

# Diseño interdisciplinario de un sistema de sensado de CO<sub>2</sub> para enfrentar la pandemia en los espacios cerrados del Tecnológico de Costa Rica

## Interdisciplinary design of a CO<sub>2</sub> sensing system to face the pandemic within indoor spaces at Tecnológico de Costa Rica

Kristel Cordero-Picado<sup>1</sup>, Raquel Natalia Monge-Sanabria<sup>2</sup>,  
Cristel Diane Segura-Vargas<sup>3</sup>, Sergio Morales-Hernández<sup>4</sup>

Cordero-Picado, K; Monge-Sanabria, R.N; Segura-Vargas, C.D; Morales-Hernández, S. Diseño interdisciplinario de un sistema de sensado de CO<sub>2</sub> para enfrentar la pandemia en los espacios cerrados del tecnológico de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 35, especial COVID-19. Mayo 2022. Pág. 74-83.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v35i5.6189>

1 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

 <https://orcid.org/0000-0003-3297-0530>

2 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

Correo electrónico: [mongesanabriaraquel@estudiantec.cr](mailto:mongesanabriaraquel@estudiantec.cr)

 <https://orcid.org/0000-0002-0852-0452>

3 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

Correo electrónico: [cristelsv@estudiantec.cr](mailto:cristelsv@estudiantec.cr)

 <https://orcid.org/0000-0002-7795-3710>

4 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

Correo electrónico: [smorales@itcr.ac.cr](mailto:smorales@itcr.ac.cr)

 <https://orcid.org/0000-0003-2136-0382>



## Palabras clave

COVID-19; dióxido de carbono; UX; interdisciplinario; diseño de producto; ventilación; interfaz.

## Resumen

Ante la problemática por COVID-19 que enfrenta el mundo se vuelve necesaria la búsqueda de estrategias de bajo costo para garantizar la salud de las personas, al mismo tiempo que se reactivan las actividades económicas, educativas y sociales que se vieron seriamente perjudicadas. Conforme avanzan las investigaciones en torno a este virus se descubrió la relación entre la probabilidad de transmisión de COVID-19 y la calidad del aire interior, indicando que las partículas del virus se pueden acumular con mayor facilidad en espacios donde la ventilación y la calidad de aire son deficientes.

En el presente artículo se describen las metodologías implementadas desde diferentes disciplinas para el diseño de un sistema, que se compone de un circuito, una carcasa y una aplicación de escritorio. El diseño de este sistema permitirá el monitoreo de las variables de la calidad del aire en las aulas y laboratorios del Tecnológico de Costa Rica, al advertir cuando los espacios tienen mala calidad del aire, y por ende se debe ventilar el lugar.

## Keywords

COVID-19; carbon dioxide; UX; interdisciplinary; product design; ventilation; interface.

## Abstract

During the COVID-19 pandemic facing the world, it became necessary to search for low-cost strategies to guarantee people's health; while economic, educational, and social activities that were seriously affected are being reactivated. As research on the virus progresses, the relationship between the probability of transmission of COVID-19 and indoor air quality has been discovered, indicating that virus particles can accumulate easier in spaces where ventilation and air quality are deficient.

This article describes the methodologies implemented from different disciplines for the design of a system, which is made up of a circuit, a casing, and a desktop application. The design of this system will allow the monitoring of air quality variables in the classrooms and laboratories of the Tecnológico de Costa Rica, by warning when spaces have poor air quality, and therefore the place must be ventilated.

## Introducción

El COVID-19, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, es una enfermedad viral que se contagia principalmente vía aérea al hablar, gritar, toser, estornudar y expulsar partículas en aerosoles que contienen el virus del SARS-CoV-2 [1]. Dichos aerosoles, son partículas diminutas que pueden flotar en el aire [2]. También, los aerosoles tienen mayor facilidad para acumularse en espacios cerrados y permanecer en el aire hasta por 3 horas, en donde, si las personas no cuentan con una mascarilla bien colocada pueden inhalar estas partículas provocando que se contagien.

