

# E-NOSE para identificación de gases espiratorios en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica a través del aliento

## E-NOSE for identification of expiratory gases in patients with chronic obstructive pulmonary disease through breath

A. Meléndez-Ramírez <sup>a\*</sup>, J. M. Stein-Carrillo <sup>b</sup>, F. J. Ávila-Camacho <sup>c</sup>

<sup>a,b,c</sup> División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Av. Carlos Hank González esq. Av. Tecnológico, Ecatepec de Morelos, Estado de México.

### Resumen

El documento propone el diseño, implementación, programación y uso de una Nariz Electrónica (E-NOSE) para la identificación de patrones en los gases respiratorios exhalados en personas con problemas respiratorios y personas sanas, con el objetivo de identificar de forma rápida la patología conocida como enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). La Nariz Electrónica (E-NOSE) está conformada por un arreglo de sensores MQ de bajo costo, un microcontrolador Arduino, algoritmos de Redes Neuronales y una cámara de concentración de gases. La adquisición de datos se realizó en el hospital general de Ecatepec "Dr. José María Rodríguez" con el consentimiento del comité de Bioética de dicho hospital, pacientes sanos y pacientes diagnosticados con EPOC. Almacenamos los datos para su posterior procesamiento, lo que nos permitió entrenar, validar y probar una red neuronal para poder clasificar a pacientes sanos de enfermos de EPOC. El modelo se entrenó con datos sin preprocesamiento. Los resultados obtenidos nos dieron una matriz de confusión del 92% lo cual indica la posible viabilidad del prototipo. El prototipo deberá mejorar sustantivamente la cámara de concentración de gases empleando la manufactura aditiva y buscando mejorar la calidad de los datos mediante un preprocesamiento.

**Palabras Clave:** E-NOSE, EPOC, gases espiratorios, identificación.

### Abstract

The document proposes the design, implementation, programming, and use of an Electronic Nose (E-NOSE) to identify patterns in exhaled respiratory gases in individuals with respiratory problems and healthy individuals, with the aim of quickly identifying the condition known as Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD). The Electronic Nose (E-NOSE) consists of an array of low-cost MQ sensors, an Arduino microcontroller, Neural Network algorithms, and a gas concentration chamber. Data acquisition was performed at the "Dr. José María Rodríguez" General Hospital in Ecatepec with the consent of the hospital's Bioethics Committee, healthy patients, and patients diagnosed with COPD. We stored the data for subsequent processing, which allowed us to train, validate, and test a neural network to classify healthy patients from those with COPD. The model was trained with unprocessed data. The obtained results yielded a 92% confusion matrix, indicating the potential viability of the prototype. The prototype should substantially improve the gas concentration chamber using additive manufacturing and seek to enhance data quality through preprocessing.

**Keywords:** E-NOSE, COPD, respiratory gases, identification.

## 1. Introducción

La organización mundial de la salud publicó el 24 de mayo del 2018 en su página [1, p. 1] que las primeras dos causas de mortalidad en el mundo que son la cardiopatía isquémica y accidente cerebrovascular, posteriormente la enfermedad

pulmonar obstructiva crónica (EPOC) (American Lung Association, 2023), siguiendo el cáncer de pulmón, junto con los de tráquea y de bronquios, por último las infecciones de las vías respiratorias inferiores. (Rojas Moreno, Elias Bruges, Cañas Arboleda, & Jaramillo García, 2017)

\*Autor para la correspondencia: [adolfo\\_melendez@tese.edu.mx](mailto:adolfo_melendez@tese.edu.mx)

**Correo electrónico:** [adolfo\\_melendez@tese.edu.mx](mailto:adolfo_melendez@tese.edu.mx) (A. Meléndez-Ramírez), [jmsteinc@tese.edu.mx](mailto:jmsteinc@tese.edu.mx) (J. M. Stein-Carrillo), [favila11@udavinci.edu.mx](mailto:favila11@udavinci.edu.mx) (F. J. Ávila-Camacho).

Se diseñó e implementó un sistema olfativo artificial que analice los gases presentes en el aire exhalado por pacientes con EPOC. Actualmente, el diagnóstico se realiza a través de la espirometría, que es la única prueba que hasta el momento ha sido capaz de identificar la enfermedad en sus distintas etapas mostradas en la Figura 1.

Etapa 0 En riesgo	Etapa 1 Leve	Etapa 2 Moderada	Etapa 3 Severa	Etapa 4 Muy severa
Evitar factores de riesgo, vacunación contra influenza.				
Broncodilatador de corta acción PRN.				
Tratamiento regular con uno o más broncodilatadores de larga acción. Rehabilitación.				
Esteroides inhalados si se repiten exacerbaciones.				
O <sub>2</sub> a largo plazo. Considerar tratamientos quirúrgicos.				

Figura 1: Etapas de la EPOC. (MedicalNewsToday, 2019).

## 2. Problemática

La Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica, se caracteriza por tos constante, la pérdida de peso sin causa aparente, la falta de aire como signos de alerta, de acuerdo con lo que comenta el oncólogo Juan Alejandro Silva y según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), cada año se diagnostican 1.6 millones de casos nuevos y mueren por esta causa 1.38 millones, En México se registran 9700 nuevos casos y 8300 defunciones al año. El método utilizado actualmente no identifica los tipos de gases que nuestro cuerpo ex

Las narices electrónicas han evolucionado y ayudado en el ámbito de salud, pero no se implementan gracias a sus altos precios en el mercado (Mordor Intelligence, 2023), con este prototipo se busca realizar una nariz electrónica de bajo costo y de fácil manejo tanto para el personal del hospital como para el paciente, a través del aliento de las personas que previamente fueron diagnosticadas con EPOC.

