



Clab: Innovación en procesos de fabricación circular y abierta para entornos educativos

N.º Expediente: AEI-010500-2022b-177

PT2-E5: Kit de sensores

Índice

Introducción.....	3
Smart Citizen Kit.....	4
Data board.....	5
Urban Board + PM.....	7
Extendiendo el kit.....	10
Firmware.....	13
Energía.....	16
Modos de funcionamiento.....	18
Interacción con el usuario.....	20
Carcasas.....	23

Introducción

En este documento se describe la solución de sensores propuesta para el proyecto CLAB. Esta propuesta se basa en el proyecto Smart Citizen, y propone una serie de configuraciones particulares del sistema con el objetivo de proporcionar herramientas sencillas para el profesorado, que permitan: (1) una introducción a la medición ambiental sencilla y accesible, (2) relacionar conceptos ambientales con otras disciplinas como las matemáticas, la física, la química, u otras, (3) proporcionar un entorno abierto y libre en cuanto a *hardware* y *software*, y (4) proporcionar herramientas modulares y adaptables. El sistema propuesto se describe a continuación. Las configuraciones particulares constan de dos formatos básicos: un kit de sensores básico (aunque modulus) con medidas ambientales y de contaminación del aire, y un módulo adicional con geolocalización.

Smart Citizen es un sistema diseñado con la intención de proporcionar herramientas fáciles de usar para monitoreo ambiental cuyas aplicaciones van desde la ciencia ciudadana y las actividades educativas hasta la investigación científica más avanzada. El sistema está compuesto de un conjunto de dispositivos modulares de *hardware* que permiten diferentes configuraciones dependiendo de las necesidades de cada proyecto y del campo ambiental elegido como pueden ser calidad de aire, agua y suelo.

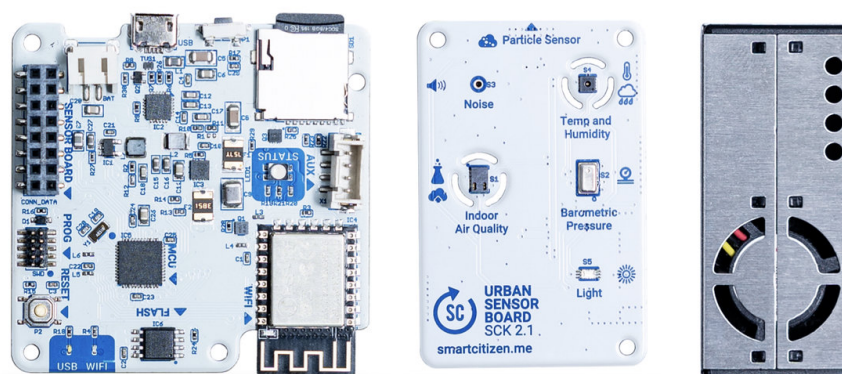


Figura 1. Componentes del Smart Citizen Kit

En este documento se mencionan principalmente las diversas herramientas de hardware que ofrece *Smart Citizen*. Sin embargo, es importante destacar que este proyecto también dedica mucho esfuerzo al desarrollo de elementos indispensables en el proceso de monitoreo ambiental. Esto incluye una plataforma para gestionar, difundir y procesar los datos generados, así como una amplia documentación que aborda diversos enfoques para su utilización en actividades como la ciencia ciudadana, la investigación y la educación, entre otras (Figura 2).

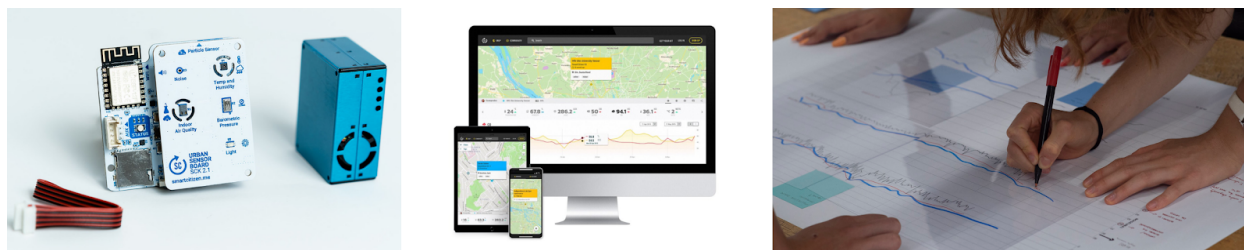


Figura 2. Componentes del proyecto Smart Citizen. Hardware, plataforma y comunidad

Smart Citizen Kit

El *Kit Smart Citizen* (Figura 1 y 3) es el núcleo de lo que llamamos el *Sistema Smart Citizen*: un conjunto completo de componentes de hardware modulares que tienen como objetivo proporcionar herramientas para el monitoreo ambiental, desde actividades de ciencia ciudadana y educativas hasta investigaciones científicas más avanzadas.

