



**UNIÓN DE ASOCIACIONES DE INGENIEROS  
TÉCNICOS INDUSTRIALES Y GRADUADOS EN  
INGENIERÍA DE LA RAMA INDUSTRIAL DE ESPAÑA  
(UAIIE)**

**“CONVOCATORIA 2026”**

**XI PREMIO NACIONAL DE INICIACIÓN A  
LA INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA**

**REACTAIR**

**Sistema electrónico de detección de gases tóxicos para la  
prevención de intoxicaciones**

**AUTORES:**

Juan Pérez Núñez  
Celia Sedano Caballero  
Lorena Rodríguez Velásquez

**BLOQUE TEMÁTICO:**

Seguridad Ambiental

**NIVEL EDUCATIVO:**

Ciclo Formativo de Grado Medio

**COORDINADORA:**

Miriam Pascual Martín

**Marzo 2026**

## RESUMEN

El proyecto consiste en el desarrollo de un sistema educativo de detección de monóxido de carbono (CO) utilizando componentes electrónicos accesibles. Su objetivo es simular el funcionamiento de un detector doméstico, midiendo la concentración de CO y activando alertas visuales y acústicas según distintos niveles de riesgo.

El sistema combina un microcontrolador, un sensor de CO, LEDs de colores y un buzzer para mostrar el estado del ambiente. En la simulación se utilizó un potenciómetro para emular la señal del sensor, permitiendo demostrar la lógica de activación de alarmas y el filtrado de la señal.

El proyecto implementa un retardo temporal para la activación de alarmas y utiliza señales visuales y acústicas diferenciadas según el nivel de alerta. La propuesta demuestra la viabilidad de un prototipo funcional y su utilidad como recurso educativo para enseñar conceptos de seguridad frente al CO.

## PALABRAS CLAVE

- Seguridad Doméstica
- Seguridad Ambiental
- Detección de Gases
- Monóxido de Carbono
- Muerte Dulce
- Sensor Electroquímico
- Microcontrolador

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	4
<b>1.1. Contexto del problema</b> .....	4
<b>1.2 Importancia de la detección de gases peligrosos</b> .....	4
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	5
<b>2.1. Objetivo general</b> .....	5
<b>2.2. Objetivos específicos</b> .....	5
<b>3. MARCO TEÓRICO</b> .....	6
<b>3.1. Monóxido de Carbono</b> .....	6
<b>3.2. Los riesgos asociados al Monóxido de Carbono</b> .....	7
<b>3.3. Casos reales y estadísticas (España 2025-2026)</b> .....	8
<b>3.4. Fundamentos teóricos detección - Norma EN 50291-1:2018</b> .....	9
3.4.1. Matriz concentración-tiempo .....	9
3.4.2. Fundamento de la Relación Concentración – Tiempo .....	10
3.4.4. Requisitos señalización (Sección 5.2): .....	11
<b>4. MATERIALES Y COMPONENTES DEL PROTOTIPO</b> .....	12
<b>4.1. Microcontrolador</b> .....	12
<b>4.2. Sensores de gases</b> .....	12
4.2.1. Tipos de sensores de detección de gases .....	12
4.2.2. Sensor Utilizado .....	14
<b>4.3. Sistema de señalización y alarma</b> .....	14
4.3.1. Señalización visual .....	15
4.3.2. Señalización acústica .....	15
<b>4.4. Resumen Visual</b> .....	16
<b>5. METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL SISTEMA</b> .....	17
<b>5.1. Tiempo de Respuesta y Filtrado de Señal</b> .....	17
<b>5.2. Código del Sistema</b> .....	18
<b>5.3. Simulación en Tinkercard</b> .....	18
5.3.1. Simulación .....	18
5.3.2. Estados de funcionamiento del sistema .....	18
<b>5.4. Prototipo Físico</b> .....	19
<b>5.5. Video del Proyecto</b> .....	19
<b>6. CONCLUSIÓN</b> .....	20

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Contexto del problema

En la vida cotidiana existen situaciones en las que se produce una acumulación silenciosa de gases peligrosos sin que las personas sean plenamente conscientes del riesgo. Esto ocurre en viviendas, garajes, locales pequeños y otros espacios cerrados donde se utilizan sistemas de combustión, equipos de calefacción o motores, o donde simplemente no existe una renovación adecuada del aire. El problema no es solo que el gas esté presente, sino que, al no ser percibido por los sentidos, la exposición puede prolongarse durante bastante tiempo antes de que aparezcan señales claras de alarma.

Dentro de este problema general, el monóxido de carbono ocupa un lugar especialmente importante porque es uno de los gases más peligrosos que pueden aparecer en ambientes interiores. Se trata de un gas que no se ve, no huele y no irrita, por lo que pasa completamente desapercibido para la persona expuesta. Esa invisibilidad es precisamente lo que lo hace tan peligroso: mientras el aire exterior puede parecer normal, en realidad puede contener un contaminante capaz de desplazar el oxígeno disponible para el cuerpo y provocar una intoxicación progresiva.