Por lo que la realización del prototipo del sistema olfativo artificial (nariz electrónica) servirá para los médicos como una herramienta que les ayude a comprobar y detectará a través de la identificación de los gases exhalados si un paciente cuenta o no con la enfermedad, permitiendo al médico especialista contar con más información para el diagnóstico y tratamiento adecuado de los pacientes, y como punto de prueba se llevará a cabo dentro de las instalaciones del Hospital Regional de Ecatepec, José María Rodríguez, en el Estado de México.

## 3. Marco teórico

### 3.1 EPOC

La Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) es una enfermedad pulmonar crónica que se caracteriza por la obstrucción persistente del flujo de aire en los pulmones. Esta obstrucción está generalmente asociada con el tabaquismo y se manifiesta principalmente como bronquitis crónica y/o enfisema. Los síntomas incluyen dificultad para respirar, tos crónica y producción excesiva de esputo. Esta enfermedad es progresiva y puede ser incapacitante. (Fundación Mayo para la Educación y la Investigación Médicas, 2021)

De acuerdo con el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER), la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), es la cuarta causa de muerte entre las mujeres mexicanas y la quinta entre los hombres del país, pero hacia 2020, podría colocarse como el tercer factor de mortalidad en México, esta enfermedad, cuyo Día Mundial para su prevención es este 20 de noviembre. (Expansión, 2014)

El instituto informa que esta enfermedad tiene origen en la obstrucción gradual de los bronquios y puede ir desde un grado leve, en el que existe una disminución de la capacidad pulmonar, hasta una situación severa que requiere de hospitalización. (Wise, 2022)

El doctor Raúl Sansores, jefe del Departamento de Investigación en Tabaquismo y EPOC para el INER, explica que esta enfermedad tiene dos factores de riesgo principales: el tabaquismo y la exposición al humo de leña o carbón (biomasa) que se utiliza para cocinar o para calentar los hogares. (Expansión, 2014)

El INER hospitaliza anualmente a 340 pacientes con EPOC, el 51% son mujeres y el 80% de éstas nunca han fumado, pero sí han cocinado con leña, aquí se atienden de cada 100 fumadores 20 tienen EPOC, pero solamente 2 de ellos tienen conocimiento.

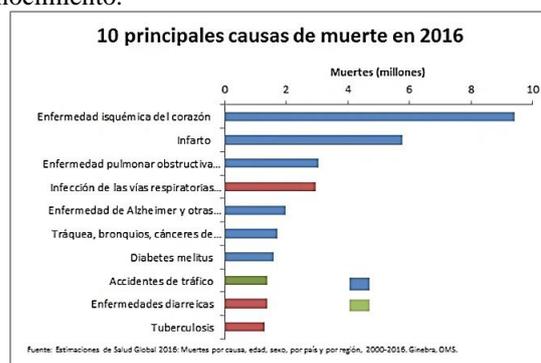


Figura 2: Diez principales causas de Muertes de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) 2016. (Organización Mundial de la Salud, 2020).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), hay 65 millones de personas en el mundo con este padecimiento (Organización Mundial de la Salud, 2019), 90% de ellas enferman por causa del tabaquismo, en México alrededor del 10% de la población padece EPOC de acuerdo con un estudio en el diario The Lancet (Secretaría de Salud, 2016), el número aumenta en mayores de 40 años y fumadores de más de 10 cigarros al día, cobra la vida de 21,000 mexicanos anualmente. (Expansión, 2014)

### 3.2 Sistema Olfativo Artificial

La mayoría de las narices electrónicas diseñadas hasta la fecha son para uso comercial, algunas otras son utilizadas por los gobiernos para seguridad, y otras son usadas en equipos hospitalarios, estas fueron desarrolladas en un comienzo para reemplazar a los paneles de expertos en la clasificación de aromas, debido a que estos se consideran costosos, difíciles de transportar. (Durán Acevedo & Gualdrón Guerrero, 2018)

Algunas veces subjetivos, debido a que sus valoraciones se pueden ver afectadas por el cansancio, estado anímico, el clima y otros factores externos, algunas veces se han apoyado en cromatógrafos de gases y espectrómetros de masas, no sólo

clasificando olores sino también cuantificándolos, todo esto con un elevado costo en tiempo y en dinero. (Moreno, Caballero, Matía, & Jiménez, 2009)

En la actualidad las narices electrónicas no son solamente usadas para clasificaciones de aroma, sino también para la detección de olores, de ahí que su importancia y utilización se haya extendido a aplicaciones en la agroindustria, medio ambiente, la seguridad, y la medicina, a continuación, se recogen algunas investigaciones que se han realizado según el campo de aplicación de los sistemas olfativos. (Moreno, Caballero, Matía, & Jiménez, 2009)

### 3.3 Tipos, Características y Síntomas de la EPOC

Información de la clínica mayo concuerda con el sector salud Los síntomas de la EPOC no suelen aparecer hasta cuando ya se ha producido un daño significativo y, por lo general, empeoran con el tiempo, particularmente si el paciente sigue expuesto al humo del tabaco. Los pacientes con bronquitis crónica presentan una tos diaria y producción de mucosidad (esputo) como síntoma principal durante al menos tres meses al año en dos años consecutivos. (Vera, 2019)

**16 de noviembre:**  
Día Mundial de la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC)

El día busca promover una mayor comprensión de la enfermedad y una mejor atención de los pacientes que la padecen en todo el mundo.