El sistema está diseñado de manera extensible, con un componente central llamado *Data Board* que, se encarga de administrar la energía, proporciona la infraestructura para el manejo y almacenamiento de datos, y también, ofrece conectividad de red. Conectada a esta placa principal está la *Urban Board*, la cual contiene un set de sensores que ofrecen un conjunto inicial de métricas para entender de forma general el entorno ambiental.

Además, tiene como propósito ofrecer una solución base para entornos más complejos, no solo relacionados con el monitoreo de la calidad del aire. Con ese fin, además de la *Urban Board*, también ofrece la posibilidad de usar una amplia variedad de sensores externos, conectados a través del bus de expansión. Un ejemplo de esto, es lo que llamamos la *Smart Citizen Station*, una solución completa para el monitoreo de la contaminación del aire de bajo costo.



Figura 3. Smart Citizen Kit en exterior

Diseñado pensando siempre en su reproducibilidad y con la intención de potenciar la apropiación tecnológica por parte de los usuarios, todos los componentes del sistema *Smart Citizen* siguen lineamientos de libertad y apertura tanto en *software* como en *hardware*.

Data board

La *Data Board* (Figura 4) está en el centro de la arquitectura de captura de datos y provee de infraestructura tanto al kit *Smart Citizen* como a la *Smart Citizen station*. Este módulo posee un procesador de arquitectura ARM M0+ de 32 bits y 48 MHz llamado SAMD21, que ejecuta el firmware *Smart Citizen*. Combina el bajo consumo de energía de la familia ARM M0 con la potencia de un procesador de 32 bits, cuenta con 32 KB de RAM y 256 KB de memoria FLASH. Esta solución ofrece suficiente almacenamiento para código y espacio de memoria para permitir el funcionamiento de múltiples sensores auxiliares. Este chip se utiliza en las placas Arduino Zero y MKR, por lo tanto, se beneficia de la comunidad abierta que se ha formado en torno a estas placas en particular y al proyecto Arduino en general.

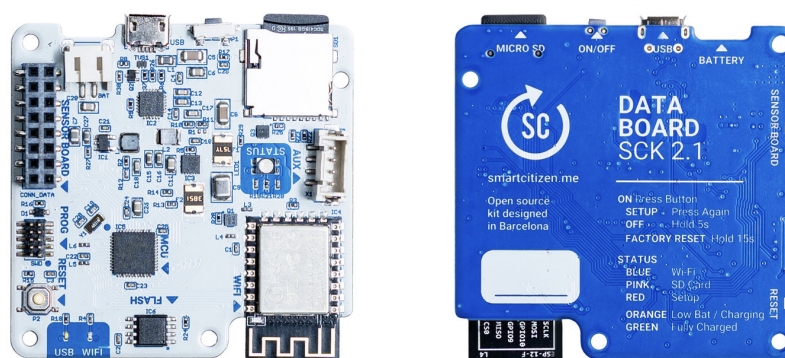


Figura 4. Data Board

Esta placa también incluye un módulo que provee conectividad Wi-Fi, una ranura para tarjetas micro SD, una memoria Flash interna y una solución de gestión de batería. La memoria Flash externa provee 4 MB de memoria adicional para el almacenamiento de datos, lo que permite conservar alrededor de dos meses de lecturas de los sensores estándar, para su posterior publicación, en caso de fallas en la conexión de red, o en la tarjeta de almacenamiento externa. El módulo Wi-Fi es el conocido *Espressif ESP8266 IEEE 802.11 b/g/n Wi-Fi* con 4 MB de memoria Flash interna para almacenamiento de código de programas y contenido web.

La placa de sensores, *Urban Board*, se conecta al *socket* de 16 pines a través del cual la *Data Board* (Figura 5) le proporciona energía y comunicación analógica y digital (ADC de 12 bits, GPIO, I2C, I2S, VCC). A través de este mismo conector se pueden integrar nuevos diseños de placas de sensores que permitan la obtención de datos para diferentes aplicaciones.