El verdadero riesgo no está únicamente en la presencia del gas, sino en el hecho de que su efecto sobre el organismo avanza de forma silenciosa. La persona puede seguir haciendo su vida normal, hablar, moverse o incluso dormir, mientras su sangre va perdiendo la capacidad de transportar oxígeno de forma eficaz. Por eso, el problema del CO no debe entenderse como una molestia puntual, sino como una amenaza real para la seguridad de las personas en cualquier entorno donde exista combustión mal controlada o ventilación insuficiente.

### 1.2 Importancia de la detección de gases peligrosos

Detectar a tiempo el monóxido de carbono es fundamental porque este gas no ofrece señales sensoriales de aviso. A diferencia de otros contaminantes que pueden producir olor, picor o irritación, el CO puede estar presente durante horas sin que nadie note nada extraño. Esto hace que un detector no sea un elemento accesorio, sino una herramienta preventiva esencial para interrumpir el proceso antes de que el daño sea grave.

La importancia de esta detección radica en que, una vez que el gas comienza a acumularse, la respuesta humana llega tarde si solo depende de notar síntomas.

La intoxicación por CO suele empezar con molestias vagas y fáciles de confundir con cansancio, gripe o malestar general. Cuando la persona se da cuenta de que algo va mal, el proceso puede estar ya muy avanzado. Un sistema de detección convierte un peligro invisible en una señal clara, comprensible y útil para actuar a tiempo.

Además, la detección no solo protege a la persona que está sintiendo los síntomas, sino también a quienes están alrededor y pueden no haberse enterado de lo que ocurre. Un detector puede avisar de manera inmediata de que hay que ventilar, detener la fuente que origina el gas y salir del lugar si la situación es grave. En ese sentido, detectar el CO no es solo una cuestión técnica, sino una medida de protección de la vida y de la salud que evita que un problema invisible termine en una intoxicación severa o en una muerte que ocurre sin aviso aparente.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

De forma general el objetivo del trabajo es diseñar y desarrollar un sistema electrónico capaz de detectar la presencia de monóxido de carbono en un entorno interior y de avisar de forma clara cuando exista una situación de riesgo.

El proyecto busca unir la parte técnica de la medida electrónica con una respuesta práctica de seguridad, de modo que el sistema sirva como una solución funcional frente a un gas que no puede percibirse por los sentidos.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Diseñar un sistema electrónico capaz de detectar concentraciones de CO mediante un sensor específico y procesar esa información en un microcontrolador.
- Establecer umbrales de aviso y alarma que permitan diferenciar entre una situación normal, una situación de riesgo y una situación peligrosa.
- Implementar un sistema de señalización visual y acústica que alerte de forma clara y rápida cuando se supere el nivel de seguridad establecido.
- Verificar el funcionamiento del prototipo mediante simulación y pruebas básicas de respuesta ante variaciones en la concentración estimada de CO.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono, conocido como CO, es un gas tóxico que se produce por la combustión incompleta de materiales que contienen carbono. Esta combustión incompleta ocurre cuando no hay suficiente oxígeno para que el combustible se oxide por completo, o cuando la mezcla entre combustible y aire no es la adecuada. En condiciones normales de combustión completa, el carbono del combustible se transforma principalmente en dióxido de carbono; sin embargo, cuando el proceso no se desarrolla correctamente, parte de ese carbono se convierte en monóxido de carbono. Esto puede suceder, por ejemplo, en una estufa mal ajustada, una caldera con ventilación deficiente, un brasero en una habitación cerrada o un motor funcionando en un espacio sin renovación de aire. En todos estos casos, el problema no es solo la presencia del aparato, sino la combinación entre el tipo de combustión, la falta de oxígeno y la ausencia de ventilación suficiente.

Desde el punto de vista físico, el monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro e insípido, lo que significa que no puede detectarse por la vista, el olfato ni el gusto. Esa característica lo convierte en un contaminante especialmente peligroso, porque puede acumularse en el aire sin generar ninguna señal sensorial evidente para las personas. En cuanto a su densidad, el CO tiene una densidad aproximada de  $1,145 \text{ kg/m}^3$  a condiciones normales, mientras que la del aire es de aproximadamente  $1,225 \text{ kg/m}^3$ . Esto significa que el CO es ligeramente menos denso que el aire, por lo que tiende a mezclarse con él y a repartirse por el ambiente. Aun así, en espacios cerrados o con circulación deficiente puede acumularse con facilidad y mantenerse presente en zonas respirables durante mucho tiempo. Por eso, aunque no sea un gas mucho más pesado que el aire, el riesgo real no desaparece: basta con que el recinto esté mal ventilado para que la concentración aumente hasta niveles peligrosos.

