

## ARMONÍA AMBIENTAL: ANÁLISIS CLIMÁTICO Y CONFORT INTERIOR MEDIANTE EQUIPOS DIY Y TECNOLOGÍA DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

*J. M. Caamaño González, J. L. Pérez Ordóñez*

Escuela de Arquitectura Técnica de A Coruña, A Coruña (A Coruña), España

### RESUMEN

Este estudio se centra en la armonización entre el confort interior y el ambiente climático exterior, abordando un desafío crítico en la arquitectura sostenible. La innovación reside en el uso de tecnologías de bajo costo y accesibles, como equipos de medición DIY (Do It Yourself) basados en Arduino, para monitorizar y gestionar las condiciones ambientales internas, promoviendo un entorno más saludable y energéticamente eficiente.

La metodología involucra la creación y despliegue de estaciones para registrar datos ambientales internos como temperatura, humedad, niveles de CO<sub>2</sub> luminosidad o Radón. A través del análisis realizado por algoritmos de inteligencia artificial, se busca optimizar el confort y la eficiencia energética en espacios habitados. Permitiendo una comprensión más profunda de la dinámica del confort interior a través del desarrollo de soluciones personalizadas.

El estudio presenta una prueba piloto específica donde ensayan los equipos prototipados, midiendo y recogiendo en una base de datos las condiciones ambientales de un espacio acotado. Estos equipos cumplen la función de estaciones de medición diseñadas y gestionadas mediante Arduino. Esta iniciativa no solo destaca por su enfoque práctico y económico sino también por su potencial para ser replicada y adaptada en diversos contextos, contribuyendo significativamente a la sostenibilidad y la habitabilidad de los espacios interiores.

La investigación demuestra que mediante la implementación de equipos DIY y la integración de inteligencia artificial, es posible lograr una mejora significativa en el bienestar de los ocupantes y la eficiencia energética de los edificios. Todo ello mediante el análisis de la información recabada obtenidos con estos equipos con alto nivel de personalización, modificación y configuración. Este enfoque práctico y accesible permite un cambio prometedor hacia métodos más sostenibles y participativos en el diseño y gestión de espacios habitables, destacando la importancia de la innovación tecnológica en la arquitectura sostenible.

Además, este estudio resalta las ventajas significativas del análisis en tiempo real, proporcionando insights instantáneos sobre las dinámicas ambientales internas. Facilitando la integración de los datos recopilados con sistemas de almacenamiento en la nube, mejorando así la accesibilidad y el manejo de la información. Considerando la posibilidad de vincular e integrar en flujos de trabajos eficientes como son proyectos BIM (Building Information Modeling), potenciando una gestión integral y multidimensional de los espacios construidos orientados al facility management.

**PALABRAS CLAVE:** Análisis Climático, Confort Interior, Inteligencia Artificial, Monitoreo, Radón

## 1. INTRODUCCIÓN

Este estudio profundiza en la relación entre las condiciones ambientales y su influencia en la educación, empleando la plataforma Arduino para crear herramientas de medición a medida en un ensayo inicial. Inspirado en la cultura maker [1], que promueve la innovación y la experimentación, este trabajo innova en la recopilación de datos ambientales para el desarrollo de modelos predictivos, ofreciendo una alternativa de bajo costo con alto nivel de personalización respaldada por una comunidad colaborativa muy activa. Se introduce el concepto de Armonía Ambiental, que busca el equilibrio perfecto entre las condiciones físicas del entorno y el bienestar de los usuarios, enfatizando la necesidad de un ambiente que satisfaga tanto parámetros objetivos como subjetivos. La investigación evalúa variables ambientales [2], características espaciales y la interacción de los usuarios, para entender cómo estos elementos se combinan para afectar la experiencia educativa tal y como se recoge en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Variables agrupadas por tipo

Aspectos ambientales	Datos específicos del espacio	Aspectos objetivos y subjetivos de los alumnos
Temperatura	Dimensiones	Número de participantes
Humedad relativa	Características constructivas	Percepción subjetiva del Confort
Concentración de CO2 y otros gases	Distribución de usuarios	
Iluminación		
Partículas en Suspensión (PM10, PM2.5)		
Radón		
Presión Atmosférica		

En esta comunicación, se detalla el proceso de desarrollo de la prueba piloto en un espacio acotado y el diseño y funcionamiento de equipos de elaboración propia, constituyendo la base para futuras aplicaciones en entornos reales [3] [4] centrados en el ambiente académico para extensivos a otros entornos. Esta fase preliminar plantea validar la metodología, los dispositivos diseñados y testear los sensores empleados en base a especificaciones y ajustes requeridos por parte de los fabricantes.

En esta fase inicial, el testeo y calibración se basará en la coherencia entre lecturas de los mismos sensores en los diferentes equipos empelados y las recomendaciones iniciales de los proveedores, tanto por hardware como por software. Esencial para verificar de manera inicial la precisión de las mediciones, la confiabilidad de los datos y fiabilidad de los sensores. Estableciendo un marco sólido para la implementación de ensayos en contextos educativos, con el fin último de mejorar la calidad del entorno de aprendizaje.