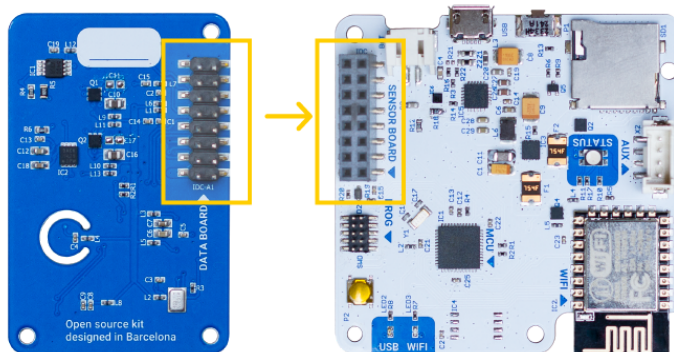


Figura 5. Conexión de Urban y Data Boards

La *Data Board* incluye también un conector del estándar *Grove* de *Seed Studio*, donde se pueden conectar módulos externos con todo tipo de sensores. De forma predeterminada, en este conector se expone un bus I2C independiente, pero mediante software se puede configurar para permitir otros usos como podrían ser GPIO o UART. El mismo conector puede suministrar energía de hasta 750 mA, este suministro se puede habilitar o deshabilitar por *software*, para la configuración de modos de bajo consumo.

Incluye una unidad de alimentación con un sistema de gestión de batería capaz de manejar diferentes tipos de celdas de polímero de litio. Las baterías se conectan a un conector de batería estándar de 2 pines JST. El *Kit Smart Citizen* utiliza por defecto una batería de 2000 mAh, sin embargo, es posible utilizar capacidades mayores. En condiciones normales, y dependiendo de qué sensores estén activados, una batería de 2000 mAh puede durar entre 24 horas (con todos los sensores activados y una frecuencia de grabación de 1 minuto) hasta más de una semana. La placa también cuenta con un modo de apagado *suave* o suspensión, que permite reducir considerablemente el consumo promedio.

La electrónica que gestiona la energía permite cargar la batería de manera sencilla utilizando el conector micro USB de la placa. Cualquier adaptador de corriente USB estándar como los que se usan en los teléfonos inteligentes provee el voltaje y corriente necesarios. En áreas remotas, también se puede alimentar utilizando una selección de paneles solares fotovoltaicos con convertor a USB, como el panel de 6 W de *Voltaics Systems*.

Urban Board + PM

La *Urban Board* es una solución que incluye una selección de sensores de bajo costo para el monitoreo ambiental. Su objetivo principal es servir como una herramienta para la ciencia ciudadana y actividades educativas y de concienciación. Por esta razón, se incluyen métricas como temperatura, presión y humedad, además de niveles de ruido, luz ambiental, indicadores de calidad del aire y sensores de PM (material particulado) (Figura 6).

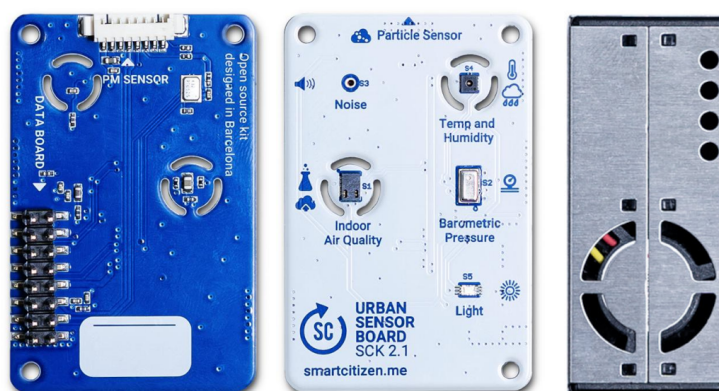


Figura 6. Urban Board + PM Sensor

Métrica	Unidad	Sensor
Temperatura del aire	° C	Sensirion SHT-31
Humedad relativa	% REL	Sensirion SHT-31
Nivel de ruido	dBA, dBC, dBZ	Invensense ICS-43432
Luz ambiental	Lux	Rohm BH1721FVC
Presión barométrica y ASNM	Pa y metros	NXP MPL3115A2
eCO2 and TVOC	ppm/ppb	AMS CCS811
Partículas en Suspensión PM 1/2.5/10	µg/m3	PMS 5003

Temperatura del aire y humedad relativa

Estas dos métricas las proporciona un sensor de la marca Sensirion modelo SHT31, para la selección de este sensor se han tomado en cuenta las siguientes características:

- Señales de sensor calibradas y linealizadas en formato digital I2C, los datos se proporcionan en grados Celsius y en porcentaje de humedad relativa.
- Amplio rango de medición con alta resolución. El rango de humedad relativa es de 0 a 100% RH con una resolución de 0.03% y una repetibilidad de 0.1%, y en el caso de la temperatura es de -40 a +125°C con una resolución de 0.01 °C y una repetibilidad de 0.1%.
- No se requiere calibración y tiene buena estabilidad a largo plazo.

