

ARTÍCULO ORIGINAL

Diseño e implementación de una maqueta de un sistema de información ambiental al ciudadano

*Design and Implementation of a Prototype
of an Environmental Information System for Citizens*

Miguel Ángel González Muñoz
techmigue@gmail.com

Alejandro José Cabrera Sarmiento

alex@automatica.cujae.edu.cu • <https://orcid.org/0000-0003-4129-911X>

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA HABANA "JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA", CUJAE, CUBA

Recibido: 2022-08-11 • Aceptado: 2022-09-23

RESUMEN

En este artículo se expone el diseño e implementación de la maqueta de un sistema de información ambiental al ciudadano, basado en plataformas de *hardware* y *software* libre. La propuesta se despliega en las plataformas Arduino y Raspberry Pi. Utilizando diferentes sensores conectados a una placa Arduino Mega, se miden las variables ambientales de temperatura, humedad, iluminación y nivel de lluvia, llevándose también la información de fecha y hora. Las variables medidas se muestran de manera local usando un *display* de cristal líquido. La información proveniente de los sensores se transmite de manera inalámbrica, utilizando el protocolo de comunicación MQTT a una Raspberry Pi, encargada de concentrar la información y visualizarla en una pantalla real. El sistema ofrece la posibilidad de configuraciones local y remota.

PALABRAS CLAVE: *Arduino, ciudad inteligente, información ambiental, MQTT, Raspberry Pi.*

ABSTRACT

This paper exposes the design and implementation of a prototype of an environmental information system for citizens based on free hardware platforms. The

proposal is deployed on the Arduino and Raspberry Pi platforms. Using different sensors connected to an Arduino Mega board, the environmental variables of temperature, humidity, lighting and level of rain are measured, also taking the date and time information. The measured variables are displayed locally using a liquid crystal display. The information from the sensors is transmitted wirelessly using the MQTT communication protocol to a Raspberry Pi, in charge of concentrating the information and displaying it on a real screen. The system offers the possibility of local and remote configurations.

KEYWORDS: *Arduino, smart city, environmental information, MQTT, Raspberry Pi.*

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la humanidad atraviesa una época de vertiginosos descubrimientos y avances tecnológicos que agilizan la velocidad con que se resuelven dificultades latentes a lo largo de la historia. Un problema acuciante es el precipitado crecimiento demográfico y la consecuente afectación al medio ambiente (Modebadze, 2021). Las estimaciones actuales sugieren que para 2030, aproximadamente el 60 % de la población mundial vivirá en ciudades y el mayor crecimiento se concentrará en África, Asia y Latinoamérica (Naciones Unidas, 2015). A medida que nuestro planeta se vuelve más “urbano”, las ciudades deben ser cada vez más eficientes. La urbanización requiere nuevos métodos e innovaciones para administrar la compleja vida urbana que se aproxima: sobrepoblación, consumo de energía, manejo de recursos, protección del medio ambiente, etcétera.

En este contexto surgen las llamadas ciudades inteligentes. Existe gran diversidad de criterios que buscan enmarcar el concepto de una ciudad inteligente. Sin embargo, muchos de ellos coinciden en el uso intensivo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) enfocadas, en primer lugar, en integrar al ciudadano como ente central de la ciudad, elevando así su calidad de vida y, en segundo lugar, en el mejoramiento de los distintos sistemas que integran las ciudades, por ejemplo: gobernanza, economía, transportación, medio ambiente, energía, sanidad y seguridad, apostando a la sostenibilidad y al uso eficiente de los recursos (Novotný, Kuchta, y Kadlec, 2014) (Eremia, Toma, y Sanduleac, 2017) (Giffinger y Gudrun, 2010) (Nordin, 2012).

Un pilar de las ciudades inteligentes son los sistemas capaces de poner en manos de sus ciudadanos la mayor cantidad de información ambiental relativa al entorno, de forma sencilla y en tiempo real. Esta forma de interacción de las personas con la tecnología y el medio ambiente se conoce regularmente como sistema de información ambiental al ciudadano. Tiene como primer impacto la concientización de las personas sobre el estado actual del medio ambiente de su ciudad y de los posibles padecimientos ambientales que sobrelleva.

Uno de los retos más difíciles que enfrenta el desarrollo de una ciudad inteligente es la gestión efectiva de la información. En este sentido, las plataformas de *hardware* y *software* libre aparecen como una solución muy competitiva para afrontar este desafío (Costa y Duran-Faundez, 2018). Los recursos tecnológicos basados en esta filosofía han demostrado superioridad en cuanto a calidad, eficiencia, estabilidad, seguridad, costos y uso, en comparación con soluciones privativas similares. La base de la competitividad de las plataformas de *hardware* libre es la disponibilidad de las especificaciones y diagramas esquemáticos, que incentiva el trabajo colaborativo y la rápida depuración de los errores de implementación.

La disponibilidad de un sistema de información ambiental en las ciudades inteligentes es imprescindible para lograr una planificación acorde con la dimensión medioambiental y, consecuentemente, una gestión ambiental eficaz y rigurosa, capaz de realizar una asignación correcta de los recursos naturales, la difusión pública del conocimiento sobre las condiciones y limitaciones en las que pueden desenvolverse las actividades de producción y consumo, y asegurar, dentro de un modelo de desarrollo duradero, el mantenimiento y la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos.

Existen diversos trabajos relacionados con el diseño e implementación de un sistema de información ambiental al ciudadano. En el caso de Sarkar, Pal, Datta y Roy (2020) se proponen auxiliar a los habitantes de la ciudad donde se realiza la investigación, a tomar precauciones necesarias según las condiciones del clima, y para ello han desarrollado un sistema que permite medir y transmitir vía wifi diversos datos meteorológicos, como temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, dirección y velocidad del viento y nivel de lluvia. Emplean una placa Arduino UNO y la información se transmite de manera inalámbrica usando la placa auxiliar Node MCU, basada en el SoC (*System on Chip*) ESP8266. Por otra parte, Rahut, Afreen, Kamini y Gnanamalar (2018) desarrollaron un sistema de información ambiental que recopila diversos parámetros, y a través de una app envía notificaciones de alarma en caso de repentinos y drásticos cambios del clima. Reúnen información ambiental de temperatura, humedad, velocidad del viento, intensidad de la luz, radiación ultravioleta, niveles de monóxido de carbono, humedad del suelo y nivel de lluvia.

