 5.26 %  |
| 23           | 0         | 0 | 0       | 0  | 0       |
| 24           | 3         | 1 | 5.26 %  | 2  | 10.53 % |
| 25           | 5         | 2 | 10.53 % | 3  | 15.79 % |
| <b>Total</b> | 19        | 7 | 36.84 % | 12 | 63.16 % |



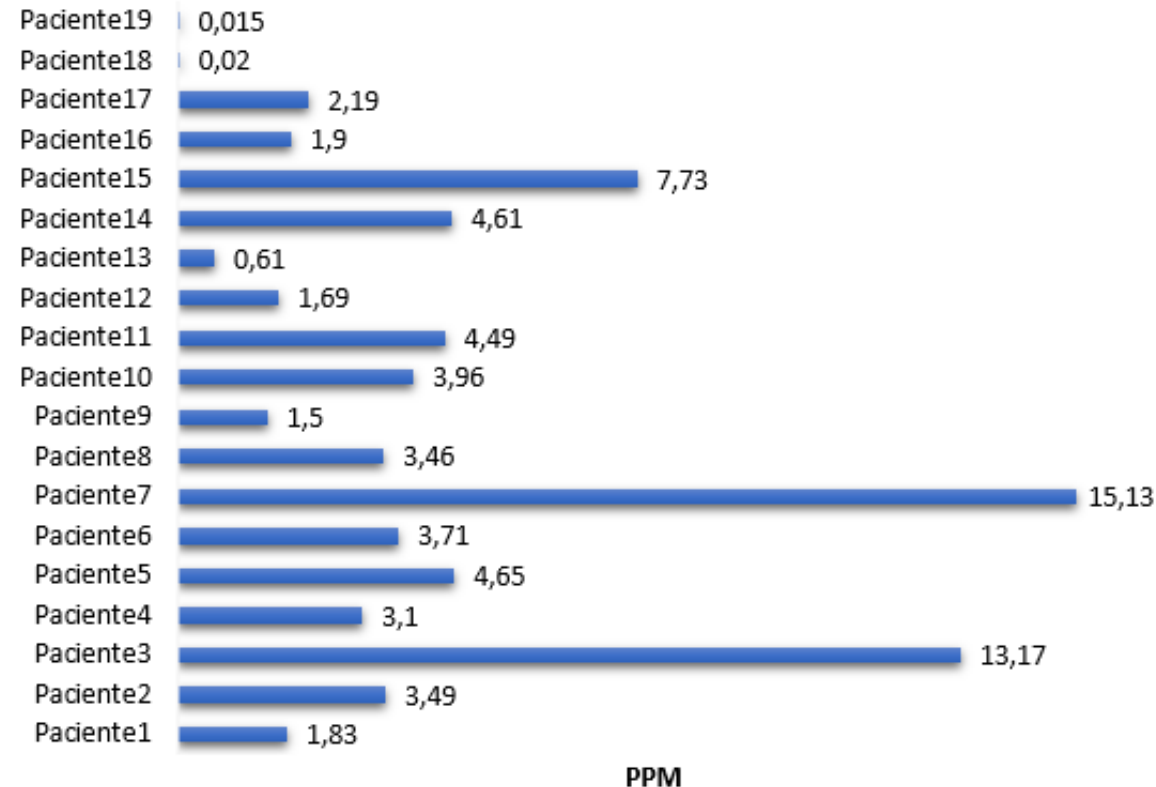
Preparación del participante y Socialización de la investigación

