

Sistema empotrado y aplicación web para la monitorización vía internet de la concentración de CO2 y la ocupación en salas interiores.

Autor: Fernando D. López

www.fernando.info

Málaga, 2021

1. *Summary*
2. **Introducción**
3. **Especificaciones del sistema**
4. **Desarrollo del sistema**
5. **Verificación y pruebas**
6. **Manual de instalación y uso**
7. **Conclusiones y líneas futuras**

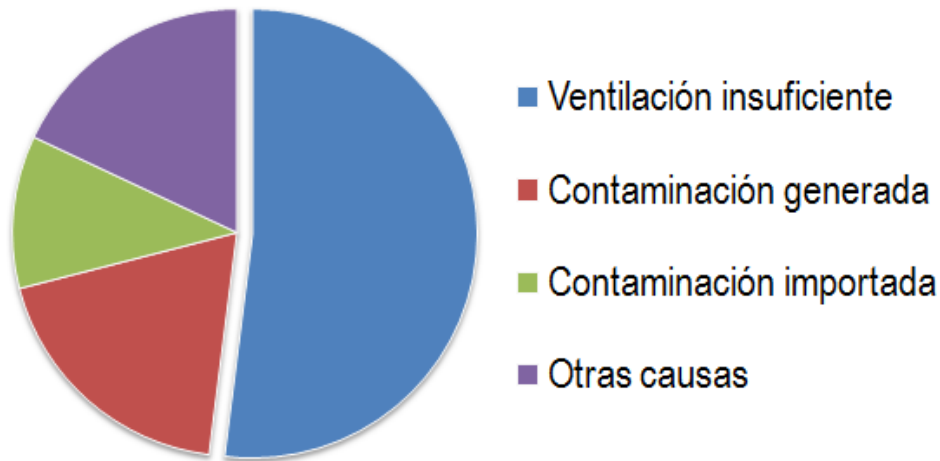
Development of embedded system and web app for monitoring concentration of CO₂ and occupancy in indoor environments.



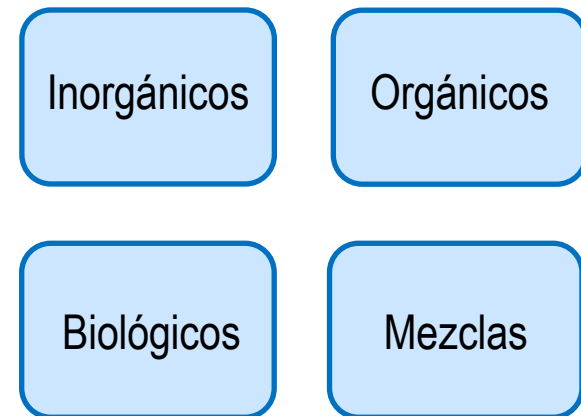
Introducción: Calidad de aire interior

Las personas permanecen el **90%** del tiempo en interiores [1].

Síndrome del edificio enfermo (SEE) [2]



Clasificación de contaminantes



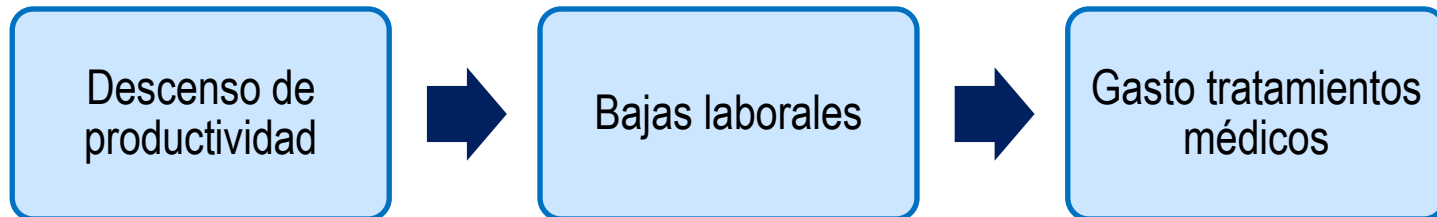
[1] Environmental Protection Agency, "A comparison of indoor and outdoor concentrations of hazardous air pollutants", United States of America, 1998.

[2] X. Guardino, "Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo", Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Introducción: Efectos sobre la salud

- 2M fallecidos/año por contaminación del aire interior (OMS).
- Décima causa de muerte en países desarrollados.

Afecta a la economía



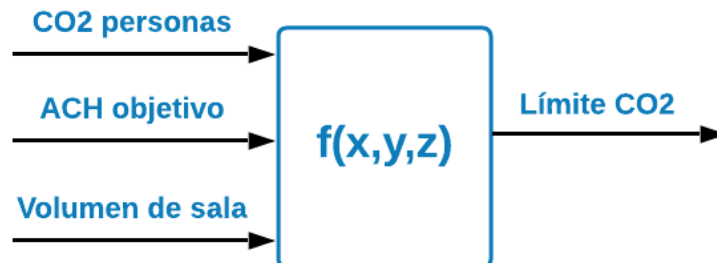
Introducción: Parámetro ACH

Parámetro ACH: tasa de renovación de aire por hora [3].

Umbral de concentración CO2 tolerable según nivel de ACH objetivo:

$$CO2_{\text{límite}} = \frac{(GenCO2 + ObjAireExt * ConcCO2Ext * 1 * 10^{-6})}{(ObjAireExt * 1 * 10^{-6})} \text{ ppm}$$

Parámetros	
<i>GenCO2:</i>	CO2 generado por personas en sala.
<i>ConcCO2Ext:</i>	concentración de CO2 en exterior.(400 ppm)
<i>ObjAireExt:</i>	objetivo de aire considerando nivel ACH seleccionado y volumen de sala.