**EPOC:**

- Enfermedad en la que existe un bloqueo persistente del flujo de aire, lo que altera la respiración normal.
- Engloba tanto al enfisema como a la bronquitis crónica.

**Causas:**

- La principal es el tabaquismo.
- Personas que se encuentran expuestas continuamente a ciertos gases, contaminación o humo indirecto de cigarrillo.

**Síntomas:**

- Tos (con flemas).
- Fatiga.
- Dificultad para respirar que empeora con actividad leve.
- Sibilancias (sonidos durante la respiración).
- Falta de aliento.

**Diagnóstico:**

- Mediante una serie de estudios que evalúan la capacidad pulmonar.
- Análisis de sangre para determinar la cantidad de oxígeno en ella.
- Rayos X.

**Tratamiento:**

- No tiene cura debido a que el daño que han sufrido los pulmones es irreversible.
- Cambios en el estilo de vida y medicamentos que ayuden a una mejor calidad de vida.

Última actualización: noviembre de 2016 / Diseño: Dirección General de Información en Salud

Fuentes:  
SALUD SECRETARÍA DE SALUD SUBSECRETARÍA DE PREVENCIÓN Y PROMOCIÓN DE LA SALUD

Figura 3: Síntomas y tratamiento EPOC. (Salud México, 2016).

También es probable que las personas con EPOC tengan episodios llamados reagudizaciones, durante los cuales los síntomas empeoran más que la variación habitual diaria y duran al menos varios días.

### 3.4 Componentes de la exhalación e inhalación

Generalmente la composición del aire en una respiración tranquila, involucrando inhalación y exhalación de 500ml es:

- Inhalado: 21% de Oxígeno conformado de 80 a 100ml de este gas
- Exhalado: 16% de Dióxido de carbono y se absorben 20ml de Oxígeno.

Respiramos aproximadamente 17 veces por minuto e introducimos en una respiración normal 0.5 l de aire. El aire

renovado en una inspiración (inhalación) forzada (capacidad vital) es de 3.5. (Espinosa R., 2010)

### 3.5 Contaminación en el medio ambiente

Hay distintos modos de saber el grado de contaminación en el medio ambiente a través de distintas páginas con repositorios de contaminación del aire (aqicn, 2023) se muestran las mediciones de calidad del aire en el medio ambiente, en el sitio seleccionado en este caso solicitamos las mediciones de Ecatepec de Morelos, Estado de México, como se muestra en la Figura 4



Figura 4: Calidad del Aire en Ecatepec de Morelos 17 octubre 2023. (IQAir, 2023)

### 3.6 Nariz Biológica y Nariz Electrónica

Las narices electrónicas son dispositivos inspirados en el sistema olfativo de los mamíferos, diseñados para realizar las mismas funciones que estas. Su principal aplicación es la identificación de aromas, es decir, establecer si determinado olor se puede asociar con algún producto o con estados especiales de este, como la frescura o la descomposición. (Cordero, 2007)

Estas intentan hacer lo mismo, pero a diferencia de las biológicas, tienen la particularidad de que se valen de la matemática para describir lo que identifican. Una nariz electrónica, es un instrumento que puede oler, es decir, es capaz de realizar análisis cualitativos y/o cuantitativos de una mezcla de gases, vapores y olores. (Cordero, 2007)

Esta a su vez es un instrumento de olfato artificial que permite distinguir y reconocer aromas utilizando sensores de gas, tiene al menos 4 partes con diferentes funciones: la primera realiza la adecuación de la mezcla gaseosa y el muestreo, el conjunto de sensores de gases hace la detección, la electrónica de control se dedica a la gestión del conjunto de sensores y adecuación de la señal. En la Figura 5, se muestra el funcionamiento de una nariz electrónica en comparativa con la nariz biológica. (Duran Acevedo & Torres, 2014)

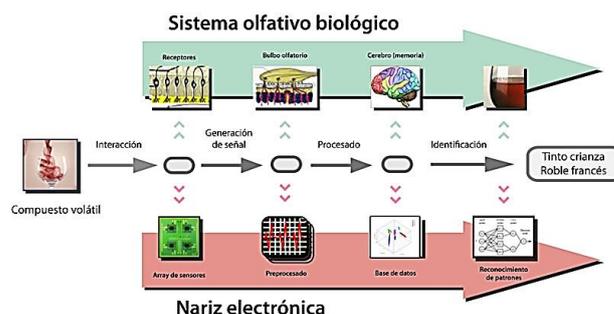


Figura 5: Funcionamiento de olfato biológico y la nariz electrónica. (ITEFI, 2014).

### 3.7 Descripción y características de los sensores MQ

De los diferentes sensores integrados para una nariz electrónica se deben considerar ciertos criterios: como por ejemplo alta sensibilidad para detectar ciertos compuestos químicos, baja sensibilidad a la humedad y temperatura, alta estabilidad, corto tiempo de reacción y algo muy importante que sean de fácil calibración [23], en la Figura 6 se muestran los sensores Mq2, Mq3 y Mq135.