Esta decisión metodológica responde no solo a consideraciones técnicas, sino también al proceso de aprendizaje en la programación, desarrollo de prototipos [5] y medios disponibles. Proyectando mejorar estos equipos iniciales hacia otros más completos en ensayos futuros, testarlos con equipos profesionales e igualar capacidades entre los equipos a desarrollar y emplear [6].

## 2. DESARROLLO Y METODOLOGÍA

La metodología del estudio se fundamenta en integrar herramientas de medición personalizadas, análisis estadístico, modelos predictivos y participación de usuarios. Se esquematiza los pasos diseñados relevantes para la investigación de la siguiente manera:

- Identificar variables clave (temperatura, humedad, calidad del aire, iluminación y radón).
- Seleccionar sensores precisos compatibles con Arduino.
- Diseño, desarrollo y producción de equipos funcionales válidos y garantistas para los ensayos.

- Recolectar y almacenar datos continuamente, comunicados por Wifi o independientes.
- Análisis de datos para encontrar patrones, presentar resultados y continuar la investigación.

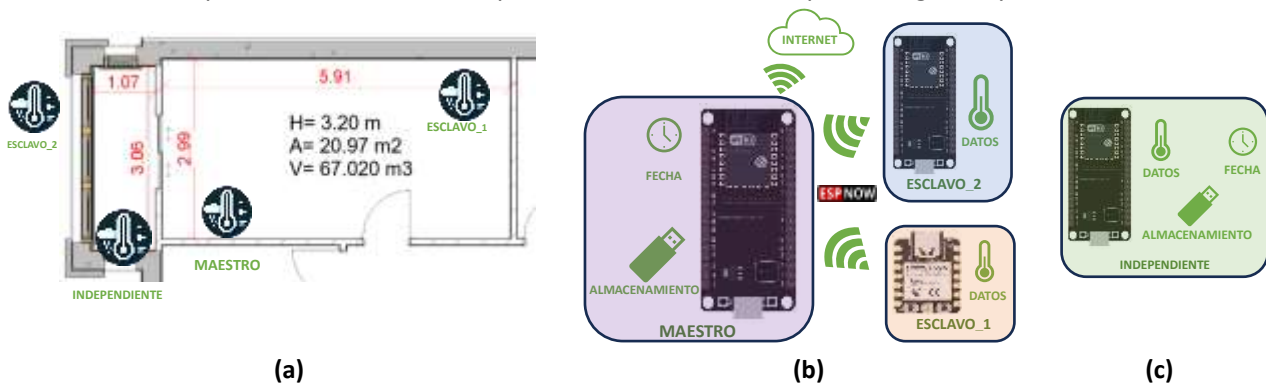
## 2.1. Esquema y condiciones del ensayo inicial

En esta primera prueba piloto, se ensayan los prototipos en un entorno reducido, con la presencia de tres participantes durante un tiempo determinado. Los principios del ensayo son siguientes:

- Frecuencia de recolección de datos:
  - Duración: 1 semana, tomando datos cada 10 min durante 16 horas.
- Ubicaciones de los Dispositivos de Medición:
  - Tres puntos dentro de la estancia: A, B y C, detallado en el plano de localización.
  - Un punto exterior, a la intemperie (próximo a la carpintería exterior).
- Condiciones del ensayo:
  - Tamaño y volumen de la estancia: 20,97 m<sup>2</sup> // 67,02 m<sup>3</sup>.
  - Número de participantes: tres personas.

En el marco de esta investigación, se desarrollan 2 métodos de recolección de datos, tal y cómo se refleja en la Figura 1:

- Sistema de comunicación inalámbrico compuesto por 3 dispositivos capaces de medir variables interconectados por Wifi (ESP-NOW) con un dispositivo maestro, responsable del almacenamiento de datos.
- Un dispositivo totalmente independiente, con batería, capaz de registrar y almacenar datos.



**Figura 1.** Ubicación y dispositivos. **(a)** Estancia objeto de estudio y distribución de dispositivos. **(b)** Esquema de comunicación entre dispositivos comunicados entre sí. **(c)** Dispositivo autónomo.

Se justifica la necesidad de explorar diferentes métodos de recopilación y transmisión de datos para evaluar la eficacia, fiabilidad y la practicidad de cada enfoque en la captura de variables ambientales. Pudiendo escalar y replicar uno o ambos sistemas según el éxito y resultado del ensayo.