[3] J. Allen, J. Spengler, E. Jones, "Guía en 5 pasos para medir la tasa de renovación de aire en aulas", Harvard Healthy Buildings program.

Introducción: Soluciones en mercado

Empresas que ofrecen productos tecnológicos para monitorizar concentraciones de contaminantes en internet [4] [5] [6]:

Soluciones tecnológicas

Empresa	Producto	Monitoriza CO2	Monitoriza ocupación	Aplicación web/móvil	Coste
Aeroqual Limited	Serie 930	Sí. (0-5.000 ppm)	No	No	500 €
TSI Incorporated	4-gas AirAssure™	Sí. (0-10.000 ppm)	No	Sí	850 € + 250 €/año acceso a aplicación.
AirboxLab S.A.	Foobot	No	No	Sí	230 €

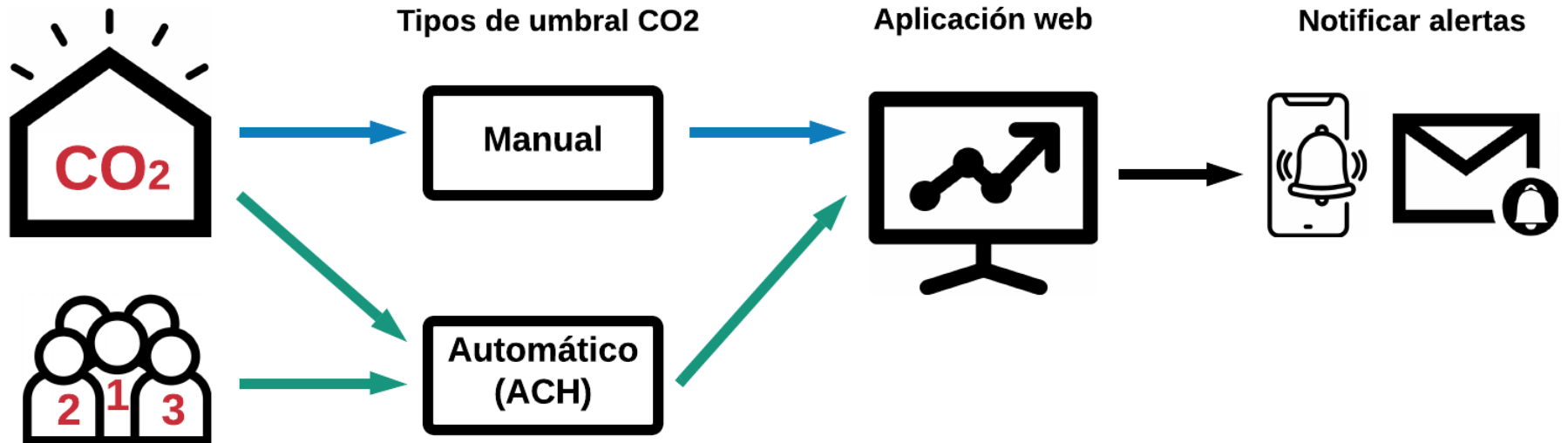
[4] Aeroqual Enterprise, "Indoor air quality monitors". Accesible en la dirección: <https://www.aeroqual.com/indoor-air-quality-monitors>

[5] TSI Incorporated Enterprise, "Indoor air quality". Accesible en la dirección: <https://tsi.com/solutions/>

[6] Airboxlab Enterprise, "Foobot". Accesible en la dirección: <https://foobot.io>