Para combatir los contagios en espacios cerrados y concurridos, la ventilación es un factor importante, debido a que permite la renovación del aire concentrado en el lugar. Por lo cual, es importante conocer cuál es la calidad de aire en los interiores, con el fin de saber cuándo se requiere ventilar. Para identificar cuando los espacios no tienen una ventilación adecuada, existe

una correlación entre el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y los aerosoles, ya que ambas partículas son exhaladas por los humanos. Esta correlación se debe a que si hay niveles superiores a 800 ppm de  $\text{CO}_2$  se elevan las posibilidades de transmisión de los aerosoles con el virus si se encuentra una persona contagiada en la habitación. Por esta razón, el monitoreo de las variables de calidad de aire son claves para prevenir el contagio en espacios cerrados [3].

Actualmente el Tecnológico de Costa Rica (TEC) está en un proceso de reapertura de las sedes para actividades educativas, lo que implica que múltiples espacios de la universidad serán ocupados por personas. Debido a lo anterior, se vuelve necesaria la búsqueda de soluciones de bajo costo que ayuden a proteger la salud de las personas y les permita cumplir con sus labores mientras se sienten seguras ante una menor probabilidad de contagio de COVID-19. Entre los métodos actuales de prevención con los cuales cuenta la institución se destacan el uso de cubrebocas, el distanciamiento social y reducción de aforos; respecto a la ventilación los lineamientos indican que se deben mantener puertas y ventanas abiertas cuando se imparten las clases [4], sin embargo, no se puede garantizar que estas medidas van a ser cumplidas para evitar los contagios.

En el mercado existen medidores de la calidad del aire en interiores como una solución para combatir contra los contagios del COVID-19, no obstante, estos sistemas al tener que importarlos son algo costosos; por lo que el Laboratorio de Investigación en Vehículos Eléctricos (LIVE) del Tecnológico de Costa Rica tiene la iniciativa de desarrollar un producto de bajo costo que mida el  $\text{CO}_2$  de los espacios cerrados. Además, se busca que no dependa de personas externas al TEC o inclusive del país para dar mantenimiento al sistema.

Para llevar a cabo este proyecto, en LIVE se formó un equipo multidisciplinario conformado por estudiantes de las carreras de Ingeniería en Electrónica e Ingeniería en Diseño Industrial. Este proyecto se dividió en tres partes: el diseño del circuito del sistema, el diseño de la carcasa que protege al sistema y el diseño de la aplicación que comunica los datos obtenidos del sistema. El objetivo principal de este proyecto fue ofrecer una alternativa para que las personas puedan regresar a los espacios cerrados compartidos con mayor confianza, brindando una herramienta que advierta los usuarios cuando deben ventilar las aulas de las Escuelas, con el fin de evitar los contagios de enfermedades que se transmiten por aerosoles.

## Metodología

Durante el semestre el trabajo se dividió en tres partes las cuales se realizaron de forma simultánea, cada parte del proyecto se desarrolló bajo una metodología acorde a las disciplinas de cada integrante del equipo. Las metodologías empleadas se explican a continuación por cada parte diseñada para el sistema.

### Diseño del circuito

Con el propósito de implementar el sistema de monitoreo de dióxido de carbono en espacios cerrados de las aulas del TEC, se llevó a cabo una investigación inicial sobre el comportamiento de este gas y los métodos de medición más adecuados. Dada la naturaleza del proyecto, se vuelve fundamental verificar los lineamientos establecidos por entidades nacionales e internacionales, tanto para la medición de dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  como para sistemas de alarma. Los resultados de esta investigación permitieron identificar las partes principales del sistema y los requerimientos mínimos que se deben cumplir.

A partir de los requerimientos del sistema se inició el análisis de posibles soluciones, el cual contempla el tipo de sensor a utilizar, los componentes para las alarmas y el microcontrolador encargado de interconectar todos estos componentes entre ellos y con la red. Dentro de este

análisis se tomaron en cuenta los protocolos de comunicación seriales e inalámbricos que permitieran la conexión del sensor con el microcontrolador y de este a Internet. Además, fue necesario definir el tipo de alimentación que soportara la carga del sistema y mantuviera el funcionamiento del dispositivo por varias horas incluso en caso de cortes en la electricidad del edificio.

Una vez definido el diseño del circuito se inició la implementación de este junto con la programación de la lógica para controlar las distintas alertas visuales y sonoras del sistema y la recepción/envío de datos.

### Diseño de la carcasa

El diseño de la carcasa para el sistema de detección de CO<sub>2</sub> se desarrolló por medio de una metodología de cinco fases: (I) Investigación y Análisis, (II) Conceptualización de la idea, (III) Desarrollo de Alternativas, (VI) Detallado de la Propuesta y (V) Validación [5].