El verdadero peligro del monóxido de carbono está en su efecto sobre la sangre. Cuando una persona lo inhala, el CO pasa a los pulmones y de ahí a la sangre, donde se une con gran facilidad a la hemoglobina, que es la proteína encargada de transportar el oxígeno. La afinidad del CO por la hemoglobina es muy superior a la del oxígeno, por lo que el gas desplaza al oxígeno de su lugar de unión y forma carboxihemoglobina. Como resultado, la sangre pierde capacidad para llevar oxígeno a los tejidos y se produce hipoxia, es decir, una falta de oxígeno en los órganos. Esto afecta sobre todo al cerebro y al corazón, que son especialmente sensibles a la disminución del aporte de oxígeno.

### 3.2. Los riesgos asociados al Monóxido de Carbono

El riesgo del monóxido de carbono no depende únicamente de que esté presente, sino de la concentración en el aire y del tiempo de exposición. A medida que aumenta la concentración inhalada, la cantidad de CO que se une a la hemoglobina también aumenta, y con ello disminuye de forma progresiva el transporte de oxígeno a los tejidos. Por eso, una exposición pequeña puede pasar desapercibida, mientras que una exposición mantenida o elevada puede provocar síntomas graves en muy poco tiempo. El problema principal es que el CO no produce señales de alarma sensoriales, de modo que la persona no siempre percibe el peligro hasta que ya ha comenzado la intoxicación.

La siguiente tabla recoge de forma más técnica la relación entre concentración de CO en ppm, tiempo de exposición aproximado y efectos sobre la salud.

CONCENTRACIÓN DE CO (ppm)	TIEMPO DE EXPOSICIÓN APROXIMADO	EFFECTOS SOBRE LA SALUD
0 – 9 ppm	Exposición habitual	No suele producir efectos en personas sanas
10 – 24 ppm	Exposición Prolongada	Puede provocar malestar leve en personas sensibles
25 – 50 ppm	Varias horas	Dolor de cabeza, cansancio, ligera dificultad de concentración
50 – 100 ppm	Entre 1 y 2 horas	Mareo, náuseas, debilidad, somnolencia inicial
100 – 200 ppm	Menos de 1 hora	Cefalea intensa, confusión, pérdida de atención, malestar importante
200 – 400 ppm	Exposición corta	Alteraciones neurológicas, desorientación, pérdida de coordinación
400 – 800 ppm	Exposición muy breve	Perdida de conciencia, riesgo grave para la vida
Más de 800 ppm	Segundos	Riesgo de muerte por intoxicación aguda

Esta tabla deja ver que el monóxido de carbono es especialmente peligroso porque sus efectos no aparecen de forma brusca al principio, sino que avanzan de manera silenciosa. En concentraciones moderadas, la persona puede seguir con su actividad normal pensando que solo tiene cansancio o un pequeño malestar, cuando en realidad ya está sufriendo una intoxicación. Por eso, en un detector de CO no basta con identificar “si hay gas o no”, sino que es necesario establecer distintos niveles de riesgo en función de la concentración real medida.

Las intoxicaciones mortales por CO se caracterizan por ser descubiertas postmortem, cuando las víctimas ya se encuentran en estado de inconsciencia

profunda o fallecidas durante el sueño, momento en el que ningún aviso manual es posible.

### 3.3. Casos reales y estadísticas (España 2025-2026)

En España, diferentes fuentes sanitarias estiman que cada año se producen entre 5.000 y 10.000 intoxicaciones por monóxido de carbono, con alrededor de 125 fallecimientos anuales, principalmente en viviendas y durante la época de frío. La mayoría de los episodios están relacionados con un mal mantenimiento de las calderas, una ventilación inadecuada o el uso de braseros y estufas en habitaciones cerradas.

Los accidentes por exposición a monóxido de carbono continúan produciéndose tanto en viviendas como en instalaciones públicas. Diversos incidentes registrados en España muestran el riesgo asociado a fugas de este gas, especialmente cuando los sistemas de ventilación o combustión presentan fallos.

En la Tabla se presentan algunos ejemplos de incidentes recientes y el número de personas afectadas.

FECHA	LUGAR	INCIDENTE	FALLECIDOS	AFECTADOS
29 Abril de 2025	Galicia	Generador eléctrico durante apagón sin ventilación.	3	3
25 de Noviembre de 2025	Málaga	Mala combustión de calentador sin salida al exterior.	4	4
25 de Diciembre de 2025	Palencia	Posible fuga de CO por sistema de calefacción	1	4
1 de Enero de 2026	Cáceres	Calefacción defectuosa en vivienda.	1	2
8 de Enero de 2026	Soria	Calefacción de coche en garaje cerrado.	2	2
25 de Enero de 2026	Girona	Fallo en el sistema de calefacción con acumulación de CO en el interior.	0	35
22 de Febrero de 2026	Sevilla	Combustión defectuosa de aparato de gas.	2	2

Los accidentes por exposición a monóxido de carbono continúan produciéndose tanto en viviendas como en instalaciones públicas. Diversos incidentes registrados en España muestran el riesgo asociado a fugas de este gas, especialmente cuando los sistemas de ventilación o combustión presentan fallos.