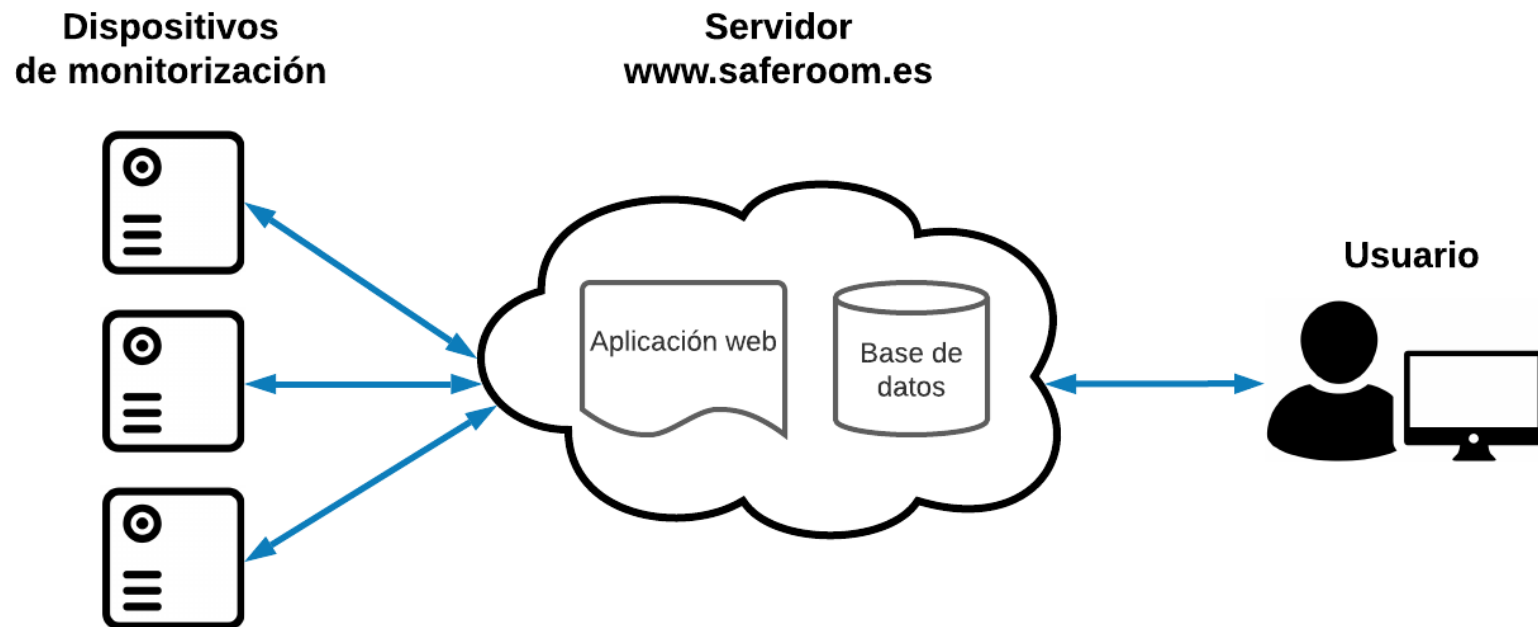
Introducción: Objetivo

Mantener la calidad del aire interior en niveles saludables.

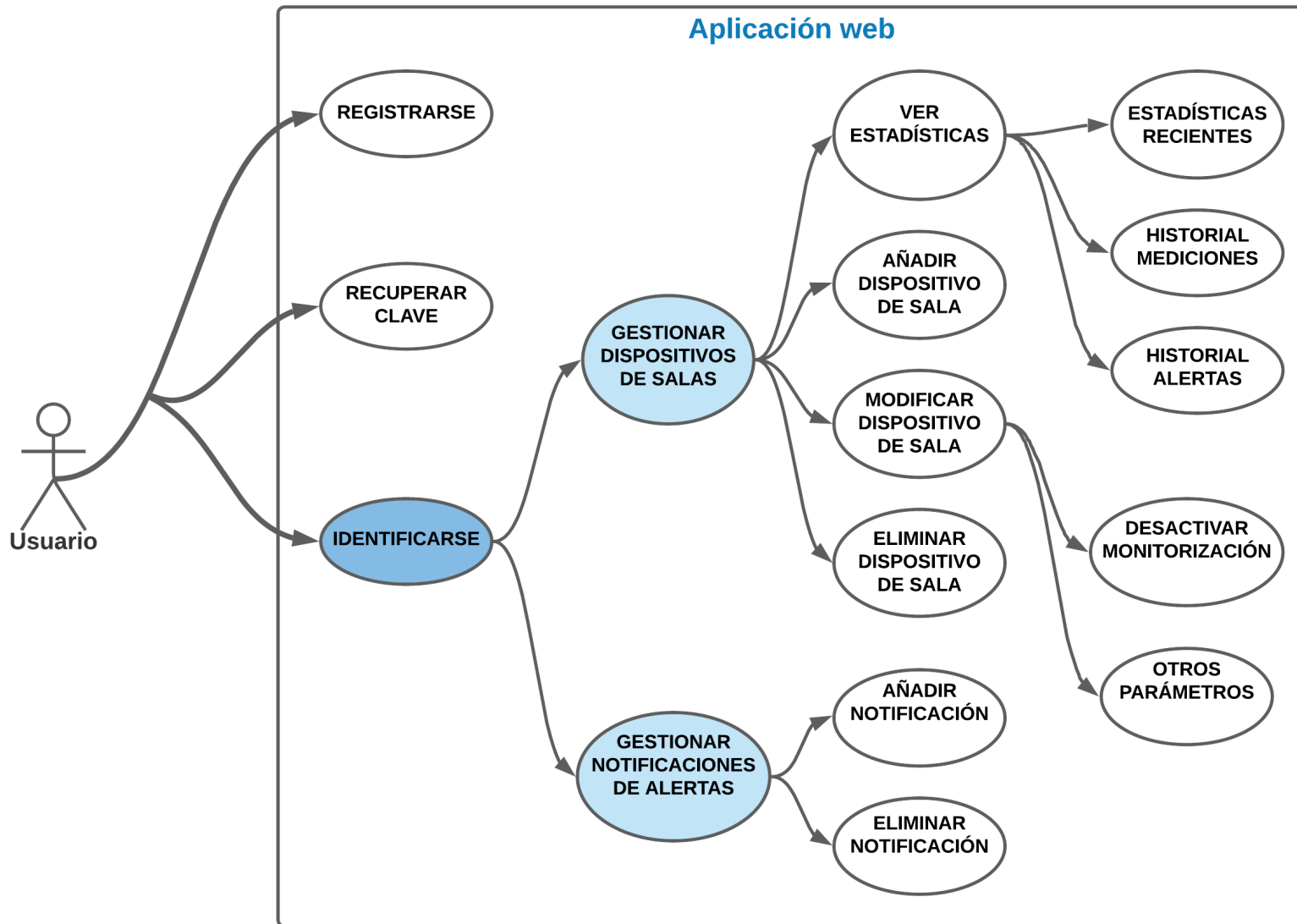


1. *Summary*
2. **Introducción**
3. **Especificaciones del sistema**
4. **Desarrollo del sistema**
5. **Verificación y pruebas**
6. **Manual de instalación y uso**
7. **Conclusiones y líneas futuras**