## 2.2. Participación de los usuarios del ensayo

Para enriquecer la investigación, es indispensable contar con las opiniones subjetivas de los sujetos participantes. Para ello, se plantea de manera inicial una encuesta, solicitando cubrirla de manera diaria cada 30 minutos. Valorando del 1 al 10 las cuestiones. Las consultas realizadas son las siguientes, cuyo símbolo será el mismo variando el número según el usuario (del 1 al 3, ejemplo Percepción de calor del usuario 2 => PCA\_2):

- Percepción de calor. (frio 1-10 caliente) = > PCA\_x
- Percepción de humedad. (seco 1-10 húmedo) = > PHU\_x
- Percepción de luminosidad. (poca luz 1-10 demasiada luz) = > PLUX\_x
- Percepción del aire del ambiente. (mal 1-10 bien) = > PIAQ\_x
- Sensación de confort global. (mal 1-10 bien) = > PCO\_x
- Añadir cualquier otro comentario subjetivo sobre el confort personal (---)

### 2.3. Componentes y sensores

Se emplean microcontroladores ESP32 y ESP32C3 por versatilidad, conectividad inalámbrica, eficiencia y sencillez de uso. Ideales para implementar sistemas y equipos IoT con múltiples sensores conectados o independientes. El testeo y limitaciones de incorporación de sensores determinarán las capacidades de cada prototipo y sistema. Se inicia un diseño funcional acotado por los recursos y medios disponibles. La Tabla 2 refleja las capacidades de cada dispositivo dentro del ensayo.

**Tabla 2.** Variables y sensores capaces de recogerlas.

VARIABLES	UNIDAD	SENSORES							
		BME-680	MH-Z19	CZN-15E	RD-200M	BH-1750	PMS5003	zs-042	SD Adapter
Temperatura	°C	x	x						
Humedad	%	x							
Presión	m	x							
CO2	ppm		x						
Ruido	db			x					
Radón	Bq/m <sup>3</sup>				x				
Iluminación	lux					x			
Partículas (2,5; 10)	µg/m <sup>3</sup>						x		
Fecha Y hora	DD/MM/AAAA HH:MM:SS							x	
Altitud	Metros (m)	x							
Gases	Kohm	x							
Lector SD	formato .TXT y .CSV								x

El ensayo piloto evalúa el diseño, rendimiento de dispositivos (en la Tabla 3 se recogen las características de cada sensor) y análisis de datos. Ceñidos a las recomendaciones de calibración y recolección oficiales tanto por el proveedor como por el fabricante, acorde a garantía de uso. Se pone especial énfasis en garantizar un funcionamiento óptimo y una recopilación de datos consistente en el tiempo útil para el esquema global del proyecto en cuanto análisis de datos.

**Tabla 3.** Tolerancias y características de los sensores

Bme-680	MH-Z19	RD-200M
Rango de Presión: 300-1100 hPa	Rango de medición: 0-5000ppm	Tipo: Cámara de iones pulsados
Resolución Presión: 0.18 Pa	Precisión: 5% (50ppm)	Precisión: <math>\pm 10\%</math> (error mínimo <math>\pm 0,5\text{pCi/L}</math>)
Precisión presión: +0.12 hPa (aprox. +1m)	Principio: NDIR	Intervalo de datos: cada 60 minutos
Rango de Temperatura: -40°C a 85°C	Temperatura de trabajo: 0-50°C	Sensibilidad: 0,5 cpm/pCi/L
Resolución de temperatura: 0.01°C		Rango de funcionamiento: 10~40 °C, HR <math>< 80\%</math>
Precisión Temperatura: +1°C		Rango: 0.2~99.9pCi/L (7~3,700Bq/m <sup>3</sup> )
Rango de Humedad Relativa: 0-100% RH		
Precisión de HR: +3%		
BH-1750	ZS-042	PMS5003
Precisión: 0.5 lx en lecturas cada 120 ms	Chip: DS3231	Gama de medidas: 0.3-1.0 >1.0-2.5>2.5-10 μm (micrómetro)
Amplio rango de medición 1-65535 lux	Onda de salida: Cuadrada progr.	Error máximo de coherencia: ±10% @ 100~500 μg/m <sup>3</sup>
Rechazo de ruido a 50/60 Hz	Soporte calendario: año 2100	Gama efectiva (PM2.5 estándar): 0-500 μg/m <sup>3</sup>
	Precisión del sensor de temperatura: ± 3 grados	Gama de humedad de funcionamiento: 0-99%
		Gama máxima: ‰ 1000 μg/m <sup>3</sup> . Resolución: 1 μg/m <sup>3</sup>
		Temperatura de funcionamiento: -10°C-+60°C