También se puede citar a Brito, Favarim, Calin y Todt (2017). Su diseño e implementación cuesta solo 10 % del precio en comparación con otros sistemas de información ambiental, permitiendo su popularización en la agricultura, los hogares y las instituciones. Este trabajo muestra un modelo de desarrollo de un sistema de información ambiental al ciudadano, de bajo costo, usando solo *hardware* y *software* libre, conectado a Internet, y obteniendo datos en tiempo real tomados de la estación. Utiliza, además, sensores de bajo costo o hechos a mano, como los que miden la velocidad y dirección del viento y las precipitaciones.

Otro ejemplo es el trabajo realizado por Semenov, Ivanchenko, Kharchenko y Kolobanov (2019), en el cual proponen un sistema de información ambiental al ciudadano portable que permite enviar en tiempo real, a través de mensajes SMS, los datos obtenidos de los sensores de las condiciones del clima: temperatura, presión atmosférica, humedad del aire, dirección y velocidad del viento. Además, permite predecir el estado del tiempo de las próximas 24 horas.

La comprobación de la precisión del sistema se lleva a cabo comparando las mediciones con las conseguidas del archivo meteorológico local, desde su sitio web oficial, durante un período de tiempo determinado.

Un aporte interesante en el protocolo de comunicación lo realiza la investigación de Novianty, Ferdika, Sholihah, Siskandar y Sari (2019). En la investigación desarrollan un sistema de información ambiental basado en IoT (*Internet of Things*). Utiliza un conjunto de sensores meteorológicos integrados, midiendo automáticamente datos como temperatura, humedad ambiental y presión del aire, mostrándolos en un *display* de cristal líquido (LCD, por sus siglas en inglés) y almacenándolos en una tarjeta SD como registrador de datos. En el artículo se diseña e implementa un sistema de transmisión de mensajes conocido como protocolo MQTT (del inglés, Message Queue Telemetry Transport), para mantener el orden entre los mensajes en el entorno de trabajo. El protocolo MQTT actúa como transmisor de datos en tiempo real, para que el dispositivo pueda ser monitoreado a larga distancia mediante un teléfono inteligente.

Por su parte, Tenzin, Siyang, Pobkrut y Kerdcharoen (2017) diseñaron e implementaron un sistema de información ambiental que fue desplegado en una granja. Los datos meteorológicos fueron comparados con una estación conocida comercialmente como Davis Vantage Pro2, instalada en la misma granja. Vantage Pro2 es una de las estaciones meteorológicas más comercializadas en el mundo por sus prestaciones (Bell, Cornford y Bastin, 2015). Los resultados muestran que el sistema de monitoreo del clima, diseñado y fabricado en el laboratorio, es eficientemente equivalente para medir varios parámetros climáticos. El procesador empleado en cada nodo de transmisión es un microcontrolador PIC24FJ64. El sistema incluye varios sensores para medir temperatura y humedad ambiental, luminosidad, velocidad y dirección del viento, nivel de precipitaciones, así como temperatura y humedad del suelo. En este trabajo se utiliza una celda solar como fuente de energía, debido a la inconveniencia del cableado hasta cada estación ubicada a una distancia apartada en la granja. Además, se utiliza un módulo de transmisión de radio de bajo costo Xbee Pro S2, el cual tiene un alcance de transmisión de 1,6 km.

El desarrollo tecnológico en Cuba, orientado a ciudades inteligentes, toma cada vez más fuerza, según Delgado, Sánchez y Reyes (2019). Se han llevado a cabo investigaciones orientadas, por ejemplo, al monitoreo de la calidad del agua y alerta temprana ante inundaciones, por Rodríguez, Álvarez, González y Benítez (2018), el cual monitorea la calidad del agua en redes de distribución a la población e incorpora un sistema de alerta ante la posible inundación de los embalses en zonas bajas o de interés general. Por su parte, otras investigaciones orientadas a la teleasistencia del adulto mayor, por ejemplo, un botón de ayuda para ancianos, de Salgueiro, González y Rodríguez (2018), el cual presenta un sistema capaz de proveer a estos una vía rápida de pedir ayuda a la persona encargada de su cuidado, haciendo uso de la red celular existente en el país. Aunque de momento son prototipos creados en la Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca, que se han estado evaluando a escala de laboratorio, en un futuro cercano pudieran ser soluciones que ayuden a facilitar la vida de las personas (Suárez, 2019).

Este artículo propone la solución de un sistema de información ambiental al ciudadano basado en plataformas de *hardware* y *software* libres, con fines demostrativos y que evidencie las potencialidades y factibilidad de implementación. La validación del diseño y puesta en marcha de un sistema de este tipo permite añadir experiencia al actual desarrollo investigativo del ecosistema digital cubano, enfocado en las ciudades.

El diseño del *hardware* de la propuesta se encuentra limitado por la disponibilidad de los diferentes dispositivos en el momento de la investigación. De esta forma, se entiende que el diseño puede ser mejorado considerablemente. De manera general, las variables medidas por el sistema de información ambiental propuesto son muy similares a los proyectos expuestos; este incluye la medición de temperatura, humedad, nivel de lluvia, iluminancia y registro de la fecha y hora. Por su parte, los requerimientos de capacidad de procesamiento del sistema no son severos y los microcontroladores AT mega de 8 bits satisfacen las necesidades para el desarrollo del proyecto. La selección de las plataformas para adquirir y procesar la información queda en dependencia, por ejemplo, de los puertos de entrada/salida y las prestaciones que estos brindan, de la capacidad de memoria flash y SRAM y del costo, resultando en que las plataformas seleccionadas para la propuesta se asemejan a las utilizadas en los proyectos presentados. La propuesta incluye la capacidad de visualización local para mostrar la información ambiental en un *display* LCD, así como de configuración local, mediante un teclado matricial, de diferentes parámetros de operación, como los intervalos de muestreo de las diferentes variables, los límites de alarma, etc., características que lo distingue de los ejemplos reales estudiados (a excepción de Novianty, Ferdika, Sholihah, Siskandar y Sari, 2019) y que, si bien no son imprescindibles, sí resultan muy útiles en sistemas de este tipo.