### 3.4. Fundamentos teóricos detección - Norma EN 50291-1:2018

La detección de monóxido de carbono en viviendas no se basa únicamente en “avisar cuando hay gas”, sino en hacerlo de acuerdo con criterios técnicos muy concretos que tengan en cuenta tanto la concentración como el tiempo de exposición. Esto es importante porque el monóxido de carbono no produce siempre el mismo efecto de forma inmediata: una concentración baja puede no ser peligrosa si dura poco tiempo, mientras que una concentración moderada mantenida durante más tiempo sí puede llegar a serlo. Por esa razón, la norma europea EN 50291-1:2018 establece unos requisitos mínimos para los detectores domésticos de CO, de forma que estos aparatos no reaccionen de manera arbitraria, sino siguiendo una lógica basada en la seguridad real de las personas.

Esta norma define cómo debe comportarse un detector de monóxido de carbono en una vivienda para que sea considerado fiable. Entre otros aspectos, fija los niveles de disparo, los tiempos máximos de respuesta, las condiciones de señalización acústica y visual, y el aviso de fin de vida útil del aparato. En otras palabras, no solo indica cuándo debe sonar la alarma, sino también cómo debe hacerlo, durante cuánto tiempo puede soportar una exposición y qué información debe dar al usuario para que el equipo siga siendo seguro con el paso del tiempo.

#### 3.4.1. Matriz concentración-tiempo

Uno de los conceptos más importantes de esta norma es la matriz concentración-tiempo. Esto significa que el detector no debe actuar únicamente por alcanzar una concentración concreta, sino por la combinación entre concentración y duración de la exposición. La lógica es sencilla: no es lo mismo estar unos segundos expuesto a una cantidad pequeña de CO que permanecer varios minutos o incluso horas en un ambiente contaminado. Por eso, la norma establece distintos umbrales en función del tiempo.

La siguiente tabla resume esa matriz de forma clara:

CONCENTRACIÓN DE CO	TIEMPO MÁXIMO SIN DISPARO O TIEMPO DE RESPUESTA	INTERPRETACIÓN
50 ppm	30 minutos	El detector no debe alarmar antes de este tiempo
100 ppm	90 minutos	El detector debe soportar esta exposición sin disparo prematuro
300 ppm	3 minutos	La alarma debe activarse con rapidez
400 ppm	75 segundos	La respuesta debe ser prácticamente inmediata

Esta tabla muestra que cuanto mayor es la concentración de CO, menor es el tiempo permitido antes de que el detector active la alarma. La razón es que una concentración elevada acelera la acumulación de carboxihemoglobina en sangre y, por tanto, incrementa el riesgo de intoxicación grave en un periodo mucho más corto. La norma, por tanto, está diseñada para evitar tanto dos errores: que el detector alarme demasiado pronto sin motivo, como que tarde demasiado en avisar cuando la exposición es realmente peligrosa.

#### 3.4.2. Fundamento de la Relación Concentración – Tiempo

La base de esta matriz está en el efecto acumulativo del monóxido de carbono sobre el organismo. El CO no actúa solo por estar presente, sino por permanecer el tiempo suficiente en el aire para ser inhalado de forma continua. Cada minuto de exposición contribuye a que aumente la cantidad de CO unida a la hemoglobina, y por tanto la cantidad de oxígeno que deja de llegar a los tejidos.

Para expresar esta relación de forma aproximada, puede utilizarse una ecuación simplificada que relaciona la concentración de CO, el tiempo de exposición y el porcentaje de carboxihemoglobina en sangre:

$$[COHb]\% = \frac{[CO \text{ ppm}] \cdot \text{minutos exposición} \cdot 0,00015}{1 + ([CO \text{ ppm}] \cdot \text{minutos exposición} \cdot 0,00015)}$$

COHb % es el porcentaje estimado de carboxihemoglobina en sangre.

Esta expresión no pretende sustituir a una medición médica real, pero sí ayuda a entender por qué la norma combina concentración y tiempo. En términos prácticos, cuanto mayor sea la exposición, mayor será la cantidad de CO que se fija a la hemoglobina y más probable será que aparezcan síntomas de intoxicación.

#### 3.4.3. Validación del Criterio de la Norma

La norma EN 50291-1:2018 no se basa en una idea abstracta, sino en ensayos que buscan comprobar que el detector responde en el momento adecuado. Esa verificación se hace para confirmar que el equipo no alarma en situaciones no peligrosas, pero sí lo hace cuando el riesgo ya es real. Por eso se habla de validación: porque el detector debe demostrar, mediante pruebas, que cumple exactamente los tiempos y concentraciones definidos por la norma.