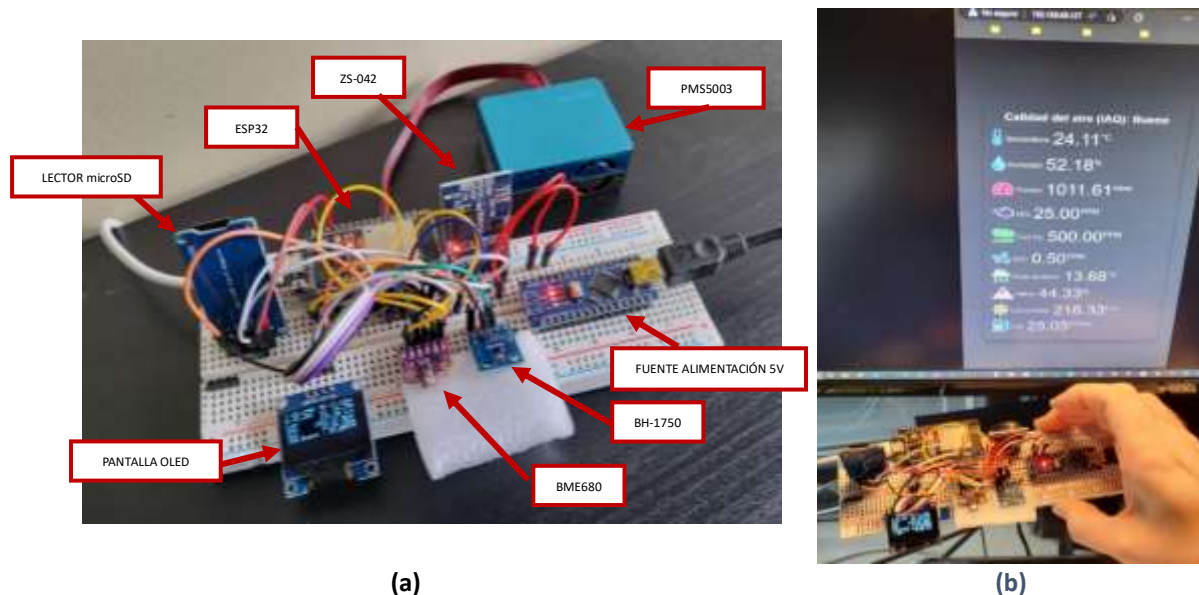
## 2.4. Diseño y propiedades de los dispositivos

Evaluados los dos tipos de microcontroladores, se ha determinado la idoneidad para el primer ensayo según compatibilidad y capacidades operativas de los sensores. Proponiendo la distribución de recursos y diseño según la Tabla 4. Esta distribución y diseños tiene en cuenta una premisa inicial paralela del desarrollo de un equipo que integre componentes en una carcasa impresa en 3D y funcione de manera autónoma. Pensado para el uso en ubicaciones sin acceso a la red eléctrica.

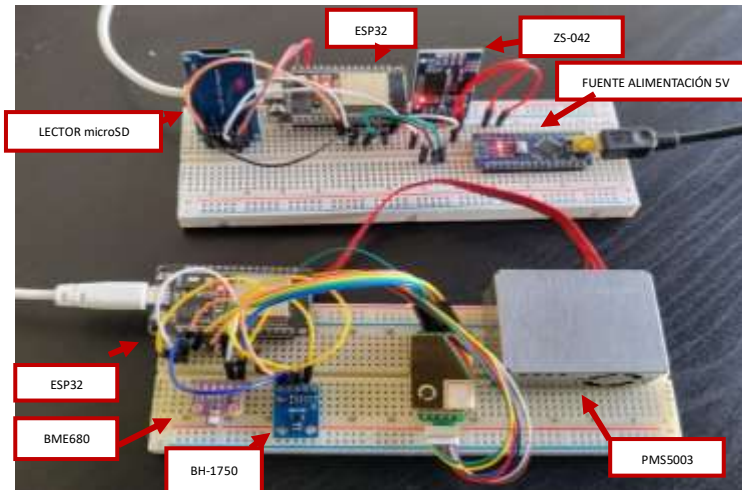
**Tabla 4.** Funciones y variables recogidas por cada dispositivo.

VARIABLES	SÍMBOLO	Dispositivo Esclavo_1 (Ext)	Dispositivo Esclavo_2 (Int)	Dispositivo Independiente	Dispositivo maestro
microcontrolador	---	ESP32C3	ESP32	ESP32	ESP32
Temperatura	T_x	X	X	X	
Humedad	H_x	X	X	X	
Presión	ATM_x	X	X	X	
CO <sub>2</sub>	CO2_x		X		
Iluminación	Lux_x	X	X	X	
Partículas (2,5; 10)	PPM2.5_x // PPM10_x		X	X	
Altitud	Alt_x	X	X	X	
Gases	Gas_x	X	X	X	
Fecha y Hora	HH:MM:SS				X
Almacenamiento SD	---			X	X
Servidor Web	---			X	
Batería	---	X			
Emiten Datos	---	X	X		
Reciben Datos	---				X
Pantalla Oled	---			X	

La Figura 2 y en la Figura 3 presentan respectivamente el prototipo autónomo equipado con un microcontrolador ESP32 y varios sensores, conectados en una protoboard; y el Dispositivo Maestros y Esclavo\_2. Se ha incorporado una pantalla Oled y un servidor web simple para verificar el funcionamiento del dispositivo y las condiciones ambientales del espacio con punto de acceso directo mediante equipo informático, smartphone o Tablet. Facilitando verificar el avance del ensayo por parte de los usuarios y el personal involucrado.