# CRITERIO DE ELIMINACIÓN TÉCNICO

## Dihidrogeno "H2"

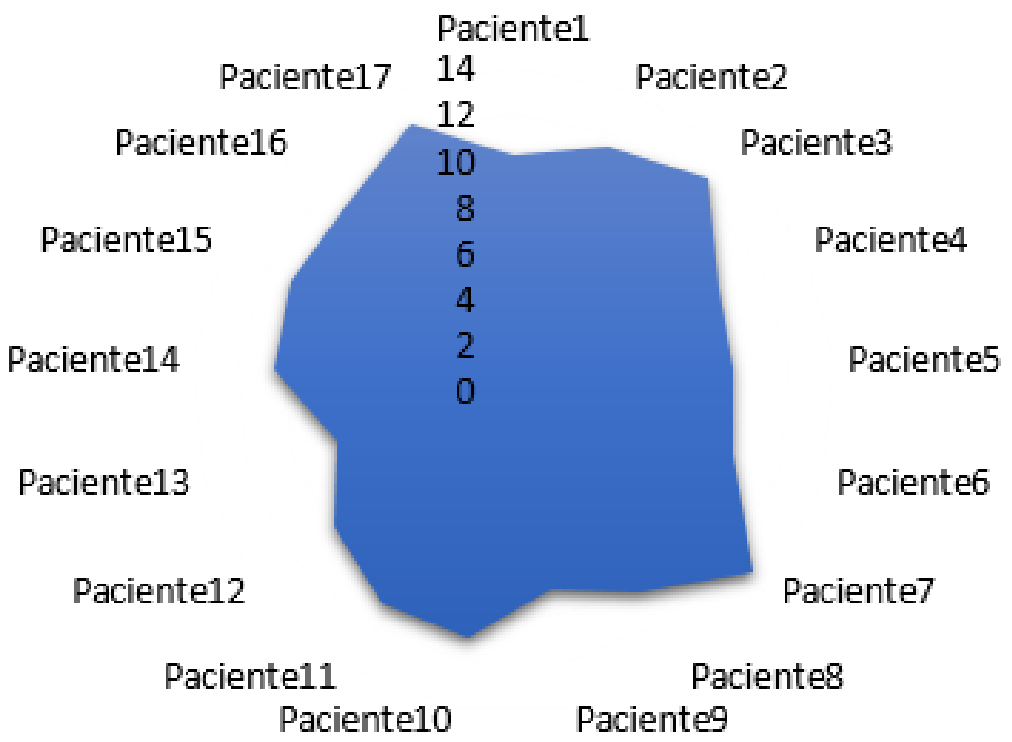


## NH3

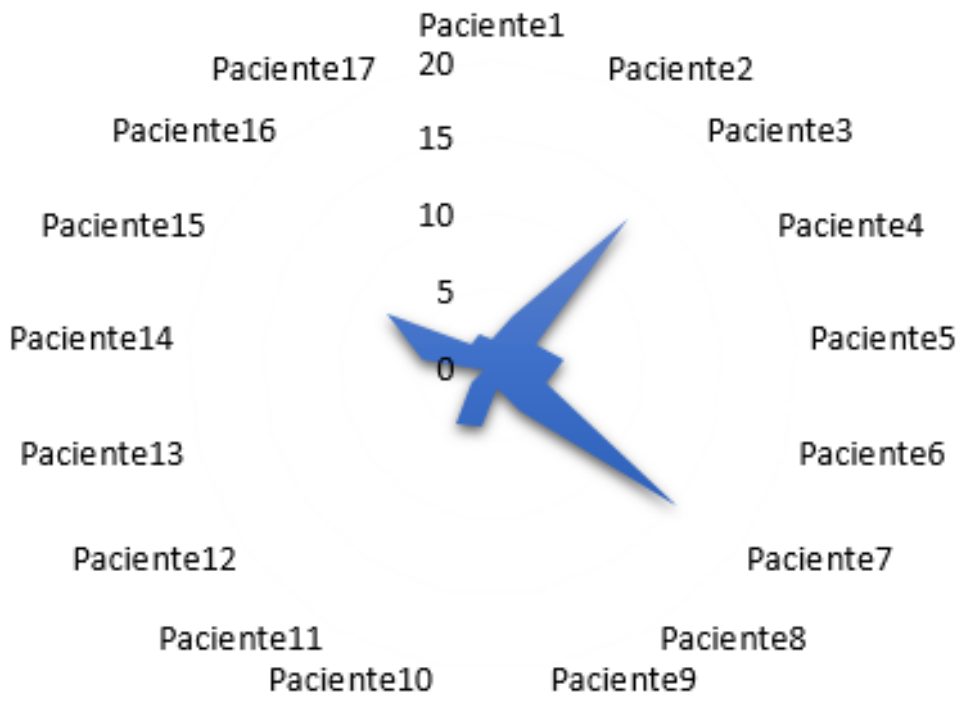


# CRITERIO DE ELIMINACIÓN MÉDICO

## H2

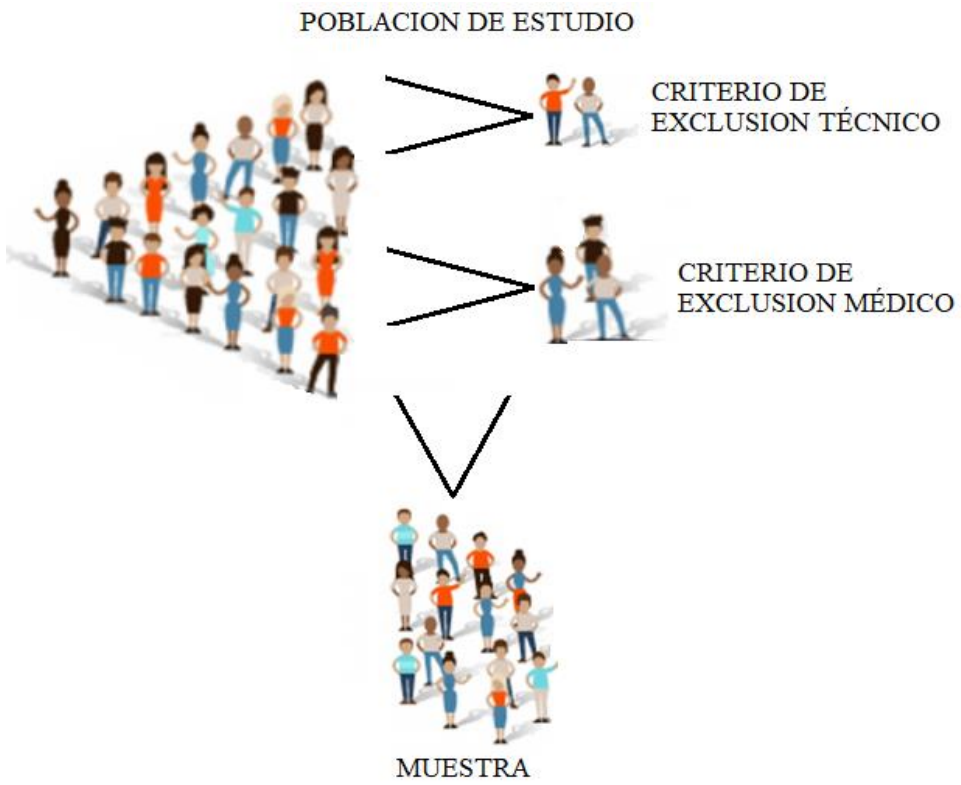


## NH3



# ANÁLISIS DE EXCLUSIÓN PARA LA ELIMINACIÓN PARTICIPANTES Y MUESTRA.

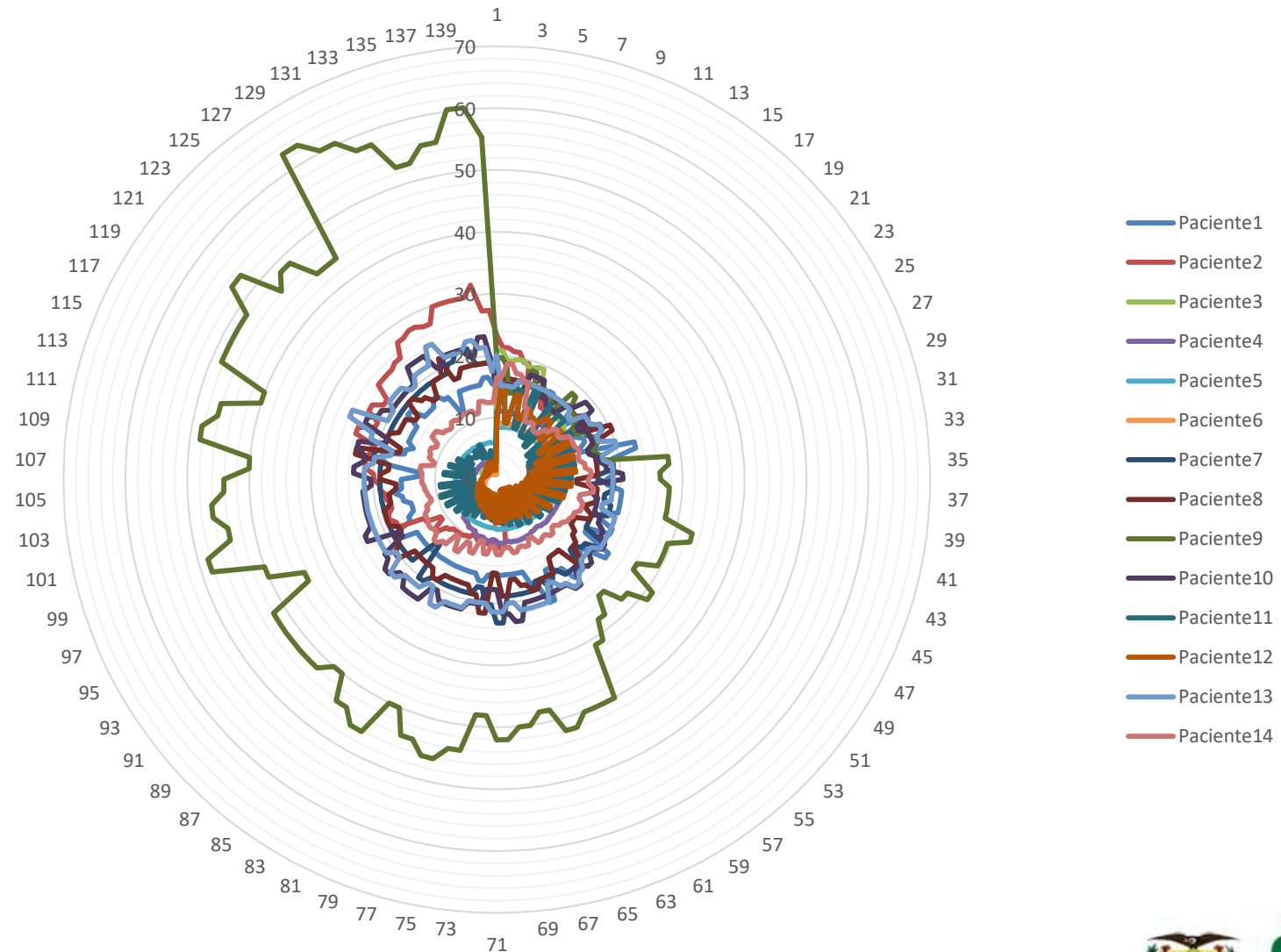
| Compuesto         | Análisis por criterio técnico | Análisis por criterio médico |
|-------------------|-------------------------------|------------------------------|
| H2                | Pacientes 18 y 19             | Pacientes 3, 10, 15 y 17     |
| CH4               | Pacientes 18 y 19             | Paciente 10                  |
| NH3               | Pacientes 18 y 19             | Pacientes 3, 7 y 15          |
| H2S               | Pacientes 18 y 19             | Pacientes 3 y 7              |
| CO                | Pacientes 18 y 19             | Pacientes 3, 7 y 15          |
| CO2               | Pacientes 18 y 19             | Pacientes 3, 7 y 15          |
| <b>Eliminados</b> | <b>2</b>                      | <b>3</b>                     |