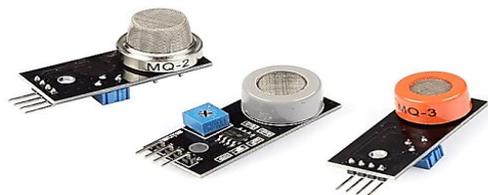


Figura 6: Sensores de gas MQ. (Murky Robot, 2023)

Es importante de igual forma conocer las características técnicas y especificaciones generales de los sensores integrados. En la tabla 1 y Figura 7 se muestran las más importantes.

Tabla 1. Características de los sensores MQ. (Naylamp Mechatronics, 2016)

Sensor MQ	Características principales			
	Sustancia detectada	Voltaje	Temperatura	Humedad
MQ2	Metano, butano, GLP, humo	5V	20°C ±2°C	65% ±5%RH
MQ3	Alcohol, Etanol, humo	5V	20°C±2°C	65% ±5%RH
MQ5	Gas natural, GLP	5V	20°C±2°C	65% ±5%RH
MQ135	Benceno, alcohol, humo, calidad del aire	5V	20°C±2°C	65% ±5%RH

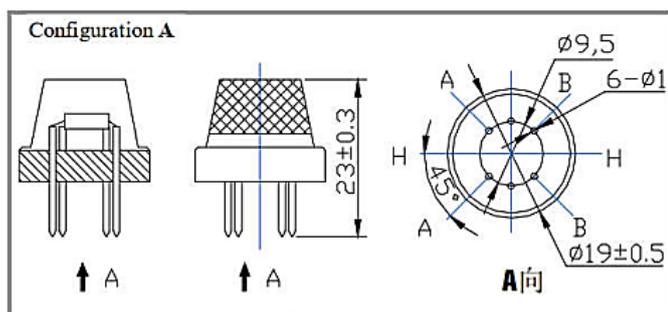


Figura 7: Especificaciones de sensor MQ. (Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., 2023)

## 4. Marco metodológico

### Fase 1: Diseño de prototipo

Se definen las variables del proyecto con el fin de proponer la mejor solución y se procede a diseñar el proyecto electrónico, haciendo uso de la placa de Arduino.

### Fase 2: Construcción de prototipo

Consiste en una nariz electrónica compuesta por de 11 sensores mencionados en la Tabla 2, los cuales se calibraron para el uso específico, en conjunto con la placa de Arduino mega la cual se muestra continuación en la Figura 8.

#### Características:

- Microcontrolador ATmega2560.
- Voltaje de entrada de – 7-12V.
- 54 pines digitales de Entrada/Salida (14 de ellos son salidas PWM).
- 16 entradas analógicas.
- 256k de memoria flash.
- Velocidad del reloj de 16Mhz.



Figura 8. Diseño de placa de Arduino Mega (Arduino, 2011).

Sensores de Gas: Se utilizo un kit completo de sensores de gas de la familia MQ, el kit incluía los siguientes sensores:

Tabla 2. Sensores MQ (Universidad Politécnica de Valencia, 2019).

MQ	Sensibilidad	Otras Sustancias Detectadas
2	Gas Combustible	Metano, Butano, GLP, Humo
3	Alcohol	Etanol, Humo
4	Gas Natural, Metano	Alcohol, Etanol, Humo
5	LPG, Gas Natural	Metano, Gas Natural Comprimido
6	LPG, Propano	Gas Natural, GLP
7	Monóxido de Carbono	Monóxido De Carbono
8	Hidrógeno	Hidrógeno
9	CO, Gas Combustible	Monóxido De Carbono, Gases Inflammables
135	Control De Calidad Del Aire	Benceno, Alcohol, Humo, Arsénico

Se procedió al construir el contenedor por medio de un frasco de vidrio mostrado en la Figura 9, al cual se le hicieron 10 perforaciones para la inserción de los sensores.



Figura 9. Frasco perforado

El sensor de humedad dth 11 se muestra en la Figura 10, el cual es un sensor capaz de medir temperatura y humedad contenida en nuestro contenedor, la temperatura se puede medir en grados centígrados °C y grados fahrenheit °F,

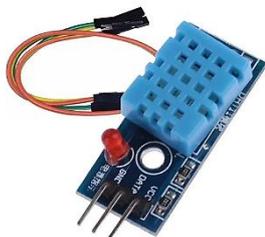


Figura 10. Sensor DTH 11 (Components101, 2021)

El prototipo final se presenta en la Figura 11, que se compone de una placa de Arduino mega, 11 sensores MQ

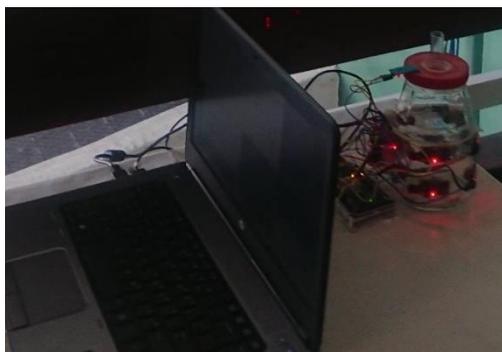


Figura 11. Prototipo.

Cabe mencionar que para las pruebas se ocuparon pipetas esterilizadas en el hospital, estas fueron hechas de manguera plástica transparente de media pulgada.