- 50ppm × 90min → COHb 2,5% (límite asintomático)
- 300ppm × 3min → COHb 8% (cefalea garantizada)
- 400ppm × 75s → COHb 10% (riesgo cardiovascular)

Esto significa que, por ejemplo, una exposición a 50 ppm durante un periodo corto no debería activar la alarma, ya que la norma considera que todavía no se ha alcanzado una situación crítica. Sin embargo, si la concentración sube hasta 300 o 400 ppm, la respuesta del detector debe ser mucho más rápida, porque en esos casos el margen de seguridad es muy pequeño. La validación sirve precisamente para comprobar que el comportamiento del aparato coincide con esa lógica de seguridad y no con una reacción aleatoria o excesivamente lenta.

#### 3.4.4. Requisitos señalización (Sección 5.2):

Los requisitos de señalización son una de las partes más importantes de la norma, porque de poco serviría detectar el CO si el usuario no recibe un aviso claro, comprensible y suficientemente intenso. La alarma debe ser perceptible incluso en situaciones en las que la persona esté dormida, distraída o en otra habitación. Por ello, la norma exige tanto una señalización acústica como visual.

La señal sonora debe alcanzar un nivel mínimo de 85 dB(A) a 3 metros, lo que garantiza que el aviso sea suficientemente fuerte para despertar o alertar a los ocupantes de la vivienda. Este valor no es arbitrario: busca equilibrar la necesidad de llamar la atención con la posibilidad real de que el sonido se escuche en un entorno doméstico normal.

La señal visual también es esencial. El detector debe contar con un indicador claramente visible, capaz de informar del estado del sistema y de la existencia de alarma. Esto permite que cualquier persona, incluso si no oye bien el sonido o se encuentra en una habitación cercana, pueda identificar que existe un problema. En muchos detectores, esta indicación se hace mediante un LED o un sistema de luces que cambia de color según el estado del aparato.

Además, la norma exige que el detector avise del fin de vida útil. Esto es muy importante porque los sensores no duran para siempre. Con el tiempo pueden perder sensibilidad, dar lecturas incorrectas o dejar de responder como deberían. Para evitar que un usuario confíe en un aparato que ya no es fiable, el detector debe indicar claramente cuándo ha llegado al final de su vida útil. En la práctica, esto significa que el dispositivo no solo debe ser seguro cuando se instala, sino también durante toda su vida de funcionamiento.

Por eso, la señalización en la norma no se limita a “hacer ruido”, sino que forma parte del diseño global de seguridad. El detector debe informar, advertir y mantener su fiabilidad durante años, de manera que el usuario pueda confiar en él como una verdadera barrera frente a la intoxicación por monóxido de carbono.

## 4. MATERIALES Y COMPONENTES DEL PROTOTIPO

Para la construcción del prototipo REACTAIR se han seleccionado componentes electrónicos estándar, accesibles económicamente y ampliamente disponibles en tiendas especializadas y plataformas de prototipado educativo. Esta selección responde a tres criterios fundamentales: funcionalidad técnica completa, facilidad de adquisición para cualquier usuario y posibilidad de reproducción exacta por terceros. Cada componente ha sido elegido no solo por su precio competitivo, sino también por su fiabilidad demostrada en aplicaciones similares y su compatibilidad perfecta entre la fase de simulación virtual y la implementación física real.

### 4.1. Microcontrolador

El microcontrolador utilizado en el sistema es el ELEGOO UNO R3, una placa compatible con Arduino basada en el microcontrolador ATmega328P. Este dispositivo constituye el núcleo del sistema, ya que es el encargado de gestionar toda la lógica de funcionamiento del detector.

El ELEGOO UNO R3 dispone de una arquitectura de 8 bits, una frecuencia de funcionamiento de 16 MHz y un convertor analógico-digital (ADC) de 10 bits. Este convertor permite transformar señales analógicas, como la salida del sensor de CO, en valores digitales que pueden ser interpretados por el programa.

Dentro del sistema REACTAIR, el microcontrolador realiza múltiples funciones. En primer lugar, lleva a cabo la lectura periódica de la señal analógica procedente del sensor. Posteriormente, convierte esta señal en una estimación de concentración de CO en ppm. A continuación, compara estos valores con los umbrales establecidos y determina el estado del sistema. Finalmente, controla los elementos de salida, como los LEDs y el buzzer, activándolos en función del nivel de riesgo detectado.

El uso de esta placa se justifica por su bajo coste, facilidad de uso y gran disponibilidad en el ámbito educativo.

### 4.2. Sensores de gases

#### 4.2.1. Tipos de sensores de detección de gases

Existen diferentes tecnologías para detectar gases tóxicos. En detectores domésticos y sistemas industriales las dos más utilizadas son:

- sensores electroquímicos
- sensores de óxido metálico semiconductor

A continuación, se presenta una comparación entre ambos tipos.