Existe un vasto despliegue de tecnologías de comunicación que permiten un uso extensivo y muy competitivo en todas las ramas de IoT. Esto permite un margen de selección en concordancia con los requerimientos específicos de la aplicación que se esté desarrollando. La solución diseñada para llevar a cabo la comunicación en el sistema propuesto emplea la tecnología wifi y el protocolo de comunicación MQTT, lo cual coincide de forma general con los trabajos estudiados. En términos de comunicación, pudiera considerarse la variante tecnológica de Bluetooth Low Energy (BLE), con la cual se reduce drásticamente el consumo de energía y el costo, se mantiene un amplio radio de transferencia que puede alcanzar conexiones incluso de hasta 100 metros, la cual no es utilizada en el desarrollo expuesto, debido a su no disponibilidad.

METODOLOGÍA

La metodología de abordaje en este artículo se puede resumir de la siguiente manera:

1. Investigación de las bases teóricas y referentes principales relacionada con los sistemas de información ambiental al ciudadano, basados fundamentalmente en plataformas de *hardware* y *software* libre, así como los referentes metodológicos principales que se

encuentran en la literatura de acceso abierto, utilizando bases de datos indexadas y otros motores de búsqueda de documentación.

2. Propuesta de un diseño e implementación de un sistema de información ambiental al ciudadano, basado en los principales adelantos y teniendo en cuenta las limitaciones más frecuentes que se hallaron en la investigación de las bases teóricas.
3. Comprobar el correcto funcionamiento de todo el sistema, mediante su puesta en explotación durante un período de tiempo considerable.

ARQUITECTURA DEL SISTEMA PROPUESTO

A partir del estudio de trabajos relacionados con esta investigación existe cierta similitud en la forma con que se implementan los distintos sistemas de información ambiental al ciudadano.

En la figura 1 se muestra la concepción de un esquema general de sistema de información ambiental, compuesto por cinco bloques fundamentales: Plataforma de adquisición y comunicación, Sensores de variables ambientales, Plataforma de procesamiento, Indicación visual e Interfaz entre plataformas de adquisición y procesamiento.

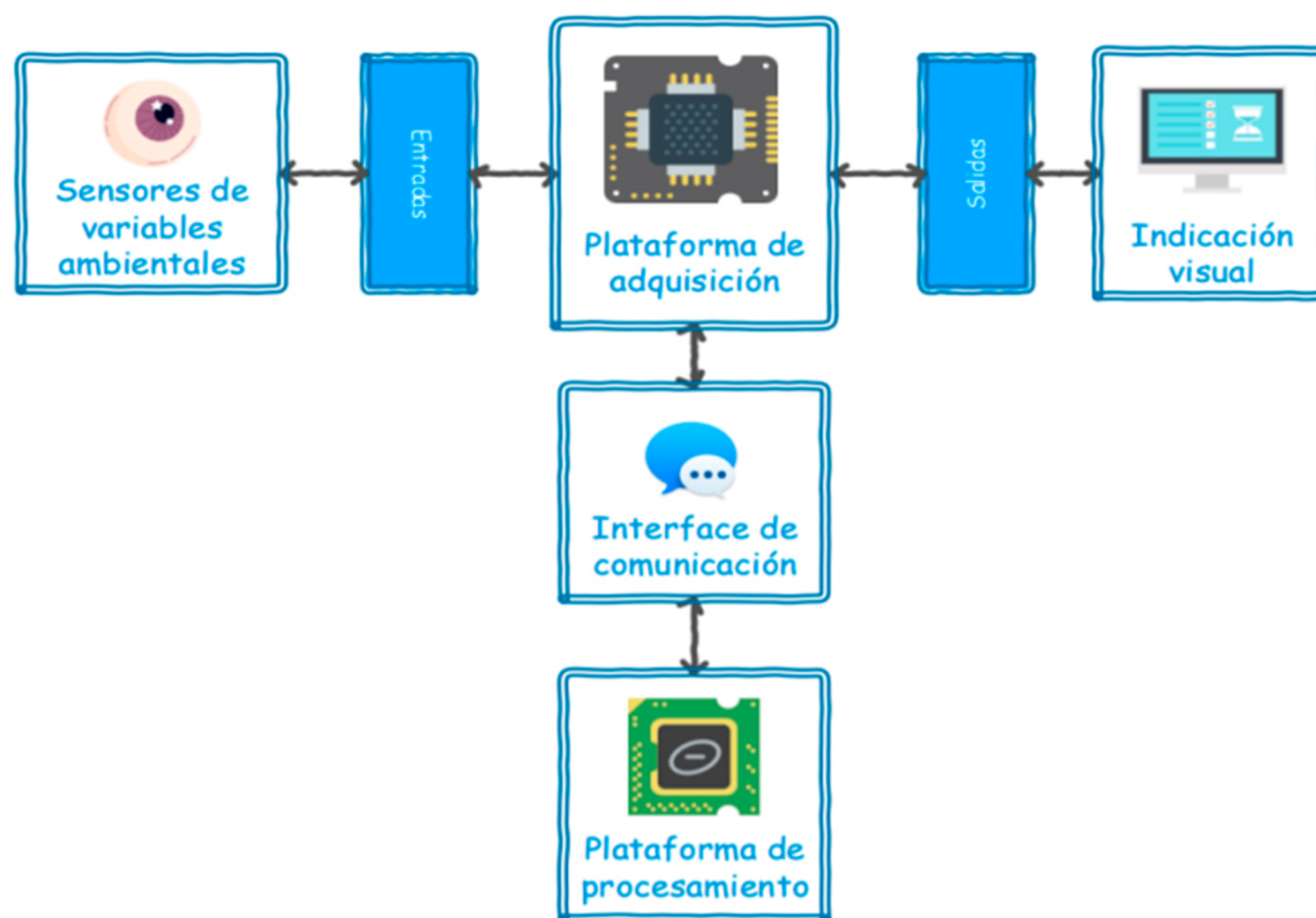


Figura 1
Bloques
fundamentales
de un sistema
de información
ambiental.