Diagrama global del sistema

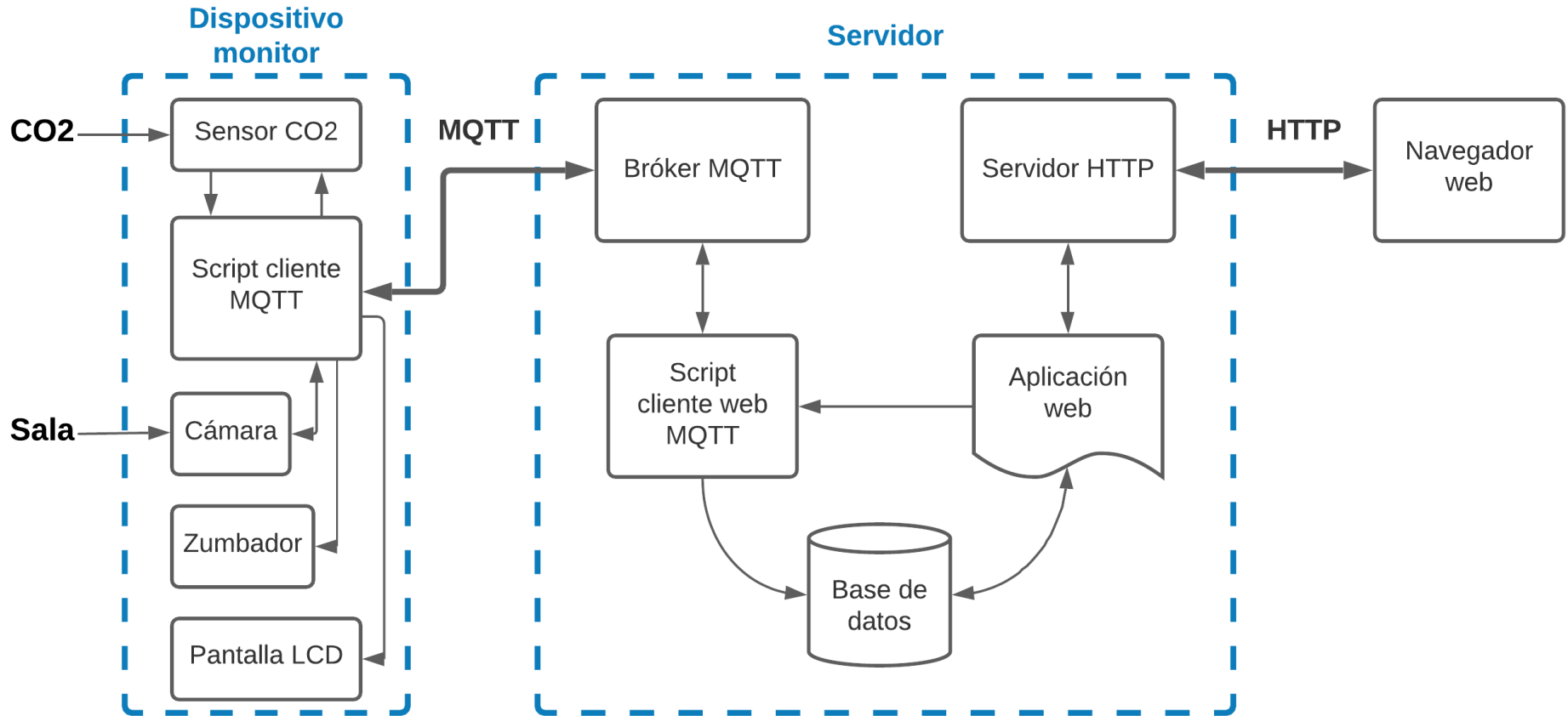


Especificaciones del sistema: Casos de uso



1. *Summary*
2. Introducción
3. Especificaciones del sistema
4. **Desarrollo del sistema**
5. Verificación y pruebas
6. Manual de instalación y uso
7. Conclusiones y líneas futuras

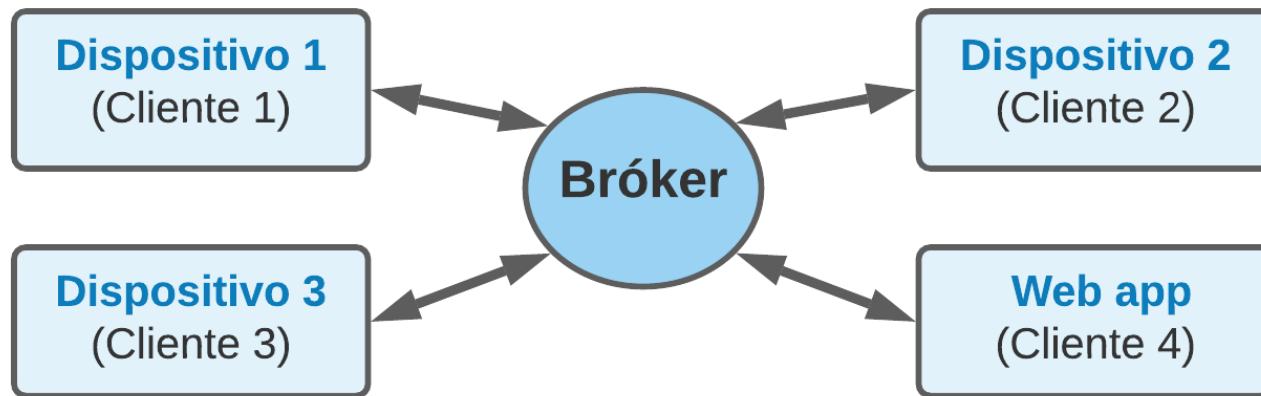
Desarrollo del sistema: Diagrama de bloques



Desarrollo del sistema: Protocolo MQTT

Protocolo de comunicación *machine to machine* (M2M) de tipo *message queue* basado en la pila TCP/IP.