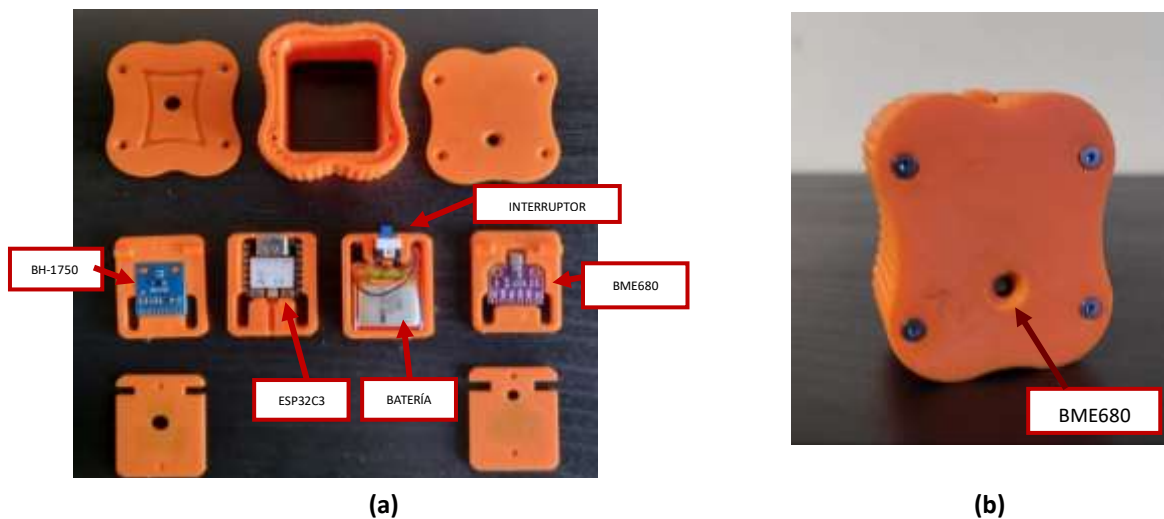


**Figura 2.** Detalle del prototipo independiente: **(a)** Montaje provisional del prototipo independiente sobre una protoboard. **(b)** Detalle del prototipo independiente, y servidor web con datos en tiempo real.



**Figura 3.** Dispositivos "MAESTRO" (ARRIBA) Y ESCLAVO\_2 (ABAJO) con sus correspondientes sensores.

Para el dispositivo "ESCLAVO\_1 (Ext)" (Figura 4), se aúna una carcasa impresa en 3D compacta resistente al clima. Se ensayará una batería de 200 mA y las capacidades de captación de datos y envío inalámbrico. Pensado como un diseño más desarrollado para replicar de manera económica [7].



**Figura 4.** Dispositivo externo desmontado y montado: **(a)** Dispositivo "ESCLAVO\_1" con sensores, batería, microcontrolador carcasa y encapsulados impresos en 3D. **(b)** Vista del dispositivo montado.

## 2.5. Procesamiento de datos y herramientas de inteligencia artificial

Tras recopilar los datos, se usarán herramientas de análisis y procesado como Jupyter Notebook y bibliotecas de Python como Pandas, NumPy y TensorFlow. Con el objetivo de localizar correlaciones de interés. Desarrollando escenarios de identificación con patrones clave relacionados con el entorno (control lumínico), el ambiente (confort interior), testeando modelos predictivos disponibles. Centrado en el ensayo y uso de los datos que se generen. Estas herramientas permiten combinar código, visualizaciones gráficas de datos y texto explicativo en un entorno interactivo.

Procediendo con el proceso de análisis de datos, se desarrollará una limpieza y filtrado de correlaciones fuertes. Acto seguido se han creado gráficos de dispersión para los pares más relevantes. Sobre el que se han creado gráficas entre todas las variables disponibles.

Una vez procesada toda la información, se ha simplificado en una matriz de correlación para identificar relaciones entre variables, clasificando las correlaciones en un rango de -1 a 1 para destacar las interacciones entre las percepciones de los usuarios y los datos ambientales recogidos. Desarrollando en última instancia un modelo de regresión lineal como base a la elaboración del modelo predictivo entrenado sobre algunas de las variables más destacables mediante una red neuronal viable.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizado el ensayo, se confirma el correcto funcionamiento de todos los equipos y ambos sistemas de recolección de datos durante el tiempo proyectado. Se recopilaron y analizaron datos de 39 variables (15 son valoraciones de usuarios y 24 datos climáticos), resultando 12,625 puntos de datos. Relacionando todas las variables y datos entre sí, tanto datos de sensores como de valoraciones subjetivas. Hallando sutiles relaciones incluso entre variables inicialmente no afines, como la percepción de la humedad de los usuarios con la presencia de gases por parte de los dispositivos. Se recoge a continuación las relaciones más relevantes:

- **Intensidad de la Iluminación interior.** Concretamente en la zona más próxima a las ventanas (datos lumínicos del dispositivo INDEPENDIENTE y opiniones recogidas de los usuarios).
- **Presencia de CO<sub>2</sub> en la estancia.** Relación inversa entre reducción confort y aumento del CO<sub>2</sub>.
- **Presencia de Gases en el interior.** Su aumento reduce la percepción positiva de la calidad.
- **Presencia de partículas en suspensión (PPM2,5).** En menor medida que las demás, demuestra también de manera sutil la relación entre su presencia y la reducción del confort.
- **Percepción de la humedad interior.** Baja percepción y relevancia para los usuarios a pesar de los datos recogidos por los dispositivos, los cuales mostraban una variación alta.
- **Temperatura durante el ensayo.** Demuestra, entre el resto de las variables, su escasa relevancia durante todo el ensayo, pudiendo afirmar que para los participantes se encontraban dentro de su zona de confort, a pesar de las altas variaciones recogidas.