### Fase 3: Programación

Se elaboro un código escrito en Arduino IDE, como se muestra en las Figuras 12, 13 y 14, para la toma de muestras de laboratorio, posteriormente se procedió a realizar las mediciones de cada uno de los pacientes



Figura 12. Código Arduino parte 1.

```

// Inicializamos el sensor DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

void setup() {
// Inicializamos comunicación serie
Serial.begin(9600);
// Comenzamos el sensor DHT
dht.begin();
    
```

Figura 13. Código Arduino parte 2.

```

//-----Sensores MQ-----
int adc_MQ2 = analogRead(A0); //Lemos la salida analógi
float voltaje = adc_MQ2 * (5.0 / 1023.0); //Convertimos
float Rs=1000*((5-voltaje)/voltaje); //Calculamos Rs c
double Gas_combustible=adc_MQ2*pow(Rs/5463, -1.497); //

int adc_MQ3 = analogRead(A1); //Lemos la salida analógi
float voltaje1 = adc_MQ3 * (5.0 / 1023.0); //Convertimo
float Rs1=1000*((5-voltaje1)/voltaje1); //Calculamos R
double Alcohol=adc_MQ3*pow(Rs1/5463, -1.497); // calcul

int adc_MQ4 = analogRead(A2); //Lemos la salida analógi
float voltaje2 = adc_MQ4 * (5.0 / 1023.0); //Convertimo
float Rs2=1000*((5-voltaje2)/voltaje2); //Calculamos R
double Gas_natural=adc_MQ4*pow(Rs2/5463, -1.497); // ca

int adc_MQ5 = analogRead(A3); //Lemos la salida analógi
float voltaje3 = adc_MQ5 * (5.0 / 1023.0); //Convertimo
float Rs3=1000*((5-voltaje3)/voltaje3); //Calculamos R
double Propano=adc_MQ5*pow(Rs3/5463, -1.497); // calcul

int adc_MQ6 = analogRead(A4); //Lemos la salida analógi
float voltaje4 = adc_MQ6 * (5.0 / 1023.0); //Convertimo
float Rs4=1000*((5-voltaje4)/voltaje4); //Calculamos R
double LPG=adc_MQ6*pow(Rs4/5463, -1.497); // calculamos

int adc_MQ7 = analogRead(A5); //Lemos la salida analógi
    
```

Figura 14. Código Arduino parte 3.

### Fase 4: Pruebas

Se elaboraron pruebas en el laboratorio en el aula, para verificar el buen funcionamiento del prototipo.

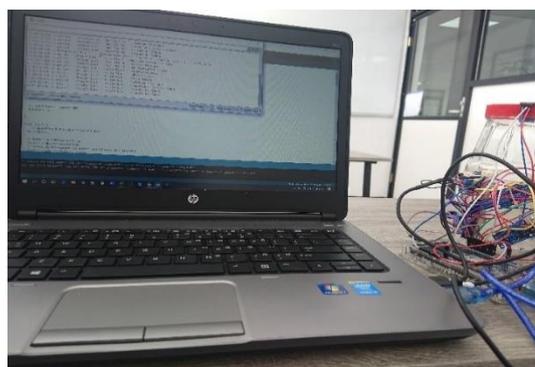


Figura 15. Pruebas de prototipo.

## 5. Desarrollo metodológico

### 5.1 Muestreo

El estudio se realizó en el Hospital General de Ecatepec “Dr. José María Rodríguez” durante el periodo del 02 agosto 2019 al 12 de marzo 2020, en los consultorios, en el laboratorio de toma de muestras de espirometrías, esto siempre y cuando el médico y el paciente lo autorizarán

La toma de muestras se realizó por medio de una nariz electrónica la cual consiste en que el paciente sopla y cuando el prototipo este lleno del aliento de este, se analice la salida de

datos, con los cuales estará alimentándose el sistema, posteriormente se guardó la información.

Se instalaba un módulo en la sala de espera y en un pasillo como se muestra en las Figuras 16 y 17, para tomar las muestras, los martes y jueves, ya que estos días no se permitía tomar muestras en los consultorios o el laboratorio, invitando a los pacientes a participar en la prueba. Se utilizaron pipetas hechas de manguera.



Figura 16. Módulo en sala de espera.



Figura 17. Módulo en pasillo de hospital.

Para esto se elaboró un documento que almacenaba las muestras por número de folio asignado por ticket tomando solo los datos mostrados en la Figura 18, los datos no serán utilizados sin el consentimiento de los mismos, solo con fin de cumplir con nuestra hipótesis y colaborar con un grano de arena a la baja del índice de mortalidad anual a pacientes de EPOC.

Edad ____ Peso ____ Sexo F ____ M ____ Fuma Si ____ No ____ cuantos cigarrillos al día? ____ Toma vino Si No con que frecuencia? ____ Tiene EPOC Si No tipo? ____	Estudio de medición de gases: CO: H: NH3: CN:
--	---

Figura 18. Folios para toma de muestras.

Las muestras que se tomaron en el laboratorio fueron en pacientes con EPOC, en pacientes con altas probabilidades de tener EPOC, ya que fueron enviadas a la prueba de espirometría como se muestra en las Figuras 19 a la 22, y nos dieron permiso de realizarles el estudio.



Figura 19: Paciente con EPOC 2, por inhalar productos químicos en su trabajo.



Figura 20: Paciente con EPOC, con tanque de oxígeno.



Figura 21: Paciente con EPOC, con tanque de oxígeno.



Figura 22: Paciente con EPOC espirometría.