	<b>SENSOR ELECTROQUÍMICO</b>	<b>SENSOR ÓXIDO METÁLICO</b>
<b>PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO</b>	Reacción química que genera corriente eléctrica	Cambio de resistencia en un semiconductor
<b>SELECTIVIDAD</b>	Alta (detección de gases específicos)	Baja (detección de varios gases)
<b>PRECISIÓN</b>	Alta	Media
<b>CONSUMO ENERGÉTICO</b>	Bajo	Mayor
<b>COSTE</b>	Alto	Bajo
<b>USO TÍPICO</b>	Detectores profesionales	Prototipos y sensores domésticos

▪ Sensores electroquímicos

Estos sensores contienen un electrolito y electrodos que reaccionan químicamente con el gas objetivo.

La reacción genera una corriente eléctrica proporcional a la concentración del gas.

Ventajas:

- alta precisión
- buena selectividad
- utilizados en detectores certificados

Limitaciones:

- coste más elevado
- vida útil limitada

▪ Sensores de óxido metálico

Estos sensores utilizan un material semiconductor (normalmente dióxido de estaño, SnO<sub>2</sub>).

Cuando ciertos gases entran en contacto con la superficie del sensor, se produce un cambio en la resistencia eléctrica del material.

Este cambio es medido por el microcontrolador y transformado en una estimación de concentración.

Ventajas:

- bajo coste
- fácil integración electrónica

Limitaciones:

- menor selectividad
- sensibilidad cruzada a varios gases

- alta sensibilidad
- influencia de temperatura y humedad

Debido a su simplicidad y bajo coste, los sensores MOS son ampliamente utilizados en prototipos y proyectos educativos.

#### 4.2.2. Sensor Utilizado

El sensor seleccionado es el modelo ZE07-CO, un sensor electroquímico especializado en la detección de monóxido de carbono.

Este sensor trabaja en un rango de 0 a 500 ppm y proporciona una salida analógica comprendida entre 0,4 V y 2,0 V, manteniendo una relación lineal entre el voltaje y la concentración de CO. Esto permite convertir directamente la señal eléctrica en valores de concentración.

En la simulación en Tinkercad, este sensor ha sido sustituido por un potenciómetro, que permite generar una señal analógica equivalente dentro del mismo rango de voltaje.

#### 4.3. Sistema de señalización y alarma

El sistema incorpora un mecanismo de señalización dual que permite informar al usuario del estado del ambiente tanto de forma visual como acústica.

En condiciones normales, cuando la concentración de CO es baja, el sistema mantiene encendido el LED verde y no emite ningún tipo de señal sonora, indicando que el ambiente es seguro.

ESTADO	CONCENTRACIÓN DE CO (ppm)	SEÑALIZACIÓN VISUAL	SEÑALIZACIÓN ACÚSTICA
Normal	0 – 29 ppm	LED verde	Sin sonido
Aviso	30 – 70 ppm	LED amarillo	Pitidos Intermitentes
Alarma	Más de 70 ppm	LED rojo	Pitidos intermitentes y rápidos

Para comprender de forma clara cómo responde el sistema ante los distintos niveles de concentración de monóxido de carbono, se presenta a continuación una tabla resumen en la que se relacionan los estados de funcionamiento del dispositivo con la concentración de CO, la señalización visual y la señalización acústica correspondiente.

Tal y como se observa en la tabla, el sistema presenta tres estados diferenciados. En primer lugar, el estado normal corresponde a concentraciones bajas de CO, inferiores a 30 ppm, en las que el dispositivo indica seguridad mediante el encendido del LED verde y la ausencia de señal acústica.

Cuando la concentración de CO alcanza o supera los 30 ppm, el sistema entra en estado de aviso. En este caso, se activa el LED amarillo junto con una señal acústica intermitente, caracterizada por pitidos más espaciados en el tiempo. Este comportamiento indica una situación de precaución, en la que es necesario prestar atención a la posible presencia de gas.

Por último, cuando la concentración supera los 70 ppm, el sistema pasa al estado de alarma. En este nivel, se activa el LED rojo y el buzzer emite una señal acústica más rápida y continua, diseñada para alertar de forma inmediata a los usuarios ante una situación de riesgo elevado.

Es importante destacar que estos cambios de estado no se producen de forma instantánea, sino que dependen de la permanencia de la concentración por encima de los umbrales durante un tiempo determinado, lo que permite evitar falsas alarmas debidas a variaciones puntuales.

#### 4.3.1. Señalización visual

El sistema utiliza tres LEDs de colores diferentes para indicar el estado del detector, siguiendo un código intuitivo similar al de un semáforo:

- LED verde (estado normal): Indica que la concentración de CO es baja y el ambiente es seguro. Permite que cualquier persona pueda identificar de inmediato que no existe riesgo.
- LED amarillo (estado de aviso): Señala que la concentración ha alcanzado niveles intermedios. Este color de precaución alerta al usuario para que permanezca atento a la evolución de la concentración.
- LED rojo (estado de alarma): Indica un nivel de riesgo elevado de monóxido de carbono. Su encendido llama la atención de manera inmediata, alertando al usuario de que se debe tomar acción para proteger la seguridad.