#### 3.1. Relación entre la iluminación y la percepción de confort

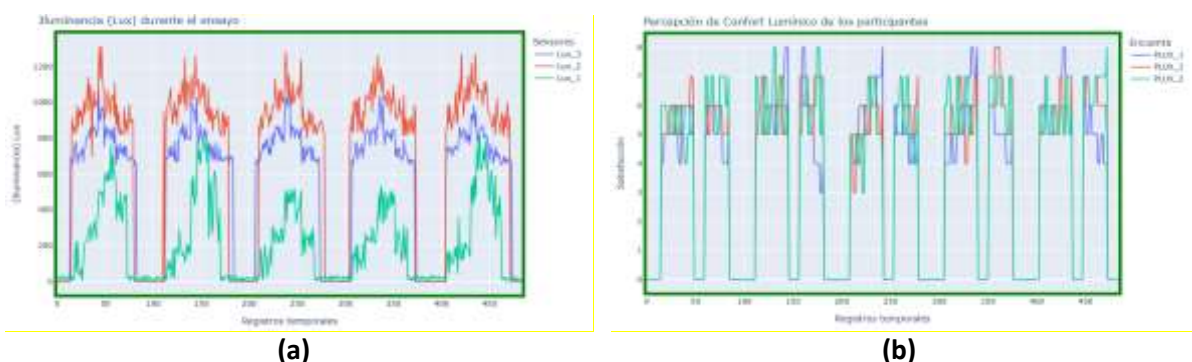


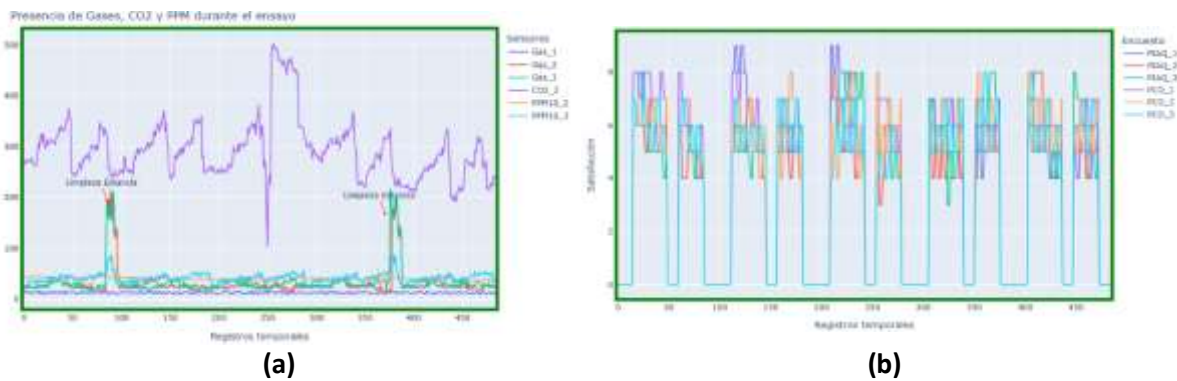
Figura 5. (a) Registros de los sensores lumínicos de los dispositivos. (b) Encuesta de satisfacción de la intensidad lumínica por parte de los usuarios

Los resultados de las encuestas revelan que la iluminación desempeña un papel fundamental en la sensación de confort. Expresando los usuarios una clara preferencia por ambientes con niveles adecuados de luz. Observando una correlación positiva entre la percepción de bienestar y la presencia de luz natural y artificial. Detectándose picos de iluminación natural que ocasionaron incomodidad.

En la figura 5 se recoge como a medida que avanza la mañana, la combinación de luz natural y artificial genera una sensación más positiva de bienestar. Sin embargo, hacia la última parte del día, cuando la luz natural disminuye y predomina la iluminación artificial, se experimenta fatiga visual y cansancio.