## 5.2 Almacenamiento y procesamiento de la información

Se procedió a almacenar y ejecutar las pruebas pertinentes para el análisis de las pruebas con una muestra de 100 registros por persona por la cual se obtuvieron 10 muestras de cada tipo de EPOC y con 10 personas voluntarias sanas, obteniendo una muestra de 100 personas entre pacientes de EPOC, Pacientes con Asma, Fumadores y personas sanas, como se muestra en las siguientes Figuras 23 y 24.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Humedad	TC	TF	MQ-2	MQ-3	MQ-4	MQ-5	MQ-6	MQ-7	MQ-8	MQ-9	MQ-135	MQ-5
2	29	27.7	81.86	75.98	111.24	28.76	0.55	55.99	54.62	30.6	7.86	57.39	51.94
3	29	27.7	81.86	74.3	128.79	35.52	0.55	57.39	54.62	29.67	7.86	57.39	50.63
4	29	27.7	81.86	74.3	128.17	32.51	0.55	58.81	54.62	30.6	7.86	57.39	50.63
5	29	27.7	81.86	72.64	126.97	29.67	0.55	57.39	54.62	29.67	7.86	57.39	50.63
6	29	27.8	82.04	74.3	128.79	32.51	0.55	55.99	54.62	29.67	7.86	57.39	50.63
7	29	27.8	82.04	72.64	126.36	37.62	0.55	55.99	54.62	29.67	7.86	55.99	50.63
8	29	27.8	82.04	72.64	126.36	30.6	0.55	57.39	54.62	29.67	7.86	55.99	50.63
9	29	27.8	82.04	72.64	126.36	35.52	0.55	58.81	53.27	29.67	7.86	55.99	50.63
10	29	27.8	82.04	72.64	126.97	28.76	0.55	67.82	53.27	29.67	7.86	57.39	50.63
11	29	27.8	82.04	71.01	124.57	28.76	0.55	57.39	53.27	29.67	7.86	55.99	50.63
12	29	27.8	82.04	71.01	124.57	29.67	0.55	57.39	53.27	29.67	7.86	55.99	50.63
13	29	27.8	82.04	71.01	124.57	30.6	0.55	64.72	53.27	29.67	7.86	55.99	50.63
14	29	27.8	82.04	72.64	126.97	30.6	0.55	67.82	53.27	29.67	7.86	57.39	50.63
15	29	27.8	82.04	69.4	122.2	29.67	0.55	66.26	53.27	29.67	7.86	55.99	49.34
16	29	27.8	82.04	71.01	123.97	28.76	0.55	60.26	53.27	29.67	7.86	55.99	50.63
17	29	27.8	82.04	69.4	122.2	39.8	0.55	61.72	53.27	28.76	7.86	55.99	49.34
18	29	27.7	81.86	69.4	124.57	28.76	0.55	61.72	53.27	28.76	7.86	55.99	49.34
19	29	27.7	81.86	69.4	122.2	31.54	0.55	61.72	51.94	28.76	7.86	55.99	49.34
20	29	27.7	81.86	69.4	122.2	26.99	0.55	69.4	51.94	28.76	7.86	55.99	49.34
21	29	27.7	81.86	69.4	122.2	26.14	0.55	63.21	51.94	28.76	7.86	55.99	49.34
22	29	27.8	82.04	69.4	122.79	26.99	0.55	61.72	51.94	28.76	7.86	55.99	49.34
23	29	27.8	82.04	67.82	120.44	27.87	0.55	66.26	51.94	28.76	7.86	55.99	49.34

Figura 23. Recolección de muestras.

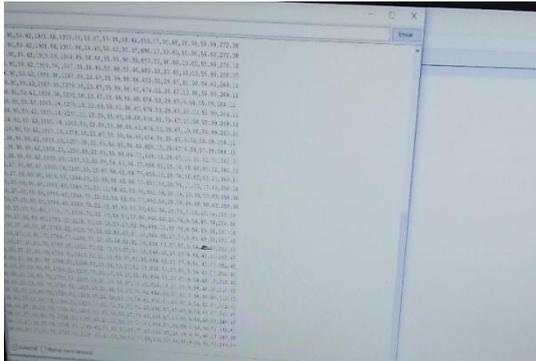


Figura 24. Toma de muestras.

### 5.3 Análisis de Resultados

Se analizaron los resultados de las pruebas y se realizarán las estadísticas pertinentes para la cantidad de 60 personas con EPOC y sanas. Se analizaron las pruebas con el software Matlab, tomando en cuenta el diseño de neuronas plasmado en la Figura 25.

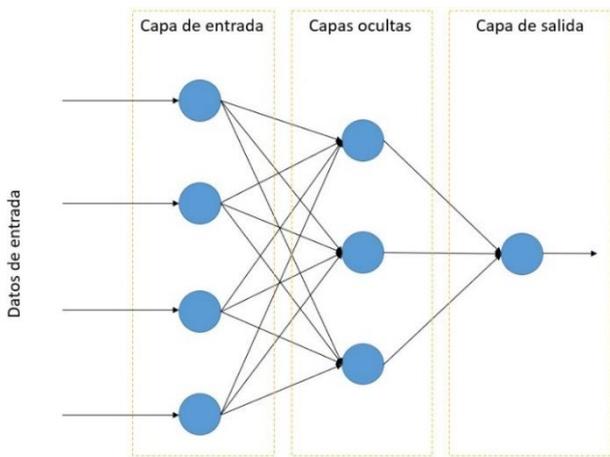


Figura 25. Diseño de la red neuronal. (InteractiveChaos, 2023)

Entrenamiento de la red neuronal por medio de Matlab mostrado en las en las Figuras de la 26 a la 28.