# ANÁLISIS ESTADÍSTICO

## GRÁFICA RADIAL

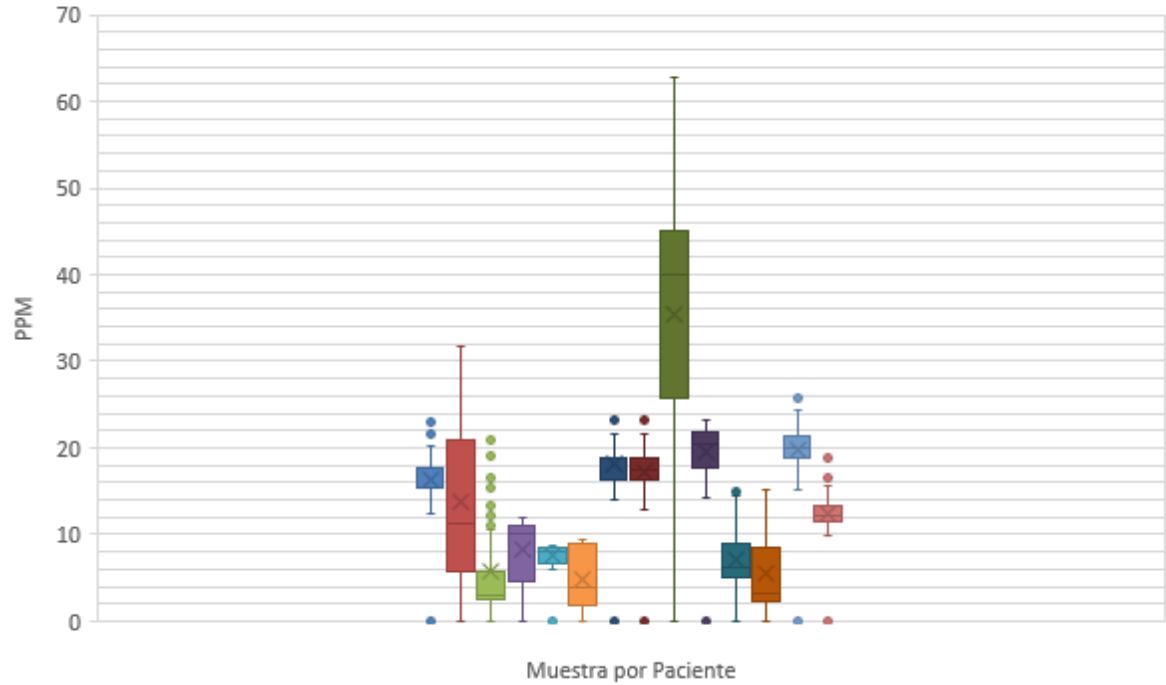
### CH4



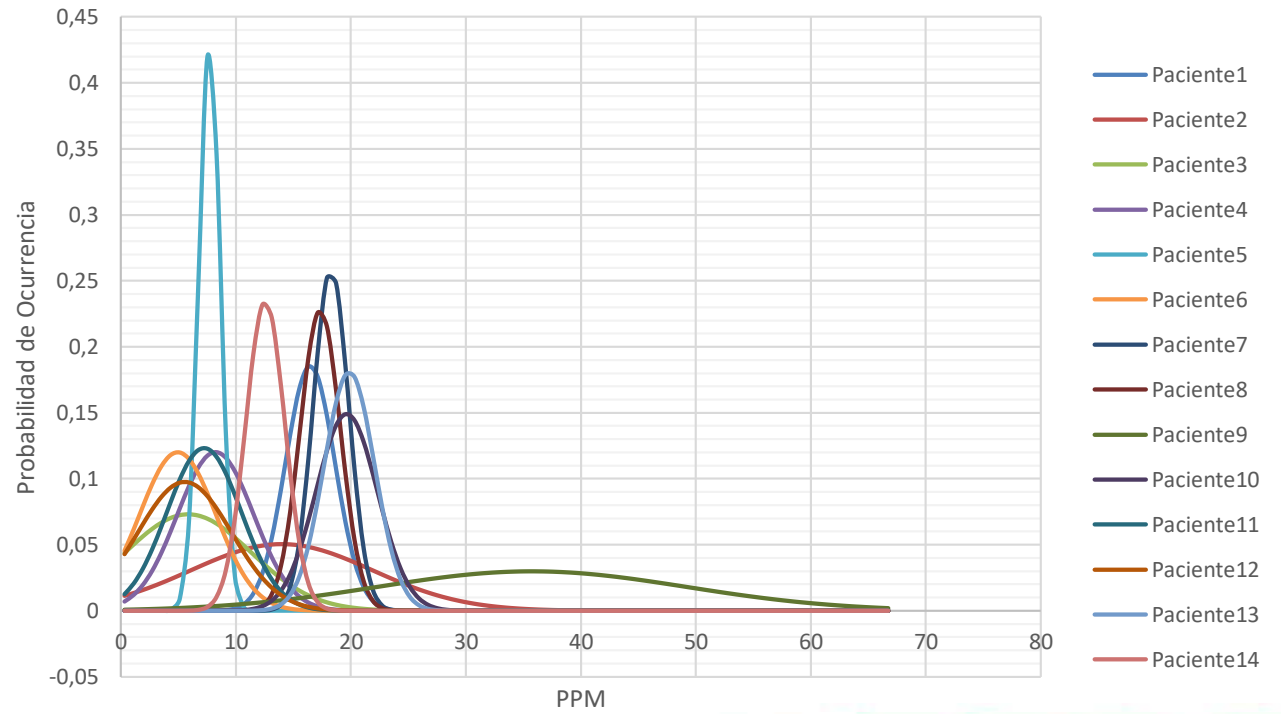
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON CAJAS Y BIGOTES Y CAMPANA DE GAUSS