Mensajería *push* con publicador/suscriptor organizado como temas o *topics* jerarquizados.



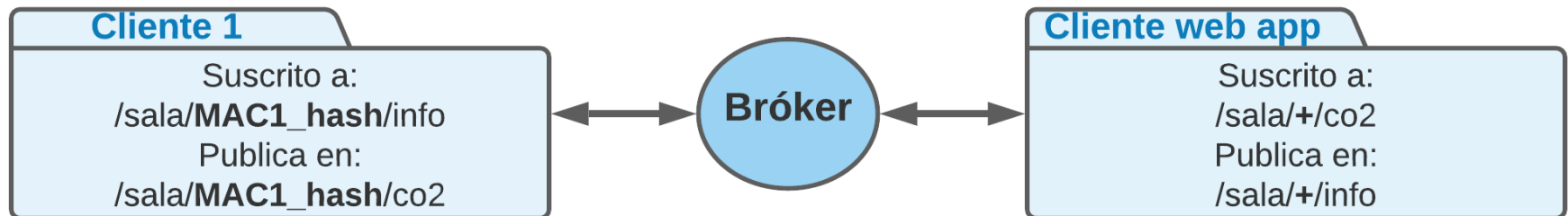
Calidad de servicio aplicada: **QoS2**

Desarrollo del sistema: Seguridad en MQTT

Medidas de seguridad aplicadas:

- ✓ No permitir conexiones anónimas.
- ✓ Requerir identificación para enviar mensaje.
- ✓ Limitar quién puede publicar/suscribirse a *topics*.

Temas o *topics* utilizados:



Desarrollo del sistema: Dispositivo monitor

Raspberry Pi 4B 4 GB



Pantalla LCD 1602 I2C



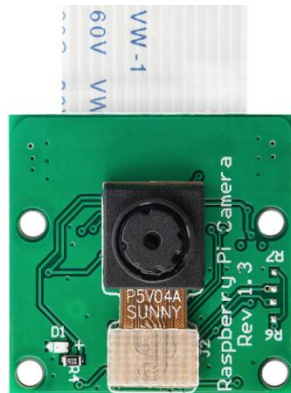
Zumbador sonoro activo



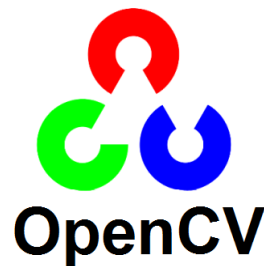
Desarrollo del sistema: Dispositivo monitor (2)



Sensor de CO2 MH-Z19B	
Tecnología	NDIR (infrarrojo no dispersivo)
Salida	Serial (UART)
Calibración	Manual. Automática (<i>firmware</i> → ABC)
Rango	0-5.000 ppm

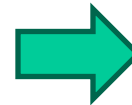


¿Cómo determinar la ocupación en salas?



Clasificador:

Haar Cascade

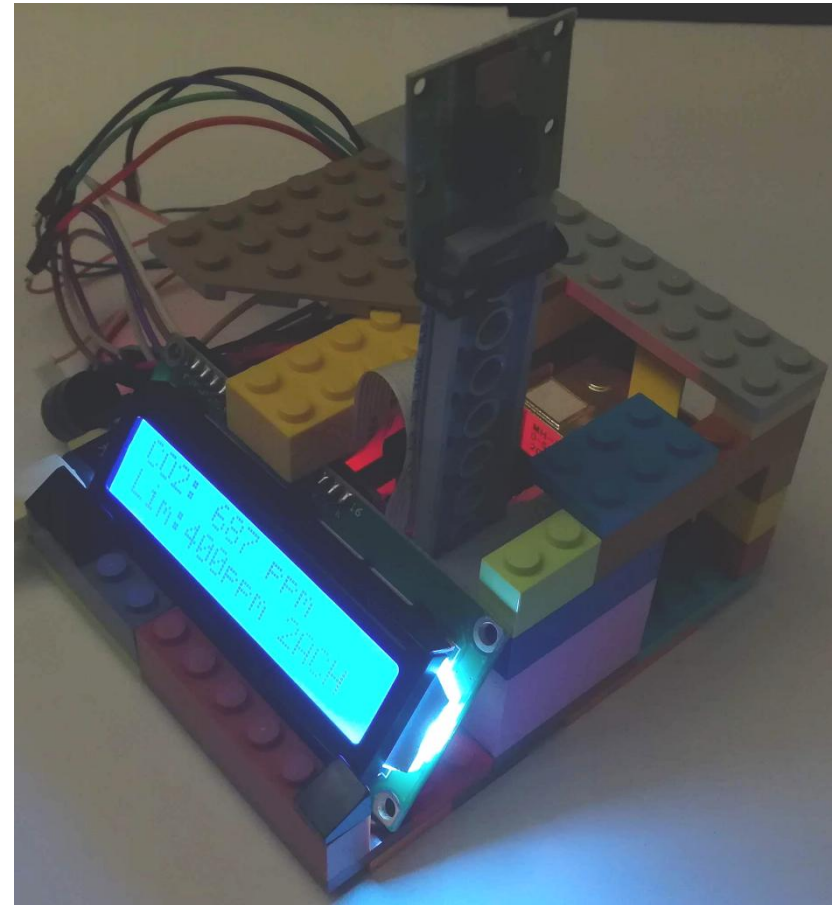
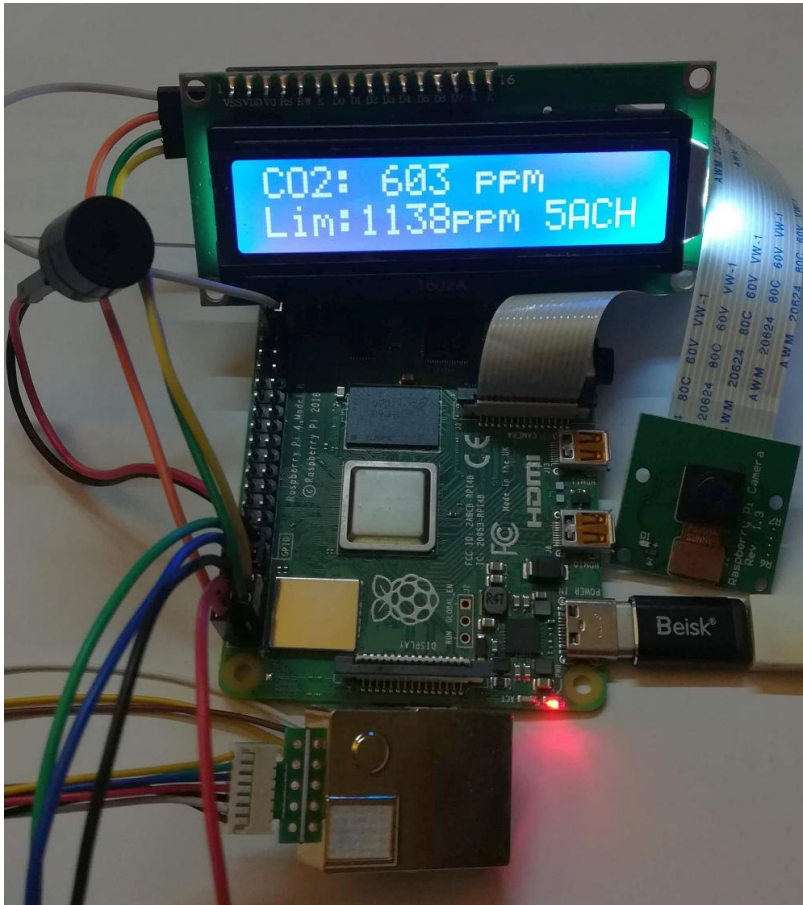


Keras

Método:

MTCNN

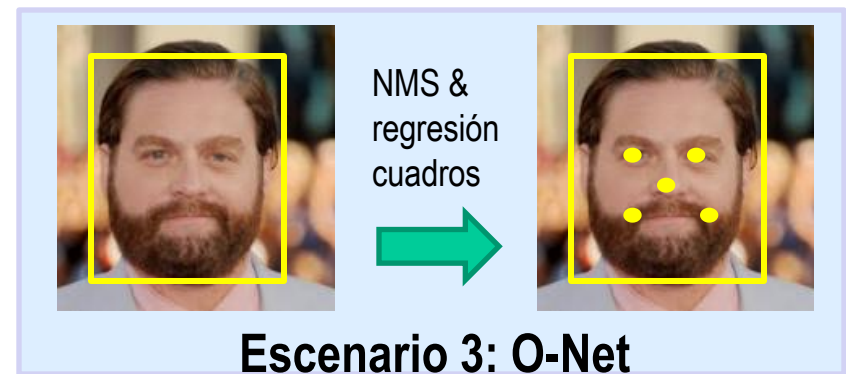
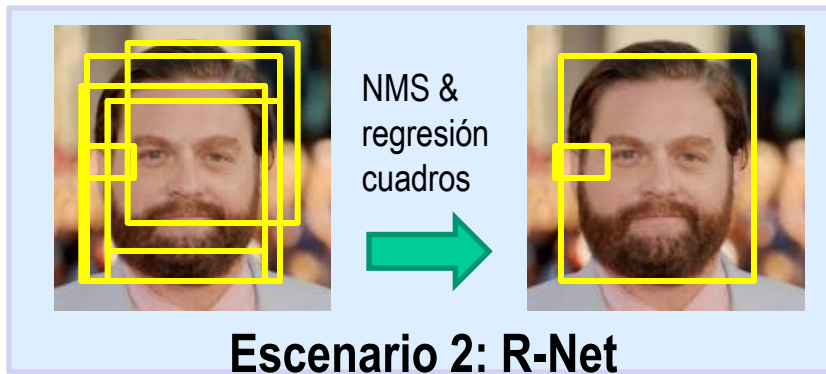
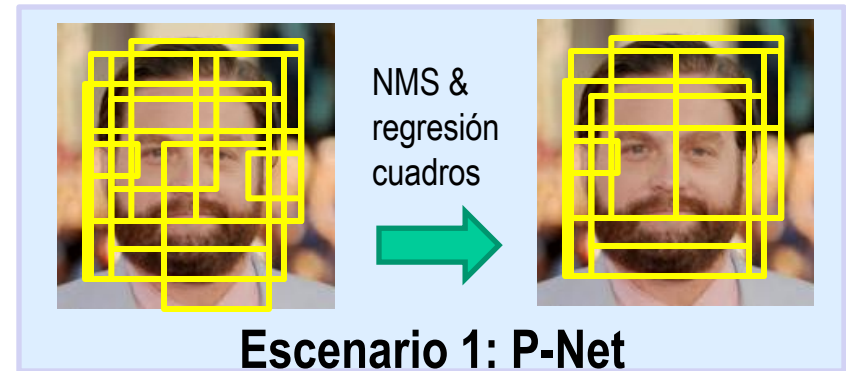
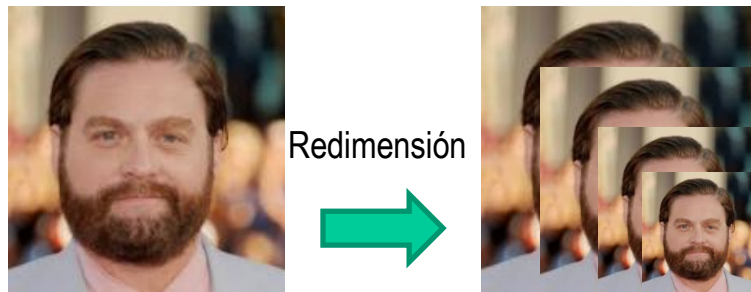
Desarrollo del sistema: dispositivo prototipo