En la primera etapa, Investigación y Análisis, se realizaron entrevistas con los posibles usuarios con el fin de definir cuáles eran sus principales necesidades, además, se establecieron las características del entorno, en este caso de los laboratorios de la Escuela de Electrónica. En esta fase también se analizaron las características, ventajas y desventajas de los productos existentes, los aspectos ergonómicos con los cuales debía cumplir el producto a nivel antropométrico, biomecánico y cognitivo. Por último, las tecnologías disponibles para la fabricación de la carcasa, esta investigación abarcó: requisitos técnicos del *hardware*, los materiales, procesos de manufactura, tipos de cerramiento y estrategias de disminución de costo para la fabricación del prototipo.

De acuerdo con la información obtenida, en la segunda etapa, conceptualización de la idea, se establece cuál es la apariencia perceptual que tendrá el producto final, es decir, la forma de la carcasa, rejilla, tipo de luz y cromática. Seguidamente se definen los requisitos y requerimientos, así como, el concepto de diseño, los cuales establecen las especificaciones técnicas y perceptuales que contempla el diseño de la nueva carcasa.

Después de esto, se realizan los bocetos de 7 alternativas diferentes, en estos se explica la topología del producto, el tipo de alarma, el modo de ensamble y el tipo de sistema de montaje, posterior a esto se evalúan en una matriz de objetivos ponderados, en la cual conforme a los requisitos se califican las propuestas del 1 al 3, esto para determinar cuáles eran las 3 propuestas con mayor puntuación, para finalmente modelar en SolidWorks una única propuesta que contempló las mejores características de las propuestas.

Una vez que se selecciona la propuesta final, esta se detalla en la cuarta etapa, en esta se describen los aspectos generales del sistema. Asimismo, se detalló la arquitectura del sistema, es decir, su estructura externa, interna y los componentes, posterior, se mencionó los materiales que se recomiendan para la fabricación de la carcasa, los planos técnicos, las guías de usuarios, la estrategia de manufactura y los costos finales del prototipo.

Para finalizar el proceso de diseño de la carcasa, se imprime un primer prototipo, para validar la propuesta final del producto en 3 áreas diferentes, primero se verificó si las medidas generales de la carcasa correspondía a las medidas del planos, luego, se validó la interacción de la carcasa con el hardware diseñado, por último, en un cuestionario virtual aplicado a 11 personas, donde se preguntó sobre: la facilidad de ensamble e instalación, además, se comprobó si el usuario comprendía el sistema de alarmas implementado y se evaluó la percepción que tenían estos sobre la estética de la carcasa.

## Diseño de la interfaz digital

La metodología empleada para el diseño de la aplicación se definió con el propósito de desarrollar una solución con alta usabilidad. La usabilidad es un atributo el cual mide cuán fácil y satisfactorio es para un usuario en específico completar tareas o utilizar las funciones en una herramienta [6]. En este caso, se estaba diseñando una nueva aplicación que permitirá la visualización de las variables relacionadas con la calidad del aire obtenidas de los dispositivos. De manera que se contribuya con la toma de decisiones de los usuarios responsables de mantener el bienestar de los ocupantes de los espacios cerrados y así reducir los riesgos de contagio de enfermedades de transmisión por aerosoles [7]. La metodología de diseño se llevó a cabo en tres etapas, que son: (I) Investigación y análisis, (II) Planeamiento y desarrollo y (III) Diseño gráfico [8].

En la etapa de Investigación y análisis se identificaron los datos, las necesidades de los usuarios y del hardware de medición de CO<sub>2</sub> diseñado para comprender los contenidos requeridos en la aplicación. Se estudió el entorno del TEC, específicamente su estructura organizacional y las características de la infraestructura de los espacios donde se instalarán los dispositivos. También se llevó a cabo un análisis de usuarios, para identificar las necesidades, motivaciones y escenarios de uso que se requirieron solventar en la aplicación. Adicionalmente, se analizaron cinco referenciales de aplicaciones que cumplen con la función de monitoreo para identificar sus ventajas, desventajas y los patrones de diseño que los usuarios podrían acostumbrar a encontrar en este tipo de herramientas.