#### 4.3.2. Señalización acústica






El sistema incorpora un buzzer que complementa la señalización visual, proporcionando alertas sonoras para los distintos estados:


- Sin sonido (estado normal): El buzzer permanece apagado cuando la concentración de CO es baja, manteniendo un ambiente tranquilo.

- Pitidos intermitentes (estado de aviso): Cuando el detector alcanza el nivel de aviso, el buzzer emite breves pitidos cada aproximadamente 2 segundos, señalando una situación de precaución sin alarma urgente.
- Pitidos rápidos y continuos (estado de alarma): Al superar el umbral de alarma, el buzzer activa un patrón rápido y repetitivo, simulando una alarma constante que alerta inmediatamente al usuario sobre un riesgo elevado.

El buzzer capaz de emitir una señal sonora superior a 85 dB, cumpliendo con los niveles de alarma habituales en detectores domésticos de gases. Esta señal permite alertar rápidamente a las personas presentes en el lugar, incluso si no están observando directamente el dispositivo.

#### 4.4. Resumen Visual

COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	IMÁGENES
Elegoo uno R3	Microcontrolador principal del sistema	
ZE07 – CO	Sensor de gas de tipo electroquímico	
LED rojo	Indicador de alarma	
LED amarillo	Indicador de aviso	
LED verde	Estado normal	

Buzzer	Alarma acústica	
--------	-----------------	---

## 5. METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL SISTEMA

El proyecto REACTAIR tiene como objetivo desarrollar un sistema de detección de monóxido de carbono (CO) educativo, combinando simulación digital y prototipo físico, para mostrar cómo un detector doméstico evalúa la concentración de gas y activa alertas visuales y acústicas según distintos niveles de riesgo. Dado que los recursos no permitieron utilizar un sensor comercial ZE07-CO real, se ha empleado un potenciómetro en todos los casos, que simula la señal de voltaje analógica proporcional a la concentración de CO. Esto permite demostrar la lógica de activación de las alarmas y el filtrado temporal de la señal, así como incorporar tablas con la relación voltaje–ppm.

### 5.1. Tiempo de Respuesta y Filtrado de Señal

El sistema realiza lecturas de manera periódica cada segundo (1 Hz).

- La alarma de aviso se activa si la concentración supera el umbral de 30 ppm durante 1 minuto.
- La alarma crítica se activa si se superan los 70 ppm durante 1 minuto.
- La desactivación de cada estado se produce con un retardo adicional de 10 segundos, evitando cambios bruscos ante variaciones momentáneas de la señal.

Este retardo temporal actúa como histéresis, evitando cambios de estado continuos ante pequeñas fluctuaciones de la señal.

Es importante recalcar que, aunque en apartados anteriores se mencionaron los tiempos y configuraciones inspirados en la norma europea EN 50291-1:2018, en este punto nos centramos en lo que realmente se ha implementado en el prototipo y la simulación. Por limitaciones de recursos y con fines didácticos, los tiempos de activación de las alarmas se han reducido a 1 minuto para el nivel de aviso y se mantiene 10 segundos adicionales antes de desactivarse, mientras que los umbrales de concentración se han ajustado al rango que permite observar claramente el comportamiento del sistema. Esto facilita la comprensión de la lógica del detector y permite demostrar su funcionamiento práctico, sin seguir estrictamente los estándares europeos que serían más exigentes y prolongados.

## 5.2. Código del Sistema

El código empleado es el mismo tanto para la simulación en Tinkercad como para el prototipo físico. El microcontrolador ELEGOO UNO R3:

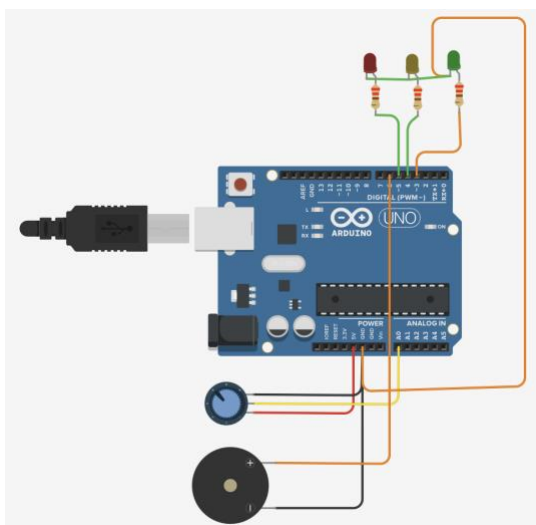
- Lee la señal analógica del potenciómetro, que simula la salida del sensor.
- Convierte el voltaje en ppm mediante una relación lineal.
- Compara el valor con los umbrales de alerta.
- Activa los LEDs y el buzzer según el nivel de riesgo.

## 5.3. Simulación en Tinkercard

En la simulación, el potenciómetro sustituye al sensor de CO para generar un voltaje proporcional a la concentración de gas. Esto permite:

- Ajustar manualmente el valor de voltaje.
- Observar la lógica de activación de los LEDs y del buzzer.
- Registrar datos para análisis y generación de tablas.