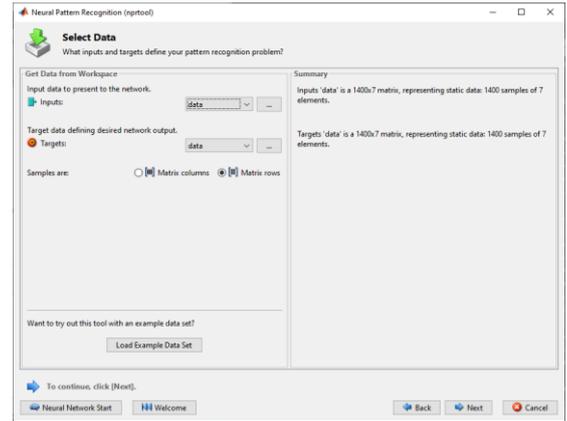


Figura 26. Introducción de los valores.

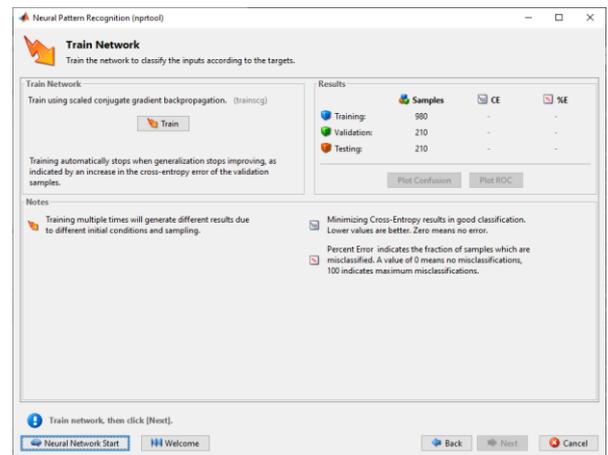


Figura 27. Entrenamiento

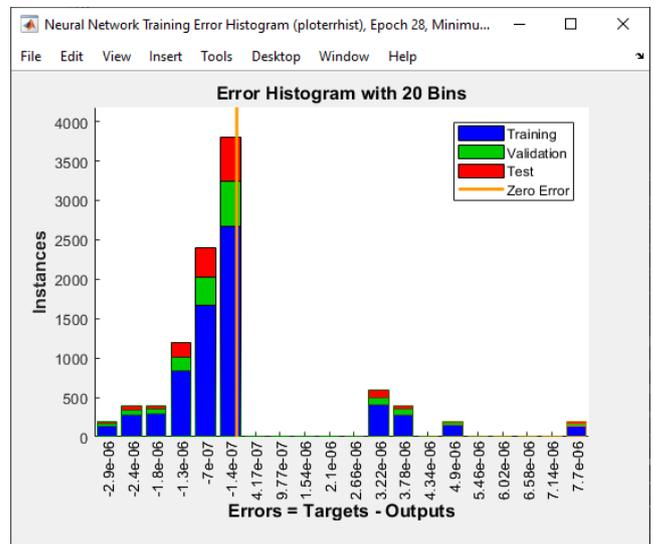


Figura 28. Histograma.

### 5.4 Actualización

Con el análisis de los resultados y se harán las mejoras específicas del circuito ya que se llegó a la conclusión de que solo ciertos sensores marcaban la diferencia.

## Conclusiones

Debido a la aceptación del estudio en el hospital general de Ecatepec “Dr. José María Rodríguez” por un periodo de seis meses, las muestras obtenidas, se clasificaron según su calidad, el prototipo permitió evaluar las reacciones de las respuestas a los procedimientos de investigación, las mediciones obtenidas de los niveles de amoníaco, monóxido de carbono y el cianuro en el aliento de los pacientes de EPOC fueron altas. La red neuronal pudo clasificar con una precisión del 92% después de concluir su entrenamiento en 28 épocas.

Se busca contribuir con una prueba adicional a la detección de EPOC, de una manera menos laboriosa o tediosa para los pacientes de manera no invasiva, se pretende perfeccionarlo para lograr un nivel de eficiencia aceptable por el sector salud.