### 3.2. Relación entre gases, ppm y CO<sub>2</sub> con los ocupantes

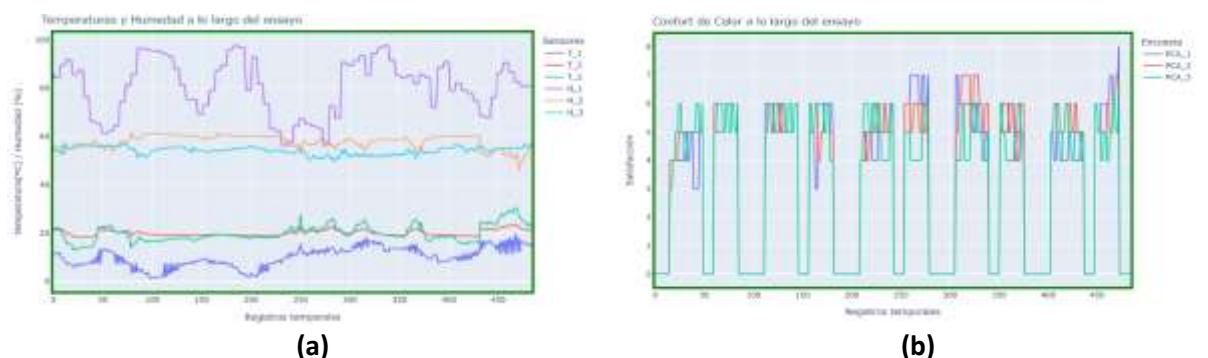
Los resultados del ensayo establecen claramente una relación directa entre la presencia de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gases y la cantidad de personas en el espacio del ensayo, así como su percepción del confort interior. A medida que aumentaba el número de individuos, los niveles de CO<sub>2</sub> registraron un incremento significativo. En la figura 6 se observan los registros relacionados.



**Figura 6. (a)** Registros de los sensores de Gases, CO<sub>2</sub> y PPM de los dispositivos. **(b)** Encuesta de satisfacción de confort interior y calidad del aire por parte de los usuarios.

En la gráfica de datos recopilados por los sensores, también se puede apreciar dos picos en las lecturas interiores de gases y PPM. Esto coincide con los momentos exactos en los que el personal de limpieza ha estado trabajando en el lugar del ensayo, empleando productos químicos con sustancias volátiles.

### 3.3. Correlación entre temperatura y humedad



**Figura 7.** Gráficos de temperaturas, humedad, y percepción de usuarios: **(a)** Registros de los sensores de Temperatura y Humedad de los dispositivos. **(b)** Encuesta de satisfacción de percepción de calor y calidad del aire por parte de los usuarios.

Los datos muestran una correlación directa entre la temperatura y la humedad, con un aumento de la humedad coincidiendo con temperaturas más bajas y la percepción de incomodidad de los usuarios en momentos concretos a lo largo del día tal como recoge la Figura 7.

### 3.4. Análisis de Datos mediante Inteligencia Artificial

La aplicación de modelos predictivos con Inteligencia Artificial y Tensor Flow facilita el diseño de código y la comprensión del impacto ambiental en el rendimiento. Sin embargo, la limitación de datos afectó la generalización y precisión de los modelos de aprendizaje automático, impidiendo un desarrollo efectivo de regresiones y redes neuronales, destacando la necesidad de mayor volumen de datos.

La tabla 5 recoge lo resultado del análisis procesado dentro del umbral de correlaciones fuertes más relevantes anteriormente recogidas y otros datos ambientes relevantes a efectos del estudio con mayor o menor impacto como comparativo de la relevancia finalmente detectada. Las columnas recogen las valoraciones de los 3 usuarios (codificados según el punto 2.2 Participación de los usuarios del ensayo de la presente comunicación) y los datos de las variables obtenidas de los dispositivos (reflejados en la Tabla 4), reflejando las correlaciones positivas y negativas de valores más elevados.

**Tabla 5.** Correlaciones Positivas entre valoraciones de usuarios y variables climáticas.

	PCA_2	PCA_3	PHU_1	PHU_3	PLUX_1	PLUX_2	PLUX_3	PIAQ_2	PIAQ_3	PCO_1	PCO_3
CO2_2	0.474	0.429	0.427	0.433	0.445	0.465	0.424	0.395	0.404	0.464	0.390
Lux_2	0.639	0.636	0.622	0.633	0.674	0.637	0.616	0.631	0.606	0.630	0.634
T_3	0.045	-0.031	-0.091	0.018	-0.045	0.032	0.052	-0.070	0.002	-0.081	-0.007
H_3	0.018	0.102	0.084	0.078	0.052	0.058	0.058	0.128	0.046	0.096	0.098
Lux_3	0.620	0.617	0.609	0.620	0.660	0.622	0.607	0.614	0.596	0.621	0.622
Gas_3	-0.235	-0.232	-0.228	-0.230	-0.232	-0.238	-0.235	-0.219	-0.223	-0.233	-0.228
PPM10_2	-0.089	-0.090	-0.064	-0.091	-0.086	-0.089	-0.093	-0.079	-0.103	-0.062	-0.092
Gas_2	-0.216	-0.216	-0.21	-0.215	-0.199	-0.219	-0.220	-0.209	-0.216	-0.210	-0.219
T_1	0.154	0.052	0.045	0.08	0.107	0.119	0.132	0.044	0.084	0.032	0.10