Plataforma de adquisición y comunicación

Este bloque es el más importante del sistema de información ambiental al ciudadano. Su objetivo es adquirir la información proveniente de los sensores de entrada, procesarla y garantizar que se envíe a su destino de manera rápida y segura. Tiene como objetivo consultar, leer y decodificar la información enviada por cada sensor (almacenándola o no) y dejarla lista en un formato estandarizado para su uso por los siguientes bloques, por ejemplo, enviarla a la plataforma de procesamiento o mostrarla en la indicación visual. También debe atender las consultas y modificaciones establecidas por el bloque de Configuración y control. Dadas las funciones que debe realizar, la plataforma *hardware* puede tener capacidades de almacenamiento y procesamiento limitadas.

Arduino se presenta como una solución atractiva para el diseño e implementación del sistema. Es una plataforma de *hardware* libre compuesta por placas basadas, por lo general, en microcontroladores Atmel AVR de 8 bits de la familia ATmega. Estas placas disponen, además de los circuitos de reloj, *reset* y alimentación, de varios puertos digitales y analógicos de entrada y salida, que permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla. Además, incorporan una interfaz de programación para la memoria de programa del microcontrolador que, en unión de un programa cargador (*bootloader*) ya instalado en una sección de la memoria de programa, facilita su programación (Banzi y Shiloh, 2022).

Se escoge como plataforma de adquisición y comunicación la placa Arduino Mega 2560. Es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega2560. Tiene una memoria de programa de 256 kB y una memoria de datos de 8 kB, con 54 entradas/salidas digitales, 16 entradas analógicas, cuatro interfaces serie UART, un cristal de 16 Mhz, conexión USB y para alimentación de corriente directa y un botón de reseteo, recursos más que suficientes para los requisitos de diseño.

Sensores de variables ambientales

El objetivo fundamental de este bloque es recolectar la información cualitativa del medio ambiente y convertirla en datos cuantitativos. Las variables más útiles para estudiar el estado del medio ambiente y, por ende, medidas con más frecuencia en los sistemas de información ambiental al ciudadano son: temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, dirección y velocidad del viento, ruido ambiental, nivel de lluvia, calidad del aire, iluminancia y radiación ultravioleta. El diseño propuesto incluye la medición de temperatura, humedad, iluminancia y nivel de lluvia, así como el registro de fecha y hora.

Dado que se utiliza una placa Arduino, se ha seleccionado un conjunto de sensores de muy fácil conexión con esta plataforma y, sobre todo, con disponibilidad de bibliotecas de funciones *software* ya elaboradas, que simplifican la adquisición de la información.

El DHT11 es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de bajo costo y fácil uso. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir la temperatura del aire circundante, transmitiendo los datos mediante una señal digital. Emplea un bus de un único hilo en su comunicación y sincronización con el microcontrolador, conocido en la bibliografía como “Single-Wire Two-Way” o “Single Bus”. Utilizar el sensor DHT11 con la plataforma Arduino es muy sencillo, tanto a nivel de *software* como *hardware* (Mouser, 2022).

Para la medición del nivel de lluvia se emplea un sensor ultrasónico. El sensor HC-SR04 es el más utilizado dentro de los sensores de este tipo en la plataforma Arduino. Posee dos transductores: un emisor y un receptor piezoeléctricos, además de la electrónica necesaria para su operación, la cual permite medir la distancia entre el sensor y el objeto más cercano, utilizando ondas ultrasónicas (Sparkfun, 2022).

El KY-018 es el módulo clásico empleado para la medición de iluminancia en la plataforma Arduino. Incorpora una fotorresistencia y una resistencia de 10 kΩ conectadas en serie. Gracias a la configuración del sensor, es muy sencillo medir el valor de la fotorresistencia.

Para llevar el registro de la fecha y hora se emplea un reloj de tiempo real RTC (*Real Time Clock*). Los RTC tienen la ventaja de reducir el consumo de energía, aportar mayor precisión y liberar al microprocesador de tener que realizar la contabilización del tiempo. Además, frecuentemente los RTC incorporan algún tipo de batería que permite mantener la medición del tiempo en caso de pérdida de alimentación. Para el diseño e implementación de la maqueta se selecciona el RTC DS1307 con interfaz I2C para su conexión con la placa Arduino Mega.

Plataforma de procesamiento

Este bloque tiene por objetivo recibir la información enviada desde la plataforma de adquisición para almacenarla y realizar tareas de procesamiento en alto nivel. Debido a las características de este bloque, de tener mayor capacidad de almacenamiento y procesamiento, es posible recrear datos históricos (como gráficas), desarrollar algoritmos de pronósticos basados en la información recopilada, así como crear las bases para la difusión digital de la información. Para el desarrollo de la maqueta del sistema de información ambiental al ciudadano se utiliza una Raspberry Pi modelo 3B. Se puede consultar más información en Richardson y Wallace (2012).