En la etapa del Planeamiento y desarrollo, se comenzó estableciendo la arquitectura de la herramienta a partir de los hallazgos de la primera etapa. La arquitectura es un esquema que organiza los contenidos de la aplicación en categorías y sirve como guía para el diseño de la información. En esta etapa se llevaron a cabo pruebas de validación con usuarios de forma virtual, con el fin de comprobar la usabilidad de la herramienta. La primera prueba aplicada fue un *Card Sorting*, en la cual los *testers* agruparon una serie de tarjetas con conceptos pertenecientes a la arquitectura. Como resultado se realizaron mejoras en la organización de los grupos establecidos en la arquitectura y se modificaron algunos términos que no eran fáciles de comprender.

Con base en la arquitectura mejorada y los flujos de navegación para llevar a cabo las tareas más importantes en la aplicación, se desarrollaron los primeros wireframes de la herramienta. Los *wireframes* son una visualización gráfica donde se establece la diagramación de una pantalla, la organización de información y los elementos interactivos para la navegación que contiene una herramienta [9]. Inicialmente, se elaboraron bocetos de los *wireframes* hasta concretarlos de forma digital en un prototipo de alta fidelidad en la aplicación Figma. Los *wireframes* de alta fidelidad fueron puestos a prueba con usuarios por medio del *Paper Prototyping*. Los *testers* pudieron interactuar con el primer prototipo de la aplicación con base en las tareas más comunes que realizarán, las cuales eran acordes a las necesidades establecidas en la primera etapa. Se evidenciaron ciertas problemáticas en la navegación de la interfaz y se realizaron mejoras.

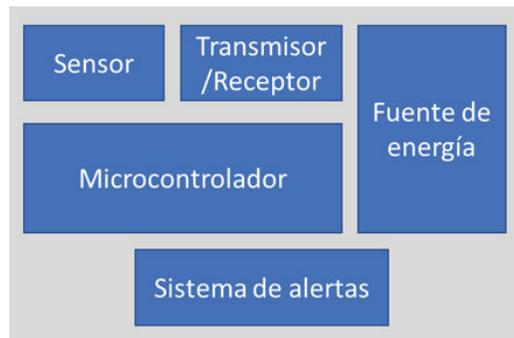
En la última etapa, del Diseño gráfico se establecieron todos los aspectos estéticos y perceptuales de la aplicación. Entre los cuales se encuentran la cromática, la tipografía, la iconografía y las imágenes. Se validó lo establecido en esta etapa por medio de Pruebas Heurísticas con los usuarios potenciales, hasta concretar las últimas mejoras y finalizar con la maqueta funcional elaborada en Figma.

## Resultados

En esta sección se establecen los resultados principales obtenidos acordes a las metodologías empleadas por cada parte del sistema.

### Diseño del circuito

Con los resultados de la investigación y análisis de los componentes del sistema se define en la figura 1 un diagrama inicial del diseño del circuito para el sistema de monitoreo de CO<sub>2</sub> en espacios cerrados, el cual es capaz de obtener mediciones estables, generar alertas y transmitir los datos de las mediciones a internet con componentes disponibles en el mercado a bajo costo.



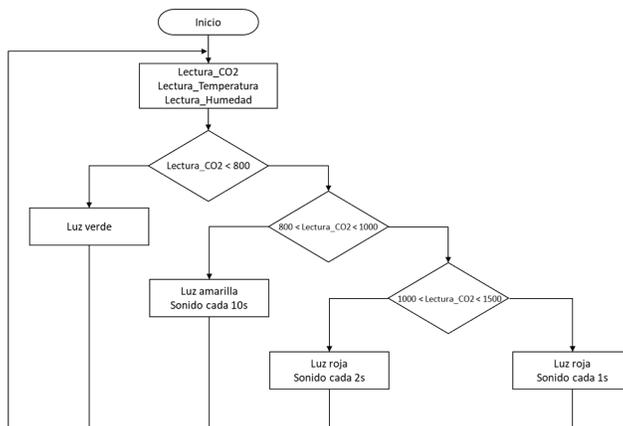
**Figura 1.** Dispositivo del sistema de monitoreo.

Con respecto a la detección de CO<sub>2</sub> se utilizaron sensores de radiación infrarroja que, a diferencia de los sensores electroquímicos, garantizan mayor estabilidad y selectividad debido a que el gas medido no interactúa en forma directa con el sensor, soportan alta humedad, polvo y otras condiciones hostiles [10]. El microcontrolador que se seleccionó para la solución cumple las funciones de transmisor/receptor, se encarga de controlar las alertas y cuenta con el módulo WiFi ESP8266 integrado que permite enviar los datos del sistema a Internet. Las alertas se establecieron con las especificaciones de la Tabla 1 que se encuentra basada en los lineamientos del Ministerio de Salud para la medición y niveles de concentración de dióxido de carbono aceptables para asegurar una correcta circulación del aire ambiente [11].