## Referencias

- American Lung Association. (2023). *Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)*. Obtenido de Recursos en español: <https://www.lung.org/espanol/epoc>
- Aqicn. (10 de Septiembre de 2023). *Contaminación del aire de Villa de las Flores, México*. Obtenido de <https://aqicn.org/city/mexico/mexico/villa-de-las-flores/es/>
- Arduino. (Octubre de 2011). <https://forum.arduino.cc/t/arduino-mega-custom/74004>.
- Components101. (16 de Julio de 2021). *DHT11–Temperature and Humidity Sensor*. Obtenido de <https://components101.com/sensors/dht11-temperature-sensor>
- Cordero, N. (13 de Junio de 2007). *Sensores Digitales*. Obtenido de Narices Electrónicas : <https://osnaiberdimperio.blogspot.com>
- Durán Acevedo, C. M., & Gualdrón Guerrero, O. E. (14 de Febrero de 2018). *Desarrollo de un Sistema de Olfato Electrónico para la detección de cáncer Gástrico a través del aliento exhalado*. Obtenido de Universidad de Pamplona: [http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/3208/1/Caceres\\_2018\\_TG.pdf](http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/3208/1/Caceres_2018_TG.pdf)
- Durán Acevedo, C. M., & Torres, L. I. (Junio de 2014). *Desarrollo de un sistema embebido con tecnología DSP para un sistema multisensorial (Nariz electrónica)*. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-17982014000100004](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-17982014000100004)
- Espinosa R., G. M. (2010). *El aparato respiratorio, innovación y experiencias educativas*.
- Expansión. (20 de Noviembre de 2014). *La EPOC toma la vida de más de 21,000 mexicanos al año*. Obtenido de <https://expansion.mx/salud/2014/11/20/la-epoc-toma-la-vida-de-mas-de-21000-mexicanos-al-ano>
- InteractiveChaos. (Agosto de 2023). *El Perceptrón Multicapa*. Obtenido de <https://interactivechaos.com/es/manual/tutorial-de-deep-learning/el-perceptron-multicapa>
- IQAir. (17 de Octubre de 2023). *Calidad del aire en Ecatepec*. Obtenido de Índice de calidad del aire (ICA) y contaminación del aire PM2.5 en Ecatepec: <https://www.iqair.com/mx/mexico/state-of-mexico/ecatepec-de-morelos>
- ITEFI. (2014). *Instituto de Tecnologías Físicas y de la Información Leonardo Torres Quevedo*. Obtenido de <https://www.itefi.csic.es/es/divulgacion/el-grupo-de-id-en-sensores-participa-en-la-exposicion-la-vid-el-vino-y-el-csic>
- MedicalNewsToday. (28 de Junio de 2019). *Lo que debes saber sobre la enfermedad pulmonar obstructiva crónica en la etapa final de la vida*. Obtenido de <https://www.medicalnewstoday.com/articles/es/copd-y-muerte>
- Mordor Intelligence. (2023). *Análisis del tamaño del mercado y la participación de la nariz electrónica tendencias y pronósticos de crecimiento*. Obtenido de Descripción general de la industria de la nariz electrónica: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/electronic-nose-market>
- Moreno, I., Caballero, R., Matía, F., & Jiménez, A. (Julio de 2009). *Researchgate*. Obtenido de La Nariz Electrónica: Estado del Arte: [https://www.researchgate.net/publication/228937186\\_La\\_Nariz\\_Electronica\\_Estado\\_del\\_Arte](https://www.researchgate.net/publication/228937186_La_Nariz_Electronica_Estado_del_Arte)
- Murky Robot. (21 de Junio de 2023). *Sensores MQ: Detector de Gases*. Obtenido de <https://www.murkyrobot.com/guias/sensores/sensores-mq>
- Naylamp Mechatronics. (2016). *TUTORIAL SENSORES DE GAS MQ2, MQ3, MQ7 Y MQ135*. Obtenido de [https://naylampmechatronics.com/blog/42\\_tutorial-sensores-de-gas-mq2-mq3-mq7-y-mq135.html](https://naylampmechatronics.com/blog/42_tutorial-sensores-de-gas-mq2-mq3-mq7-y-mq135.html)
- Organización Mundial de la Salud. (29 de Mayo de 2019). *La OMS destaca la enorme magnitud de la mortalidad por enfermedades pulmonares relacionadas con el tabaco*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news/item/29-05-2019-who-highlights-huge-scale-of-tobacco-related-lung-disease-deaths>
- Organización Mundial de la Salud. (25 de Abril de 2020). *Las 10 principales causas de defunción*. Obtenido de <https://laboratoriolimed.com/blog/f/las-10-principales-causas-de-defuncion>
- Rojas Moreno, A. P., Elias Bruges, R., Cañas Arboleda, A., & Jaramillo García, L. F. (6 de FEBRERO de 2017). *Regulación epigenética en cáncer de pulmón: implicaciones para el clínico*. Obtenido de <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/vnimedica/article/view/17884>
- Salud México. (16 de Noviembre de 2016). *Día Mundial de la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica*. Obtenido de [https://twitter.com/SSalud\\_mx/status/798968932413669382](https://twitter.com/SSalud_mx/status/798968932413669382)
- Secretaría de Salud. (10 de Enero de 2016). *Adicción al tabaco, principal causa de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica*. Obtenido de [https://www.gob.mx/salud/articulos/sabias-que-10-de-la-poblacion-mexicana-padece-epoc#:~:text=En%20México%2C%20el%2010%20por,de%20Enfermedades%20Respiratorias%20\(INER\)](https://www.gob.mx/salud/articulos/sabias-que-10-de-la-poblacion-mexicana-padece-epoc#:~:text=En%20México%2C%20el%2010%20por,de%20Enfermedades%20Respiratorias%20(INER))
- Universidad Politécnica de Valencia. (Junio de 2019). *Sistema de sensado mediante Arduino y una matriz de sensores de gases industriales*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/123654/Díaz%20-%20Sistema%20de%20sensado%20mediante%20Arduino%20y%20%20matriz%20de%20sensores%20de%20gases%20industriales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vera, E. (19 de Julio de 2019). *Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)*. Obtenido de <https://www.newsdigitales.com/salud/enfermedad-pulmonar-obstructiva-cronica-epoc/>
- Wise, R. A. (Mayo de 2022). *Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)*. Obtenido de <https://www.msmanuals.com/es-mx/hogar/trastornos-del-pulmon-y-las-vias-respiratorias/enfermedad-pulmonar-obstructiva-cronica-epoc/enfermedad-pulmonar-obstructiva-cronica-epoc>
- Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co. (2023). *Technical Data MQ-135*. Obtenido de <https://uelectronics.com/wp-content/uploads/2018/01/SNS-MQ135.pdf>