Indicación visual

El objetivo de este bloque es mostrar en tiempo real y de forma local los datos que están siendo recolectados en el lugar de medición. Para la implementación de la maqueta se emplea un display LCD tipo LM016 de dos filas, 16 caracteres e interfaz de datos y de control de 11 pines. Para simplificar su conexión y atención desde el Arduino Mega, se conecta a través del circuito integrado PCF8574, que proporciona expansión de puertos de entrada/salida de 8 bits (para la conexión con el LCD) y dispone de comunicación I2C para la comunicación con la placa Arduino. Como apoyo a la indicación visual, en la propuesta se incluyen cuatro LED para indicadores de alarma y su activación indica que una variable ambiental específica ha superado un determinado valor establecido previamente, ya fuese a través del bloque de configuración local o mediante configuración remota a través del protocolo MQTT.

Interface entre las plataformas de adquisición y procesamiento

El objetivo de este bloque es lograr la comunicación rápida y eficiente entre las plataformas de adquisición y procesamiento. Para el desarrollo de la maqueta del sistema de información ambiental al ciudadano se emplea el módulo ESP01 basado en un ESP8266 que permite establecer una comunicación wifi. Dado que los pines de entradas/salidas del módulo trabajan a 3.3V para la conexión a sistemas de 5V, es necesario utilizar convertidores de nivel o una resistencia pequeña en serie (de unos 100 Ω). El consumo medio del módulo ESP01 es de 70 mA, llegando a 200 mA de pico en intervalos de transmisión. La placa Arduino Mega 2560 ofrece dos pines destinados a alimentar sensores y actuadores, pero no es capaz de suministrar el nivel de corriente pico. Por lo tanto, alimentar un ESP01 basa-

do en el ESP8266 directamente con un Arduino no es una opción viable. Existen diversas soluciones modulares que resuelven este problema. Para la implementación de la maqueta se ha seleccionado el regulador MB102. También se incluyen dos LED para indicadores de estado de conexión y su activación indica conexión wifi establecida y conexión de cliente *broker* exitosa.

Configuración y control

Además de los cinco bloques mostrados en la figura 1, se emplea un sexto bloque de configuración y control, que incluye el *hardware* necesario para establecer de forma local algunas configuraciones en el sistema, como son el intervalo de muestreo, las variables límite y el intervalo de envío de información. Un teclado matricial 4 x 4 disponible en la plataforma Arduino, es el empleado en la implementación de la maqueta. El teclado matricial utilizado es de tipo membrana, el cual presenta mayor resistencia al agua y al polvo. También ofrece un autoadhesivo en la parte posterior que facilita su instalación.

Protocolo de comunicación

El protocolo de comunicación seleccionado para el diseño e implementación de la maqueta es MQTT, el cual es un protocolo de comunicación basado en el transporte de mensajes siguiendo una estructura de publicación/suscripción (P/S) entre cliente y servidor. En los dos últimos años se ha movido a la comunidad *open-source*, con mayor popularidad en aplicaciones móviles. Destaca por ser ligero y sencillo de implementar, por lo que resulta apropiado para dispositivos de baja potencia como los que frecuentemente se emplean en IoT. Está optimizado para manejar un gran número de clientes conectados de forma simultánea, varios miles de conexiones concurrentes de dispositivos. Según Novianty, Ferdika, Sholihah, Siskandar y Sari (2019) la arquitectura de MQTT sigue una topología de estrella, con un nodo central que hace de servidor o *broker* con una capacidad de hasta 10 000 clientes. El *broker* es el encargado de gestionar la red y transmitir los mensajes entre clientes interesados conectados al servidor. Para mantener activo el canal, los clientes mandan periódicamente un paquete y esperan la respuesta del broker. La comunicación se basa en unos temas (*topics*) que crea el cliente que publica el mensaje y los nodos que deseen recibirlo deben suscribirse a él. La comunicación puede ser de uno a uno o de uno a muchos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema se procedió al montaje y la verificación del sistema por bloques y luego el sistema completo. En la figura 2 se muestra el diagrama en bloques del diseño *hardware* del sistema de información al ciudadano.

Las partes que componen la maqueta del sistema de información ambiental al ciudadano se muestran en la figura 3. La imagen muestra el sistema en pleno funcionamiento.