**Cuadro 1.** Definición de alertas, aceptabilidad y acciones según la concentración de CO<sub>2</sub>

Concentración de CO <sub>2</sub>	Alerta		Aceptabilidad	Acciones
	Luz	Sonido		
Menor a 800 ppm		-	Aire limpio	-
800 - 1000 ppm		Cada 10s	Aire de calidad aceptable	Informar, ventilar
1000 - 1500 ppm		Cada 2 s	Aire de calidad regular	Ajustar aforo, ventilar
Más de 1500 ppm		Cada 1s	Inaceptable	No operar hasta estar en rango aceptable

A partir del cuadro 1 se establece la lógica de las alertas que se muestra en la figura 2, donde se estableció un color y un sonido característico para cada rango de concentración de CO<sub>2</sub> según el nivel de aceptabilidad del aire, esto permite a los usuarios identificar de manera más intuitiva el estado de la ventilación del lugar y las acciones que se deben realizar en caso de que sea deficiente.



**Figura 2.** Diagrama de flujo para las alertas del sistema.

### Diseño de la carcasa

El diseño de la carcasa, se realizó de acuerdo a los hallazgos obtenidos en las cinco etapas de la metodología planteada, en donde, se estableció que los usuarios involucrados en el diseño de la carcasa serían los estudiantes y profesores, estos interactúan con la carcasa en las aulas cuando las alarmas se activan, y el personal de mantenimiento, quienes son las encargadas de la instalación y de las tareas de mantenimiento del producto, por ejemplo, repuesto de componentes y la limpieza del producto.

Para facilitar la interacción entre el producto y los usuarios, la carcasa se diseñó bajo el concepto “Simple y resistente”, por medio de este concepto, el encapsulado posee una apariencia simple redondeada y compacta de tonos neutros que mimetizan con el entorno, también, esta se estructura de pocas piezas siendo fácil de instalar y ensamblar facilitando las diferentes interacciones con los usuarios (ver figura 3). Además, se definió que el producto sería estacionario, esto con el objetivo de evitar que las personas tengan un constante contacto con el producto, el cuál debe estar instalado a la altura de la respiración de las personas, un punto de referencia es a la altura de las pizarras.



**Figura 3.** Carcasa del sistema de detección de CO<sub>2</sub>

En cuanto a la interfaz el producto posee un difusor de acrílico en la parte frontal que se ilumina para advertir al usuario sobre los niveles de CO<sub>2</sub>, según lo establecido en el diseño del hardware, cuando se ilumina de color verde el usuario no realiza ninguna acción, en color amarillo deberá abrir ventanas y puertas, y en color rojo se recomienda desalojar el aula. A parte, posee unas rejillas por donde los aerosoles entran y el sonido de la bocina se emite,

un botón que permite reiniciar el sistema en caso de fallos, y una entrada USB para recargar la batería del sistema, además, en la parte posterior posee el código que permite registrar al detector en la aplicación [5].

Para la confección del primer prototipo de la carcasa y el sistema de montaje, estas se fabricaron mediante impresión 3D en plástico ABS, para las piezas que conforman el difusor se cortaron en láser en acrílico, estos procesos fueron seleccionados debido a su bajo costo, y su facilidad de acceso dentro de la Institución y en el país. Este primer prototipo fue validado con el fin de verificar su funcionalidad y realizar mejoras en el diseño, a partir de las diferentes validaciones se manufacturo un segundo prototipo, al cual se le modifico el tamaño general de la carcasa y de las estructuras internas, ya que los espacios internos para sostener los componentes eran más grandes de lo que se requería, esto permitió disminuir el costo de la carcasa y obtener un tamaño más compacto lo que facilita su fabricación (ver figura 4).