CH4

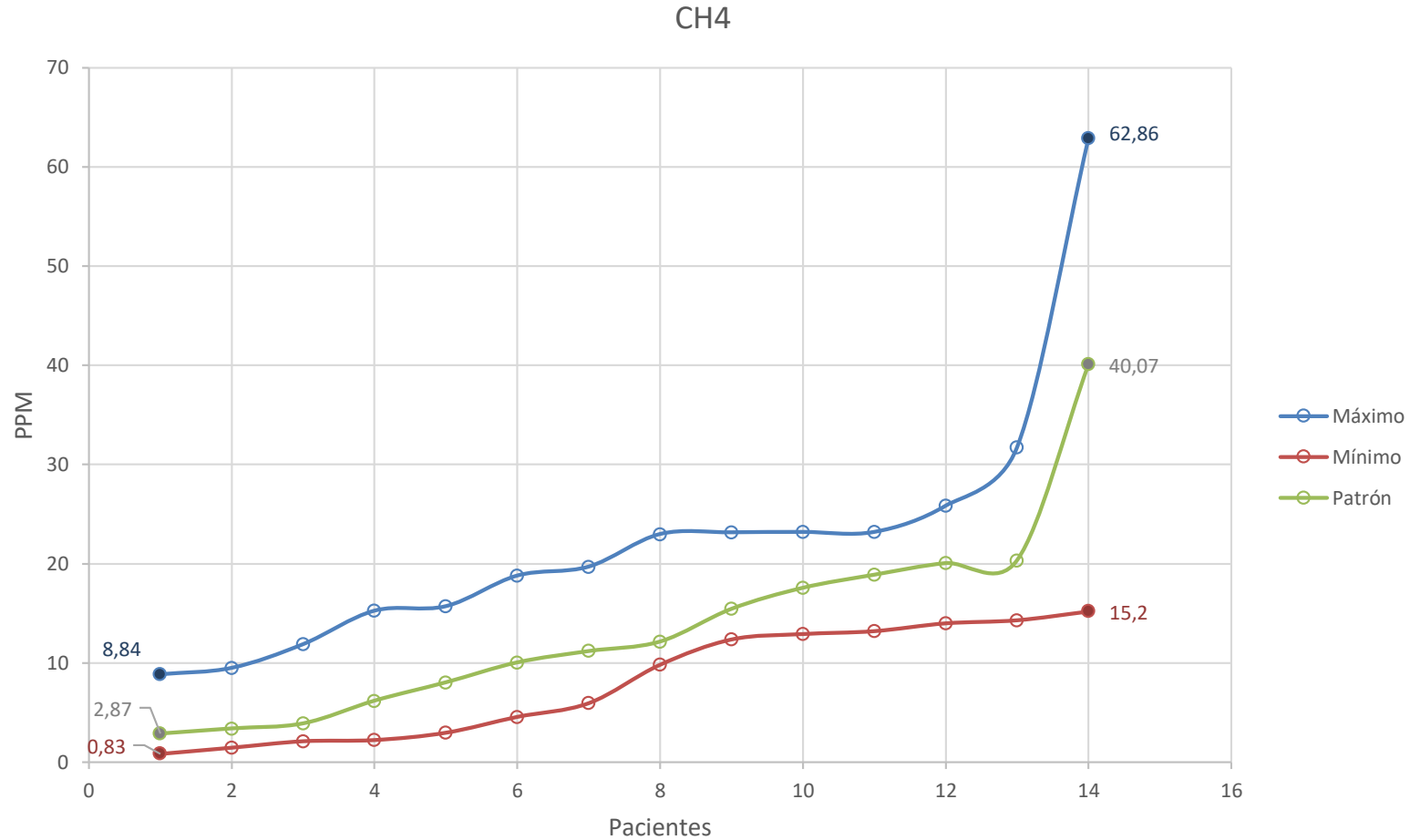


CH4

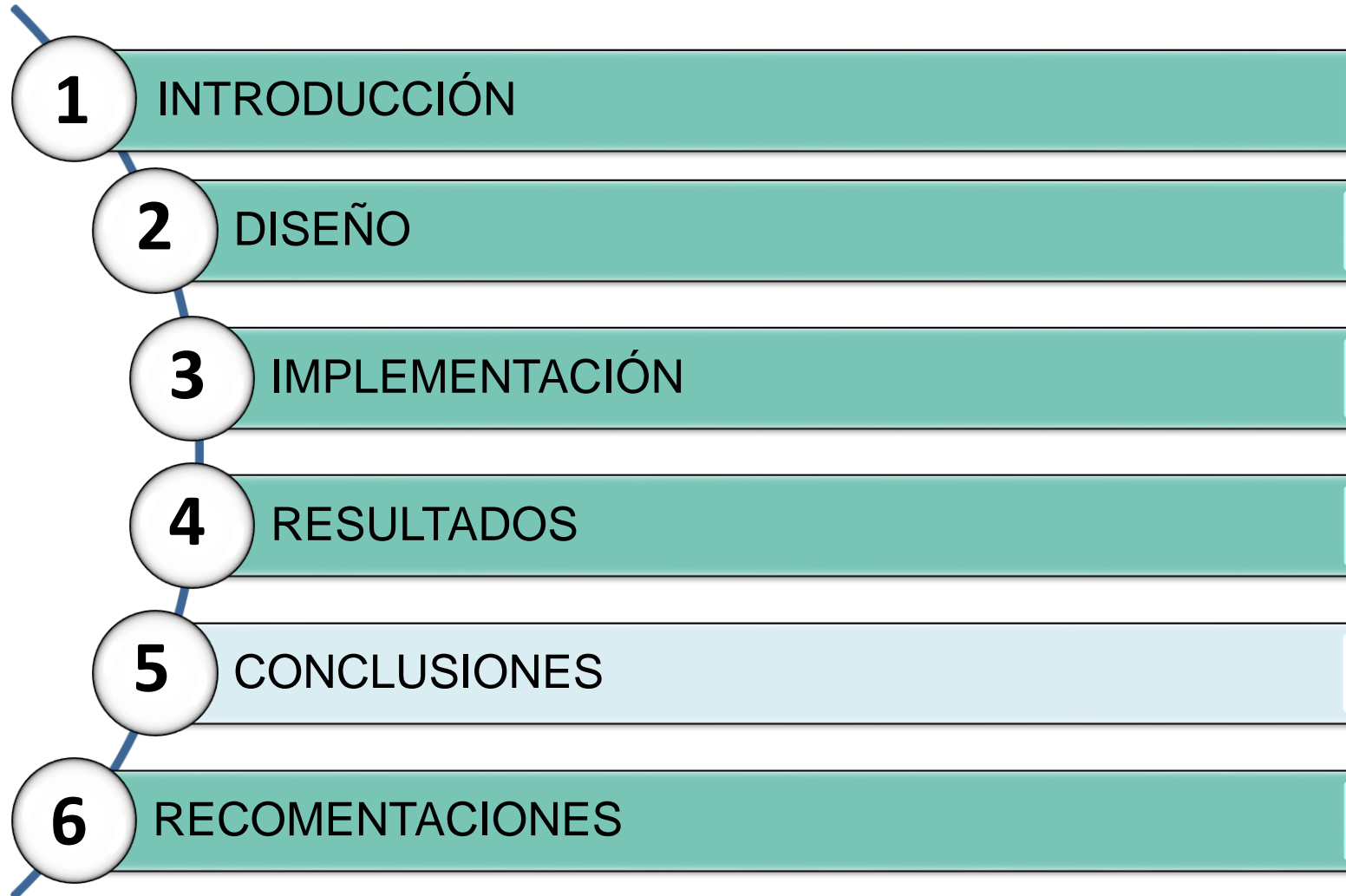




# CURVA DE ESTANDARIZACIÓN Y DATOS PATRÓN



| Compuesto | Mínimo inferior (ppm) | Mínimo Superior (ppm) | Patrón inferior (ppm) | Patrón Superior (ppm) | Máximo inferior (ppm) | Máximo Superior (ppm) |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| CH4       | 0.83                  | 15.2                  | 2.87                  | 40.07                 | 8.84                  | 62.86                 |



# CONCLUSIONES

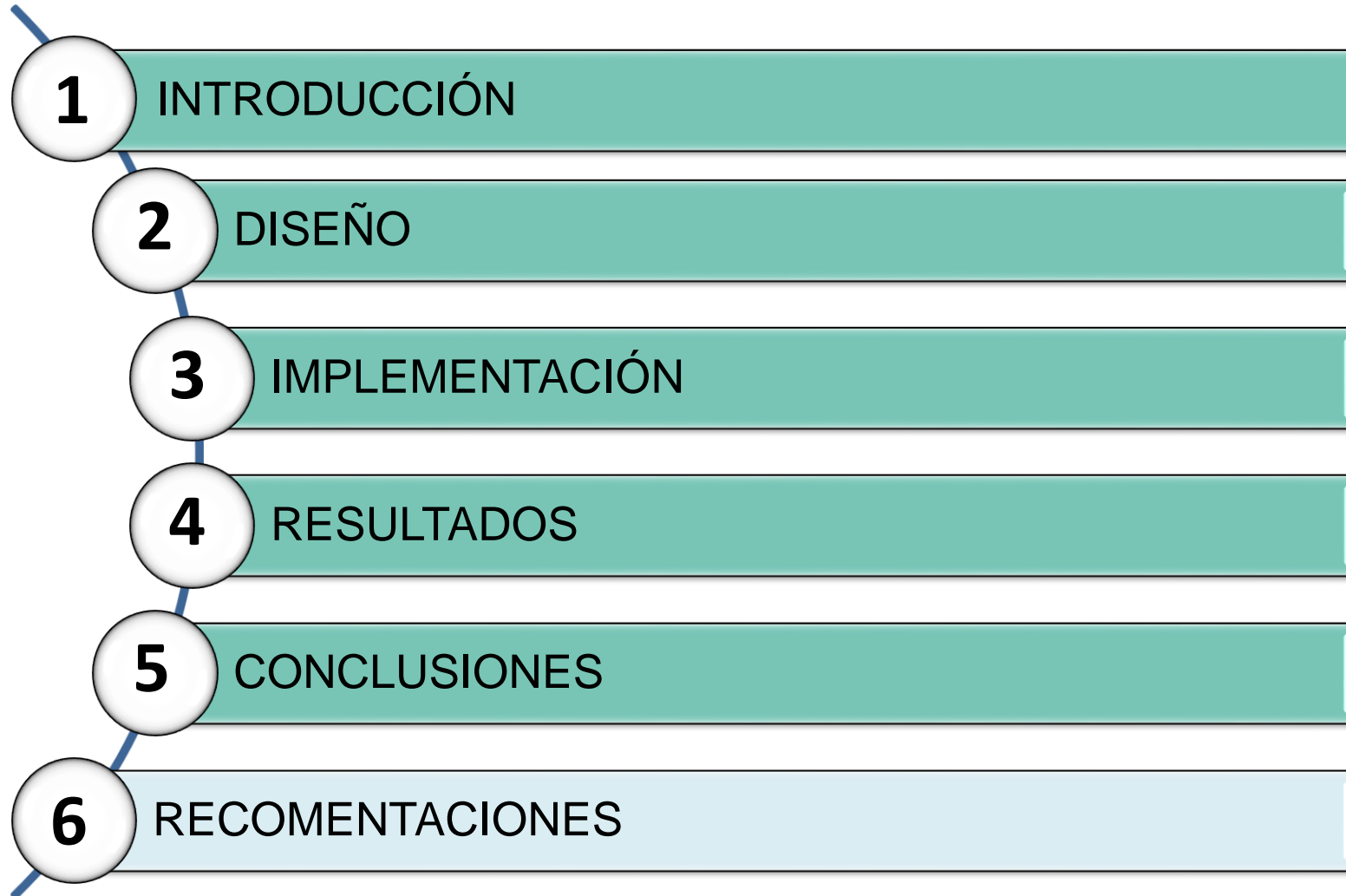