## 4. CONCLUSIONES

### 4.1. Conclusiones generales del ensayo inicial

- Los dispositivos DIY permitieron evaluar la calidad del aire de forma económica y personalizable, facilitando futuras investigaciones. Ambos esquemas de funcionamiento son plenamente válidos y funcionales, permitiendo su replicación y escalabilidad.
- Ambos sistemas de recolección de datos se muestran como opciones válidas para futuros ensayos. Por lo que pueden emplearse indistintamente para su mejora y futuros estudios.
- El dispositivo autónomo Esclavo\_1 (Ext) ha demostrado su funcionalidad, Sin embargo, la capacidad de la batería se ha mostrado insuficiente, requiriendo un rediseño para garantizar su funcionamiento a lo largo de los ensayos.
- Se han encontrado ligeras conexiones entre lo que piensan los usuarios sobre ciertos temas y algunos datos que no parecían relacionados, como el CO2 y cómo valoran generalmente los

usuarios; o la luz y cómo sienten la temperatura y humedad. Necesitamos investigar más para entender por qué sucede esto y cómo afecta indirectamente a la gente.

- El análisis de datos mediante métodos predictivos ha evidenciado su funcionalidad. Tanto el modelo inicial y provisional diseñado como las herramientas empleadas han permitido el análisis con la información obtenida. La escasez de datos obtenidos a limitado y funcionalidad, aspecto a solventar en futuros ensayos ampliando la cantidad de información.
- La opinión de los usuarios demuestró ser fundamental para estimar aspectos de confort. Humanizando las sensaciones del espacio más allá de los valores meramente objetivos de los equipos de medición. Reafirmando la relevancia de contar con ambas fuentes de información.
- La iluminación natural mejora significativamente el rendimiento y bienestar, tal como reflejan los datos de usuarios y sensores. El control de la cantidad debe ser eficiente para evitar incomodidad y reducción de la efectividad de su disposición en el interior de la estancia.
- El estudio destaca la importancia del confort interior a través de aspectos que poseen comúnmente baja relevancia, como son la presencia de gases e iluminación. Siendo la temperatura y humedad aspectos de menor relevancia a juicio de los usuarios.

#### 4.2. Líneas de investigación y ventajas futuras

El éxito de este proyecto puede proporcionar la base para las posibles líneas de investigación:

- Integrar tecnologías emergentes (sensores avanzados, IoT, realidad aumentada y sincronización con modelos BIM) para monitorización precisa de espacios educativos puede fortalecer el Facility Management con datos en tiempo real.
- Desarrollar estrategias para optimizar recursos, como gestión inteligente de iluminación y soluciones energéticas sostenibles a través del control activo
- Diseñar dispositivos de mayor capacidad y empleo en diversas zonas permite crear una red de sensorización efectiva que aumentan la precisión de los modelos predictivos.
- La mejora de los modelos predictivos y ajustar condiciones ambientales según necesidades estacionales y diarias permitirá aumentar la precisión de las variables iniciales contempladas.
- El estudio de las variables iniciales abre la puerta al aumento de otras posibles (flujo de aire, volumen de personas por estancia) o el estudio de mayor precisión de las actuales.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Payán de Tejada Alonso, "Sistema de monitorización de variables ambientales de bajo coste basado en Arduino", tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Edificación, Universidad Politécnica de Madrid. (2021)
- [2] Joseph G. Allen, Piers MacNaughton, Usha Satish, Suresh Santanam, Jose Vallarino, and John D. Spengler. "Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers: A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments" "EHP Publishing, vol 124, Issue 6, Pag. 805 – 812 (October 2015). - The COGfx Study.

- [3] Plataforma Edificación Passivhaus. “Proyecto de monitorización de colegios. Proyecto de monitorización de colegios en el curso 2017-2018” Universidad de Burgos. (octubre 2020).
- [4] D. Prieto Giraldo. “Rehabilitación Passivhaus con CLT de vivienda popular gallega en rúa da Carballa en el ayuntamiento de Santiago de Compostela”. Trabajo final de Grado. Escuela de Arquitectura Técnica de A Coruña, Universidade de A Coruña. (2022)
- [5] Montalbán Pozas, María Beatriz; Muriel Holgado, Beatriz; Lucas Bonilla, Marta. “Metodología para mejorar el confort y la calidad del aire en edificios públicos con tecnología de bajo coste” Anales de la Edificación. Vol.6, Núm.3 (2020).
- [6] Behnam Mobaraki, Seyedmilad Komarizadehasl, Francisco J. Castilla Pascual and José A. Lozano-Galant. “Environmental Monitoring System Based on Low-Cost Sensors.” XV International Conference on Durability of Building Materials and Components. DBMC 2020.
- [7] Omer Osman, Sami & Mohamed, Mohamed & Suliman, Alzain & Mohammed, Amjed. (2018). Design and Implementation of a Low-Cost Real-Time In-Situ Drinking Water Quality Monitoring System Using Arduino. 1-7. 10.1109/ICCCEEE.2018.8515886.