**Figura 4.** Prototipo Final del sistema.

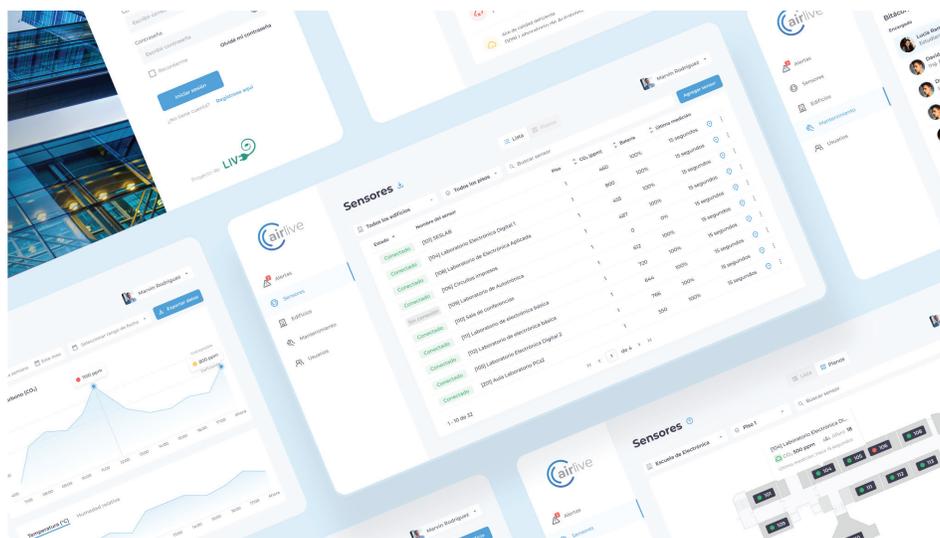
### Diseño de la interfaz digital

La aplicación fue diseñada con base en los resultados obtenidos en cada etapa de la metodología aplicada. De la etapa de investigación se destacan los arquetipos establecidos de personas que utilizarán la herramienta. Los cuales son, la persona administradora que posee las necesidades principales de monitorear las variables de la calidad del aire y recibir alertas en caso de emergencia, analizar los datos registrados a través del tiempo para tomar las decisiones pertinentes y administrar los dispositivos acordes a los espacios donde han sido instalados. Por otro lado, la persona encargada del mantenimiento; quien necesitará administrar los sensores y velar por el buen funcionamiento del sistema, también deberá llevar un registro en una bitácora de las acciones de mantenimiento realizadas. Todas estas necesidades se tradujeron en funciones que la aplicación satisface.

Para que la aplicación funcione, se requiere de una configuración inicial. En la sección llamada Sensores la aplicación permitirá agregar los dispositivos acordes a la ubicación donde se instalaron. Para esto, se añadió una función en la que los usuarios podrán subir imágenes de los croquis que representen cada piso que deseen monitorear en la sección de Edificios. Esta función presenta un beneficio a largo plazo para los usuarios, debido a que les permite reconocer eficazmente la ubicación de los dispositivos en los espacios monitoreados.

Entre las principales secciones de la aplicación se encuentra la pantalla inicial de Alertas, aquí se podrá revisar si se han registrado concentraciones de CO<sub>2</sub> deficientes o inaceptables en orden cronológico. Cada alerta se asocia al recinto donde está instalado el dispositivo y desplegará el valor a tiempo real de CO<sub>2</sub> medido, esto para validar si la situación fue resuelta en el espacio cerrado al escuchar la alarma del dispositivo o si se necesitan tomar más acciones para mejorar la calidad del aire.

El *look and feel* de la aplicación se estableció bajo el concepto de diseño “fresco y confiable”. Como se observa en la figura 5, la interfaz cuenta con una cromática de colores neutrales y celestes; que integra además los colores verde, amarillo y rojo para comunicar los estados de alertas comunicados por los dispositivos.



**Figura 5.** Pantallas de la aplicación diseñadas.

## Conclusiones

A partir de los resultados de la investigación realizada en este proyecto se diseñó un sistema de detección de CO<sub>2</sub> para espacios cerrados que alerta a las personas cuando los niveles de CO<sub>2</sub> no son los aptos, requiriendo que se ventilen o desalojen las aulas para evitar los contagios de virus por transmisión de aerosoles. Este sistema fue desarrollado por equipo interdisciplinario de estudiantes el cual contempló el diseño del circuito, un prototipo de la carcasa y una aplicación, esto es importante, ya que permitió consolidar una solución integral que toma en consideración un sistema que mida la calidad del aire de forma exitosa y la experiencia de los usuarios al interactuar con las interfaces.