Desarrollo del sistema: Identificación de caras

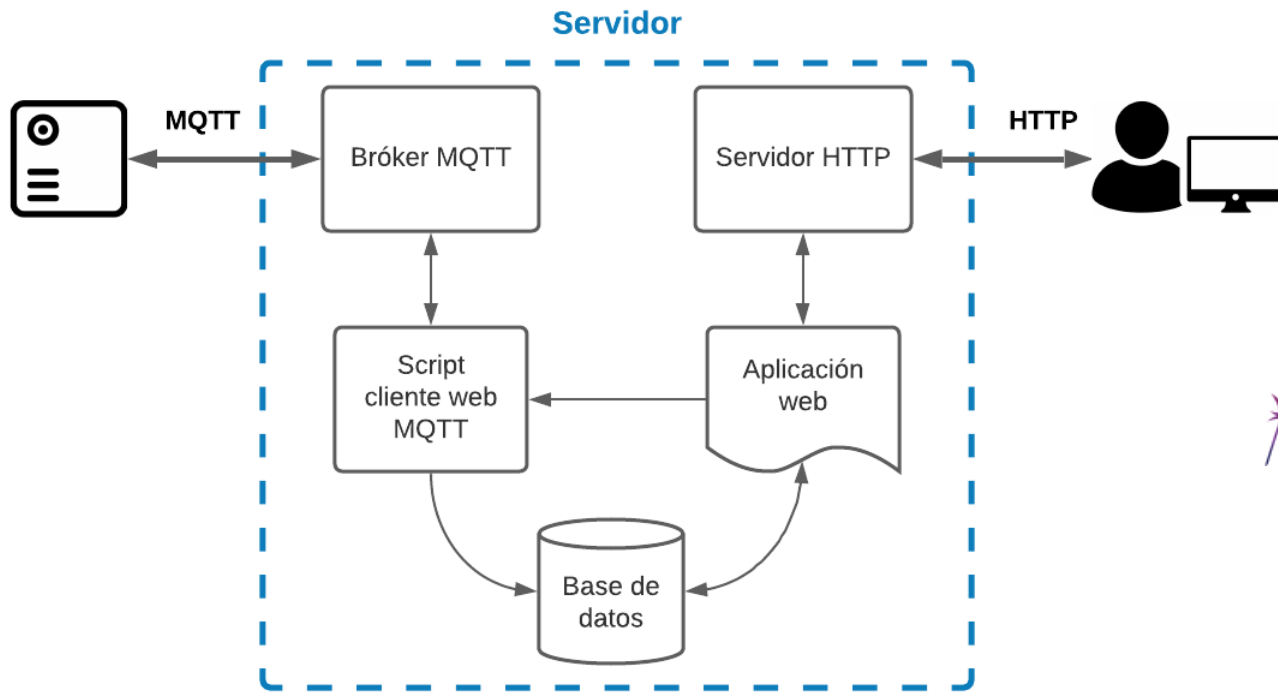
Método: Red neuronal convolucional multi-tarea (**MTCNN**).

Objetivo: determinar la ocupación en salas en base a identificación de caras.



Resultado: **+25%** detección que *Haar Cascade*. Procesamiento más lento.

Desarrollo del sistema: Servidor



Bróker MQTT:



Servidor HTTP:



Aplicación web:



Script cliente web:



1. *Summary*
2. Introducción
3. Especificaciones del sistema
4. Desarrollo del sistema
5. Verificación y pruebas
6. Manual de instalación y uso
7. Conclusiones y líneas futuras

Dispositivo monitor

- Conexión a internet.
- Cliente MQTT: conexión, transmisión y recepción.
- Mediciones: sensor de CO2 & cámara.
- Componentes visual y sonoro (pantalla LCD y zumbador).

Servidor

- Conexión a internet. Sitio web saferoom.es activo.
- Componentes Apache, PHP, MySQL y Python operativos.
- Bróker MQTT: conexión y seguridad en transmisión / recepción.