- Se pudo comprobar que los sensores industriales seleccionados se los puede emplear en aplicaciones biomédicas, ya que poseen características similares a los sensores especializados en este campo, con la limitación de poseer una baja sensibilidad y su tiempo de vida útil es relativamente corto en relación a los mencionados
- El diseño de la nariz electrónica propuesto fue adecuado, ya que al recoger y tomar las muestras se puede observar que las curvas obtenidas presentaron uniformidad.
- En la cámara de gases no se pierden muestras por su diseño mecánico y el material utilizado en la fabricación del dispositivo, ya que este permite un flujo laminar del aire exhalado y llegue a cada uno de la matriz hexagonal de sensores de manera uniforme.
- En la implementación del diseño electrónico de la nariz, se utiliza una tarjeta Arduino la cual sirve para la adquisición y procesamiento de la información, posterior a esto, en la tarjeta Raspberry Pi 4 se configura y acondiciona la señal para que se analicen y presenten los datos correspondientes en la interfaz gráfica.
- La utilización del Node Red permite para la comunicación de la tarjeta Raspberry Pi 4 con la nube, lo cual es una ventaja ya que permite conectarse a esta nube con cualquier dispositivo permitiendo así visualizar los datos correspondientes de la nariz electrónica y que el personal técnico o médico revisen la información.