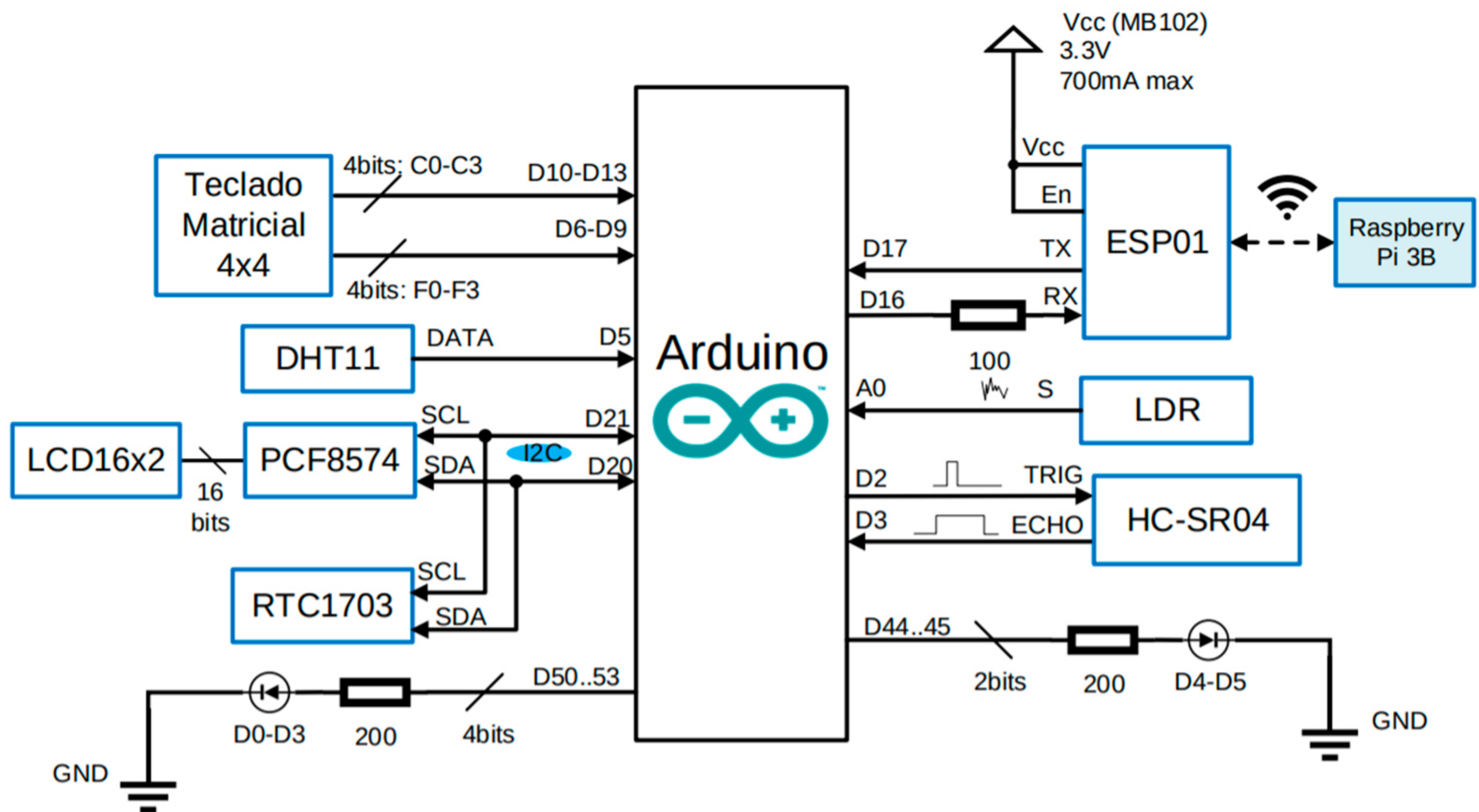


Figura 2 Diagrama en bloques del diseño *hardware* del sistema de información al ciudadano.

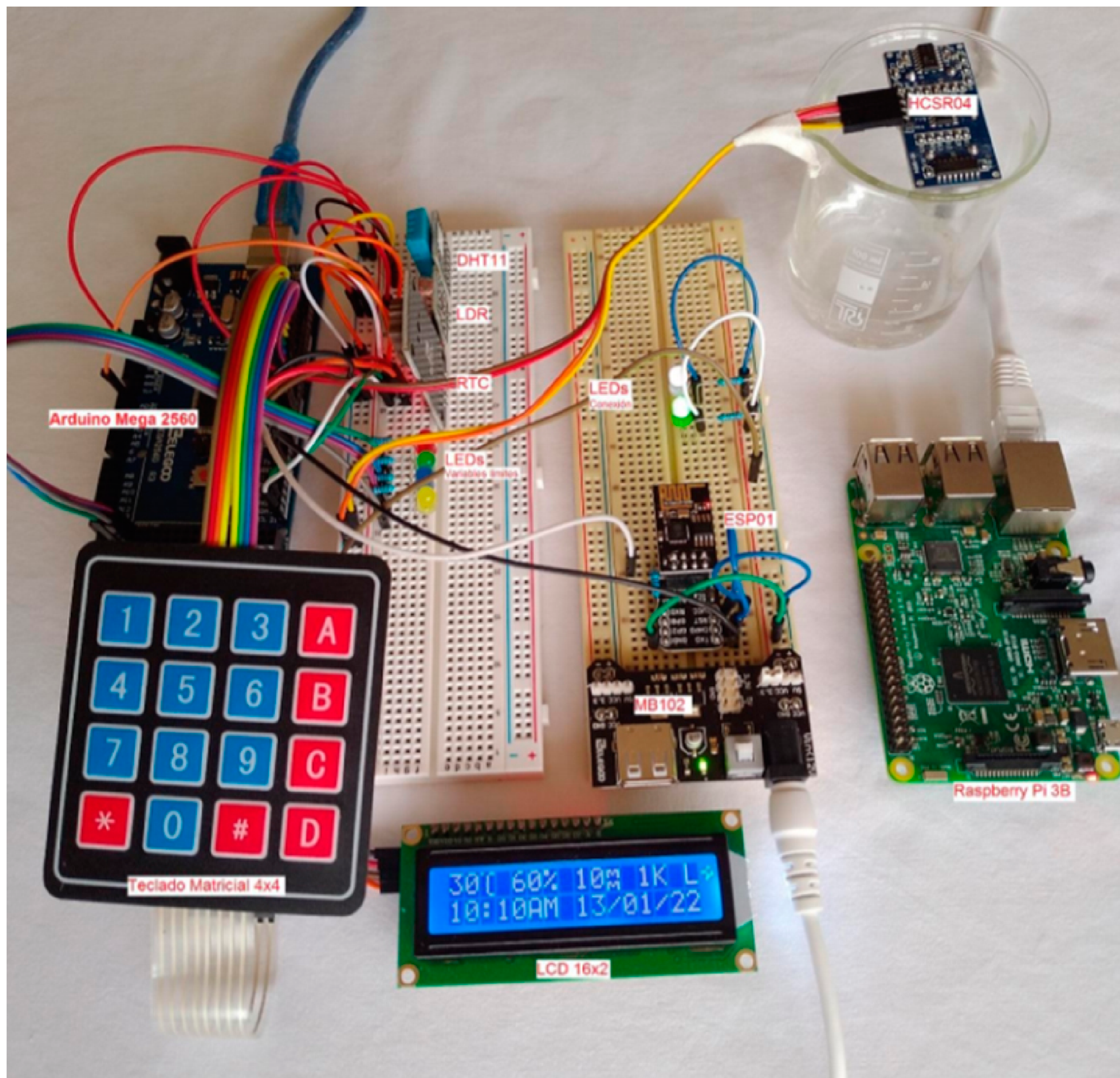


Figura 3 Montaje completo de la maqueta del sistema de información ambiental al ciudadano.

Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema se llevó a cabo un experimento, el cual consistió en adquirir datos durante un período de 72 horas. Se configuró el dispositivo para que publicara los datos en el *broker* cada un minuto, esto es aproximadamente 4 300 paquetes de datos en total enviados. Los resultados se muestran en la figura 4, en la cual se observa el comportamiento de las variables nivel de lluvia (a), iluminancia (b), humedad (c) y temperatura (d). Un detalle interesante lo ofrece el comportamiento de la variable iluminancia. Si bien no es posible conocer información relevante sobre la iluminancia del espacio donde se instala, sí es muy útil para conocer los estados día y noche. Se tuvo en cuenta la escala logarítmica en la medición de la iluminancia. Como se observa, se logró estabilidad en las mediciones y la transmisión de estas desde la plataforma de adquisición a la plataforma de procesamiento.

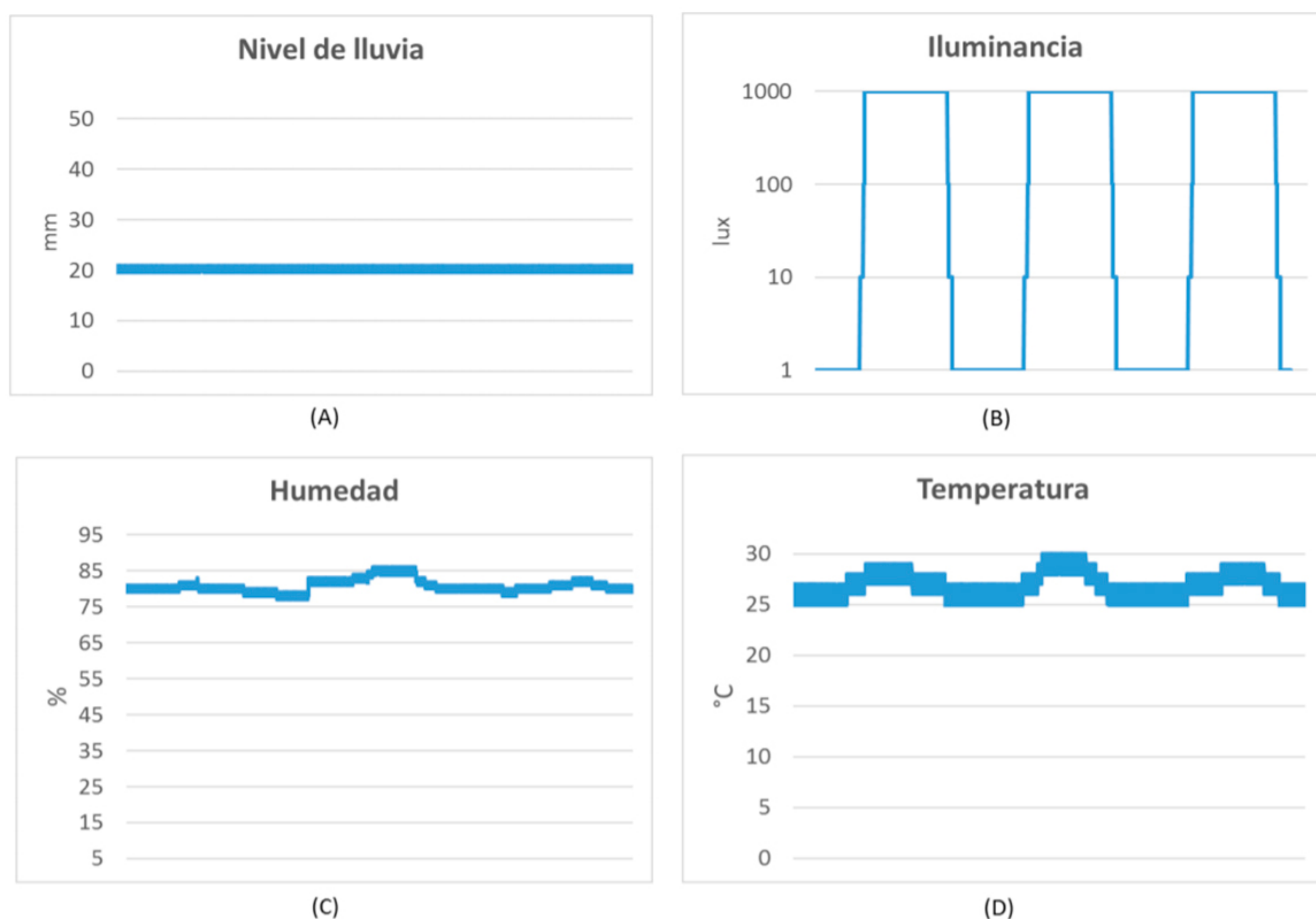


Figura 4 Gráficas de Nivel de lluvia (a), Iluminancia (b), Humedad (c) y Temperatura (d), obtenidas en la validación de la maqueta.

La comprobación del correcto funcionamiento del protocolo MQTT se lleva a cabo empleando la herramienta de programación visual Node-RED desplegada en la Raspberry Pi. Es un *software* muy potente que sirve para comunicar *hardware* y servicios de una forma muy rápida y sencilla, simplificando la tarea de programar del lado del servidor, gracias a la programación visual. Esta herramienta se ha consolidado como plataforma de código abierto para la gestión y transformación de datos en tiempo real en entornos de IoT, según Lekić y Gardašević (2018).

CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este artículo se ha logrado el diseño, la implementación y la validación de una primera versión de la maqueta de un sistema de información ambiental al ciudadano, de forma exitosa, basado en plataformas de *hardware* y *software* libre, ofreciendo experiencias al actual desarrollo investigativo del ecosistema digital cubano enfocado en las ciudades inteligentes.

La validación de la maqueta del sistema de información ambiental al ciudadano, se llevó a cabo comprobando el correcto funcionamiento de los subsistemas de manera individual y de todo el sistema trabajando al unísono. Las pruebas terminales se realizaron durante 72 horas, con una exitosa adquisición, visualización y transmisión de la información.