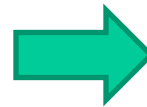
Aplicación web

- Operativa de usuario: registrarse, identificarse o recuperar datos.
- Gestión de dispositivos de monitorización: añadir, modificar o eliminar.
- Gestión de envío de alertas. Recepción de alertas.
- Correcta visualización desde dispositivos PC, móvil o *tablet*.

1. *Summary*
2. **Introducción**
3. **Especificaciones del sistema**
4. **Desarrollo del sistema**
5. **Verificación y pruebas**
6. **Manual de instalación y uso**
7. **Conclusiones y líneas futuras**

Instalación

1. Desplegar aplicación web Laravel en servidor.
2. Copiar repositorios de *scripts* creados a Raspberry Pi y servidor.
3. Activar *scripts* de monitorización (*cronjobs*).
4. Vincular dispositivo con aplicación web:



Safe Room

Añadir sala al sistema

Dirección MAC del dispositivo en la sala: (Formato: 00:1B:44:11:3A:B7)

Nombre de Sala:

Alarma sonora: Sí ▾

Manual de uso web www.saferoom.es

Safe Room

Salas de usuario1

Añadir sala

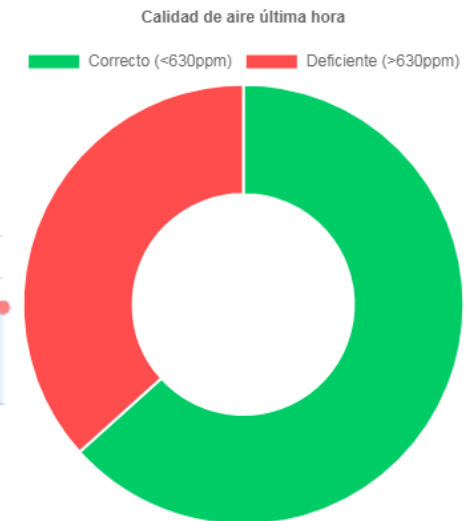
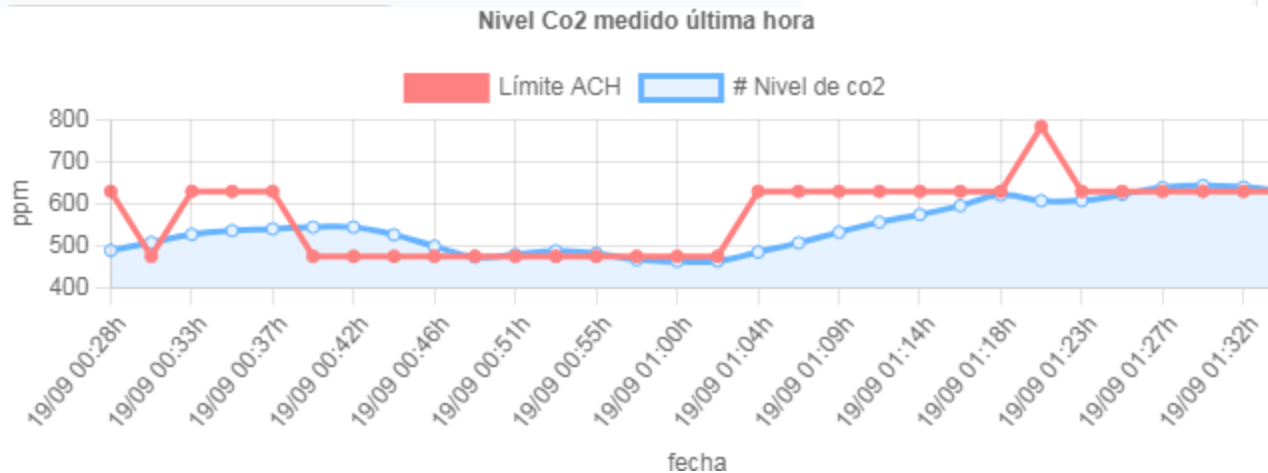
Sala 1	Sala 2
Actual: (630 ppm)	Actual: (1100 ppm)
Alerta sonora:	Alerta sonora:
Volumen: 48 m3	Volumen: 60 m3
Objetivo: 2 ACH (630 ppm)	Límite: 700 ppm

Últimas alertas

Ver historial

Co2 medido	Ocupación	Fecha
640 ppm (2 ACH: 630 ppm max.)	1 pers.	19/09/2021 01:32h
644 ppm (2 ACH: 630 ppm max.)	1 pers.	19/09/2021 01:29h

Ventilación en Sala 1



1. *Summary*
2. **Introducción**
3. **Especificaciones del sistema**
4. **Desarrollo del sistema**
5. **Verificación y pruebas**
6. **Manual de instalación y uso**
7. **Conclusiones y líneas futuras**

Objetivo: crear dispositivo monitor y aplicación web para detectar deficiencias de ventilación en interiores.

Dificultades encontradas: seguridad MQTT.
Imprecisión en métodos de identificación de caras.

Aspecto positivo: aprendizaje y trabajo sobre varias tecnologías que interaccionan entre sí.

Carcasa para dispositivo.

Disipación del calor en dispositivo.

Predecir concentración de CO₂ en sala.

Mejorar método de conteo de ocupación.

Crear *app* móvil / nuevos métodos de notificaciones.

Más opciones de representación gráfica de datos.

Sistema empotrado y aplicación web para la monitorización vía internet de la concentración de CO2 y la ocupación en salas interiores

Autor: Fernando D. López

www.fernando.info

Málaga, 2021