## CONCLUSIONES

- La mascarilla que presentó mejores resultados en la adquisición de muestras fue la de tipo Venturi, ya que por su diseño aerodinámico minimiza la pérdida de flujo de aire y permite captar la mayor cantidad de muertas por cada exhalación, a diferencia de la mascarilla de oxígeno que es mayoritariamente utilizada en el suministro de oxígeno y la mascarilla de tipo reservorio, la cual perdía muchos datos al pasar la bolsa a la cámara de gases y no permitía realizar análisis por las pérdidas mencionadas.
- Los métodos estadísticos utilizados en la interfaz gráfica permiten al personal médico y técnico el análisis de estas representaciones, para tener una mejor interpretación de los resultados obtenidos y así conocer si son clínicamente sanos.
- El tipo de muestreo a criterio no probabilístico en donde se aplicó los criterios de inclusión y exclusión permite seleccionar a aquellos sujetos de prueba que se consideren más apropiados para generar la muestra adecuada para este estudio.
- La diversidad de los resultados obtenidos para el posterior análisis, se debe a diversas características como: el número de participantes, la carencia de un muestreo estandarizado, los diferentes algoritmos estadísticos aplicados, y los compuestos químicos seleccionados.

## CONCLUSIONES

- En los resultados obtenidos, se notó que el Metano es el compuesto que presenta una mayor variación en los rangos medidos y permite definir con mayor claridad los biomarcadores, ya que representa una herramienta de diagnóstico importante en la práctica gastroenterológica y su contraparte es el dihidrógeno por ser el compuesto que presenta una mayor uniformidad está presente en procesos del organismo y forma parte de muchas sustancias en los seres humanos ya que sus valores son bastante próximos los unos a los otros.



# RECOMENDACIONES

- Mantener conectado durante al menos 18 horas para que los sensores lleguen a la temperatura interna de mínimo 25°C, la cual permite mejorar la calidad en la toma de muestras.
- Realizar fichas de control de datos por participante para tener la información general y específica de enfermedades o sintomatología de SARS-Cov-2 con lo cual se determinará si son aptos para formar parte del estudio de esta investigación.
- Verificar los datos obtenidos en la ficha de control y en la pestaña 2 de la interfaz gráfica y tomar especial consideración al inciso 4 de los criterios médicos, ya que el alcohol es mayormente detectado por todos los sensores a diferencia del tabaco que únicamente altera al sensor detector de metano.
- Crear tablas de estandarizaciones que muestren los datos y los indicadores de desempeño que cuantifiquen el cumplimiento de las directrices.

# AGRADECIMIENTOS





**GRACIAS POR SU  
ATENCIÓN**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

### INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Ingeniero en  
Electrónica e Instrumentación

Diseño e implementación de una nariz electrónica para detección de compuestos orgánicos volátiles presentes en el aliento de seres humanos, en colaboración con la Escuela de Medicina de la Universidad San Francisco de Quito.

**Autores:**

Cueva Constante Carlos Andrés

Erazo Galarza Kerly Gissella

Ing. Milton Fabricio Pérez Gutiérrez M.Sc. **Director**