El diseño del circuito para este sistema cuenta con sensores de CO<sub>2</sub> estables y altamente selectivos, un microcontrolador capaz de transmitir los datos en tiempo real y controlar una serie de indicadores que le permiten a los ocupantes del espacio tomar acción sobre la ventilación y así disminuir la probabilidad de contagio de COVID-19.

Con relación a la carcasa, su diseño facilita los procesos de instalación, ensamble y mantenimiento con los usuarios, además, debido a su forma, tamaño y cantidad de piezas, permite ser fabricada con tecnologías disponibles dentro de la Institución lo cual ayuda a disminuir el costo total de su fabricación y no eleva el costo total del sistema.

Por otro lado, durante el diseño de la aplicación fue muy importante involucrar a personas que podrían llegar a interactuar con el sistema por medio de pruebas de usabilidad para identificar mejoras. La aplicación facilitará el monitoreo a tiempo real de forma remota y permitirá la visualización de los datos obtenidos, priorizando aquellas alertas que necesitan atención en caso de que se presenten concentraciones de CO<sub>2</sub> inadecuadas.

Finalmente, es importante contribuir con la reducción de contagios al brindar una alternativa a bajo costo que promueva el bienestar de las personas en los espacios cerrados al advertir sobre la mala ventilación de estos lugares. Además, este tipo de proyectos permite generar cultura entre los estudiantes al imponer retos donde aplican sus conocimientos.

## Recomendaciones

Dado que este proyecto se realizó durante el II semestre del 2021, la totalidad de las validaciones con usuarios se efectuaron de forma virtual, por lo cual, es recomendable realizar pruebas adicionales con los usuarios para verificar aspectos de funcionamiento del sistema y su aplicación, con el objetivo de fortalecer la propuesta actual al mejorar las interfaces modificando o añadiendo nuevas funciones que ofrezcan una mejor experiencia a las personas.

## Referencias

- [1] World Health Organization, "Coronavirus disease (COVID-19)", 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19>.
- [2] L. Morawska and D. Milton, "It Is Time to Address Airborne Transmission of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)", *Clinical Infectious Diseases*, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://academic.oup.com/cid/article/71/9/2311/5867798>.
- [3] Deutsche Welle, «¿Cómo eludir el coronavirus en interiores? Espacios cerrados siguen siendo principales focos de COVID-19,» DW.com, Marzo 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.dw.com/es/c%C3%B3mo-eludir-el-coronavirus-en-interiores-espacios-cerrados-siguen-siendo-principales-focos-de-covid-19/a-57053879>.
- [4] Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad Laboral, «Procedimiento para la actuación sanitaria segura de los profesores, estudiantes y asistentes de los cursos presenciales de laboratorios, talleres y cursos prácticos,» GASEL TEC, 29 Enero 2021. [En línea]. Disponible en: [https://www.tec.ac.cr/sites/default/files/media/doc/p-40\\_v1.pdf](https://www.tec.ac.cr/sites/default/files/media/doc/p-40_v1.pdf).
- [5] R. Monge, "Diseño de carcasa para sistema de detección de CO2 en espacios cerrados", Esc. Ing. en Dis. Ind., Tec.de Costa Rica, Cartago, 2021.
- [6] J. Nielsen, "Usability 101: Introduction to Usability", Nielsen Norman Group, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>.
- [7] C. Segura, "Diseño de interfaz para el monitoreo de las variables relacionadas con la calidad del aire en espacios cerrados", Esc. Ing. en Dis. Ind., Tec.de Costa Rica, Cartago, 2021.
- [8] Hernández-Castro, F. "Metodología para el análisis y diseño de aplicaciones (usability cookbook)." Escuela de Diseño Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 2016
- [9] K. Gordon, "How to Draw a Wireframe (Even if You Can't Draw)", Nielsen Norman Group, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.nngroup.com/articles/draw-wireframe-even-if-you-cant-draw/>.
- [10] Vaisala, «Cómo medir el dióxido de carbono,» Vaisala, 2013. [En línea]. Disponible en: [vaisala.com/sites/default/files/documents/CEN-TIA-Parameter-How-to-measure-CO2-Application-note-B211228ES-A.pdf](https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/CEN-TIA-Parameter-How-to-measure-CO2-Application-note-B211228ES-A.pdf).
- [11] Ministerio de Salud de Costa Rica, «LS-SI-028. Lineamiento de ventilación para una calidad aceptable del aire en espacios interiores. (COVID-19),» 2021.