### 5.3.1. Simulación



### 5.3.2. Estados de funcionamiento del sistema

ESTADO	ACCIÓN	CONCENTRACIÓN DE CO (ppm)	VOLTAJE
Normal	LED verde	0 ppm	0,40 V
Normal	LED verde	10 ppm	0,43 V
Aviso	LED amarillo + buzzer	30 ppm	0,50 V

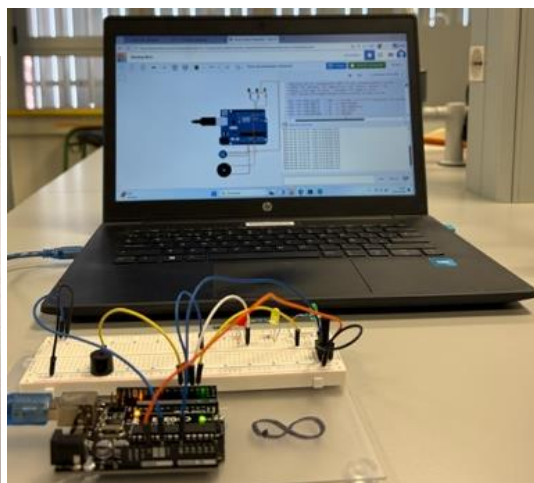
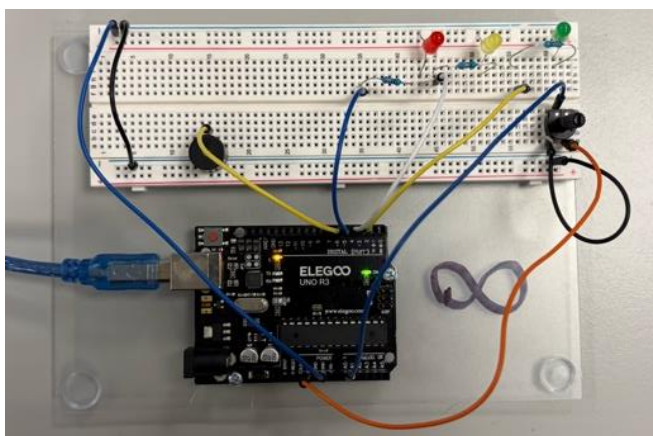
<b>Aviso</b>	LED amarillo + buzzer	70 ppm	0,62 V
<b>Alarma</b>	LED rojo + buzzer	100 ppm	0,72 V
<b>Alarma</b>	LED rojo + buzzer	500 ppm	2,00 V

#### 5.4. Prototipo Físico

El prototipo físico reproduce la simulación de Tinkercad con los mismos componentes:

- Microcontrolador ELEGOO UNO R3.
- LEDs verde, amarillo y rojo.
- Buzzer para alarma acústica.
- Potenciómetro en lugar del sensor ZE07-CO para emular la concentración de CO.

Se mantiene el mismo filtrado temporal y las mismas reglas de activación para los LEDs y el buzzer. Este enfoque permite observar en tiempo real el comportamiento del sistema y analizar datos de concentración, tiempos de respuesta y registros CSV.



#### 5.5. Video del Proyecto

En este espacio se incluye el vídeo requerido por la convocatoria, asociado al proyecto. Aquí se puede visualizar el archivo tal y como se ha entregado junto con la memoria.

<https://youtu.be/9sbhlhIt1AE?si=EBb9nGljOU4HFjFp>

## 6. CONCLUSIÓN

REACTAIR demuestra cómo un sistema educativo de detección de monóxido de carbono puede transformar un peligro invisible en una alerta clara y comprensible. Su nombre combina “REACT”, haciendo referencia a la reacción química que ocurre al detectar CO, y “AIR”, recordando que el aire es el medio en el que se mide el gas, transmitiendo así de forma sencilla su función y propósito.



El sistema muestra visual y acústicamente los niveles de riesgo, convirtiendo la seguridad doméstica en algo visible y tangible. Si el aire es peligroso, la química te avisa, ayudando a prevenir intoxicaciones antes de que se produzcan y educando sobre la importancia de la monitorización del CO en el hogar.



Nuestro detector instalado en un entorno doméstico refuerza la idea de que REACTAIR no solo es un proyecto educativo, sino también un ejemplo de cómo la tecnología puede acercar la prevención de riesgos al día a día de las familias.

Entre las posibles mejoras para el sistema, se contemplan:

- Integrar un ESP32 para enviar alertas remotas por Wi-Fi y Bluetooth.
- Incorporar sensores adicionales para detectar otros gases peligrosos y ampliar la funcionalidad.
- Desarrollar una carcasa impresa en 3D, protegiendo los componentes y mejorando la instalación doméstica.

En definitiva, REACTAIR combina educación, seguridad y tecnología en un sistema didáctico que convierte la detección de CO en una experiencia comprensible y útil, acercando la seguridad invisible a los hogares de manera efectiva.