En investigaciones futuras debe comprobarse la escalabilidad del protocolo MQTT añadiendo más clientes al sistema, ya que en esta investigación solo se han conectado dos clientes. También debe valorarse el reemplazo del microcontrolador AT mega 2560 empleado, por otro con menor capacidad de memoria de programa, lo que abarataría el costo del proyecto.

Una limitante considerable que se debe tener en cuenta es el consumo de corriente del sistema. Específicamente el ESP01 empleado, el cual presenta 70 mA de consumo medio y 200 mA pico en transmisión. Existen variantes que pueden evaluarse como BLE o Bluetooth v5.0 que introducen mejoras notables en el consumo de energía. La implementación de la maqueta es solo un primer paso. Se recomienda emplearla y comprobar su adecuado funcionamiento en un entorno cotidiano, para lo cual se requiere evaluar la forma real de mostrar la información ambiental y desarrollar las modificaciones correspondientes en la maqueta.

REFERENCIAS

- Modebadze, V. (2021). The issue of unchecked population growth and its effect on environmental degradation. *Kut Bilim Sosyal Bilimler ve Sanat Dergisi*, 1(1), 36-44. Recuperado de: <https://dergipark.org.tr/en/pub/kutbilim/issue/69572/1109621>
- Naciones Unidas (2015). Perspectivas de la población mundial. Hallazgos clave y tablas avanzadas. Recuperado de: https://population.un.org/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf
- Novotný, R., Kuchta, R., & Kadlec, J. (2014). Smart city concept, applications and services. *Journal of Telecommunications System & Management*, 3(2), 1-5.
- Eremia, M., Toma, L., & Sanduleac, M. (2017). The smart city concept in the 21st century. *Procedia Engineering*, 181, 12-19.
- Giffinger, R., & Gudrun, H. (2010). Smart cities ranking: an effective instrument for the positioning of the cities? *ACE: architecture, city and environment*, 4(12), 7-26.
- Nordin, R. (2012). Creating knowledge-based clusters through urban development (Tesis Doctoral, Universitäts-und Landesbibliothek Bonn).
- Costa, D. G., & Duran-Faundez, C. (2018). Open-source electronics platforms as enabling technologies for smart cities: Recent developments and perspectives. *Electronics*, 7(12), 404.

- Sarkar, I., Pal, B., Datta, A., & Roy, S. (2020). Wi-Fi-based portable weather station for monitoring temperature, relative humidity, pressure, precipitation, wind speed, and direction. *Information and Communication Technology for Sustainable Development* (pp. 399-404). Springer, Singapore.
- Rahut, Y., Afreen, R., Kamini, D., & Gnanamalar, S. S. (2018). Smart weather monitoring and real time alert system using IoT. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5(10), 848-854.
- Brito, R. C., Favarim, F., Calin, G., & Todt, E. (2017, November). Development of a low cost weather station using free *hardware* and software. 2017 Latin American Robotics Symposium (LARS) and 2017 Brazilian Symposium on Robotics (SBR) (pp. 1-6). IEEE.
- Semenov, E. S., Ivanchenko, G. S., Kharchenko, A. V., & Kolobanov, R. V. (2019, May). Mobile weather station based on AT mega 2560 microprocessor. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 537, No. 3, p. 032086). IOP Publishing.
- Novianty, I., Ferdika, A., Sholihah, W., Siskandar, R., & Sari, I. P. (2019, September). Design of Portable Weather Station Using MQTT Protocol. 2019 2nd International Conference of Computer and Informatics Engineering (IC2IE) (pp. 199-202). IEEE.
- Tenzin, S., Siyang, S., Pobkrut, T., & Kerdcharoen, T. (2017, February). Low cost weather station for climate-smart agriculture. 2017 9th international conference on knowledge and smart technology (KST) (pp. 172-177). IEEE.
- Bell, S., Cornford, D., & Bastin, L. (2015). How good are citizen weather stations? Addressing a biased opinion. *Weather*, 70(3), 75-84.
- Tanner, B. D. (2009). Automated weather stations. *Remote Sensing Reviews*, 5(1), 73-98.
- Rodríguez, A. R., Álvarez, J. R. V., González, J. G., & Benítez, V. R. (2018). Monitoring tool for water quality and quick alert of flooding. *Sistemas y Telemática*, 16(44), 25-34.
- Salgueiro, L. J. G., González, A. A., & Rodríguez, P. A. R. (2018). Help button for elderly people on the Arduino platform. *Sistemas y Telemática*, 16(45).
- Suárez, R. (2 de octubre de 2019). Prototipos para una ciudad inteligente. Granma. https://www.granma.cu/file/pdf/2019/10/02/G_2019100208.pdf
- Delgado, T., Sánchez, A., & Reyes, R. (2019). Laboratorios urbanos para ciudades inteligentes: Primeros pasos en municipios cubanos. (Ponencia). X International Greencities Congress (Vol. 2019, p. 10).
- Banzi, M., & Shiloh, M. (2022). Getting started with Arduino. Maker Media, Inc.
- Mouser (2022). DHT11 Humidity & Temperature Sensor. Recuperado de: <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>
- Sparkfun (2022). Ultrasonic Ranging Module HC-SR04. Recuperado de: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>
- Richardson, M., & Wallace, S. (2012). Getting started with raspberry PI. O'Reilly Media, Inc.
- Novianty, I., Ferdika, A., Sholihah, W., Siskandar, R., & Sari, I. P. (2019, September). Design of Portable Weather Station Using MQTT Protocol. 2019 2nd International Conference of Computer and Informatics Engineering (IC2IE) (pp. 199-202). IEEE.

Lekić, M., & Gardašević, G. (2018, March). IoT sensor integration to Node-RED platform. 2018 17th International Symposium Infoteh-Jahorina (Infoteh) (pp. 1-5). IEEE.

Copyright © 2022 Gonzalez-Munoz, M. A., Cabrera-Sarmiento



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Atribución-No Comercial 4.0 Internacional