- Bajo consumo de energía.
- Comúnmente se encuentra en muchas estaciones meteorológicas comerciales como la Davis Vantage Pro.

Nivel de ruido

El sensor de ruido se basa en el micrófono MEMS omnidireccional INVENSENSE ICS-434322 de alta calidad, bajo consumo de energía y salida digital I2S. Este micrófono es similar a los que se encuentran en algunos smartphones de alta gama, proporciona la información directamente en formato digital al Microcontrolador. Se ha desarrollado una librería propia para calcular datos de ruido en escalas de dB A, C y Z.

También es posible acceder a los datos originales del FFT, lo cual permite el análisis de frecuencias específicas. El sensor ha sido calibrado específicamente para el proyecto en una cámara anecoica utilizando procedimientos estándar de calibración de micrófonos.

Luz ambiental

Para obtener mediciones de Luz Ambiental se utiliza el sensor *ROHM BH1721FVC4*, el cual utiliza un LDR10 combinado con un ADC, además contiene el circuito integrado que permite el envío de los datos obtenidos mediante el protocolo I2C.

- Se han considerado las siguientes características para la elección del sensor:
- No requiere un ADC externo ni circuitos de linealización, utiliza el conocido protocolo I2C, que nos permite detectar cuando el sensor está presente.
- Mide datos de luz ambiental en un amplio rango desde 1 lx hasta 65528 lx, con una repetibilidad del 15% y una resolución de 8 lx.
- Posibilidad de ajustar mediante un comando I2C el tipo de luz que debe medir (visible o infrarroja).
- Bajo consumo de energía.
- Rechazo de luz de frecuencia de red eléctrica de 50 Hz/60 Hz. Filtra las interferencias de la mayoría de las fuentes de luz artificial.

Presión barométrica y altitud

El sensor de Presión Barométrica y altitud se basa en el sensor *NXP MPL3115A25*, que es un sensor de presión absoluta compacto y piezo-resistivo con una interfaz digital I2C.

Las siguientes características se han considerado para la elección del sensor:

- Amplio rango de operación de 20 kPa a 110 kPa.
- La medición es compensada por temperatura utilizando un sensor interno.
- No se necesita de un ADC externo ni circuitos de linealización. Los datos de presión y temperatura se introducen en un ADC interno de alta resolución para proporcionar salidas compensadas y digitalizadas de presión en Pascales, temperatura en °C y altitud en metros.
- La presión barométrica también es procesada por el MCU como altura sobre el nivel del mar (ASNM), lo que ayuda a determinar la ubicación del dispositivo.
- Bajo consumo de energía.

eCO₂ y TVOC

El *kit Smart Citizen* incluye el sensor *AMS CCS811* como indicador de calidad de aire interior, el cual es un sensor de semiconductores de óxido metálico con conectividad I2C capaz de medir compuestos orgánicos volátiles (VOC, por sus siglas en inglés). Este sensor fue elegido sobre todo por su bajo consumo de energía y la facilidad de procesamiento de las lecturas que proporciona.

El eCO y el tVOC son dos medidas relacionadas. La primera, eCO₂, representa el dióxido de carbono equivalente, y sirve como una indicación de la concentración de CO₂ que tendría el mismo impacto en el calentamiento que su equivalente en gases de efecto invernadero. La medición de eCO₂ se deriva de las reacciones de todas estas sustancias en el aire con el sustrato de óxido metálico presente en el sensor. El valor base de eCO₂ comienza en 400 ppm (el nivel de CO₂ presente normalmente en la atmósfera) y puede alcanzar varios miles.

Por otro lado, tVOC significa compuestos orgánicos volátiles totales equivalentes y es una medida de la cantidad total de gases emitidos provenientes de toxinas y productos químicos. Estos gases provienen de una amplia gama de artículos cotidianos, incluyendo pinturas y barnices, ceras y cosméticos, productos de limpieza, e incluso de cocinar. En espacios cerrados como casas y oficinas, estos gases pueden acumularse y llegar a ser un contaminante importante.

Como cualquier sensor, el *CCS811* tiene limitaciones. La capa sensible del sensor disminuirá su resistencia en presencia de VOCs, sin embargo, otros contaminantes pueden tener el efecto contrario en él. Por ejemplo, el ozono (O₃) aumentará la resistencia del sensor y podría interpretarse como aire limpio por parte del sensor. Esto podría explicar por qué en algunos entornos al aire libre (generalmente con tráfico y altos niveles de radiación solar), el sensor puede mostrar un comportamiento inestable. Además, se sabe que la humedad afecta la resistencia del sensor. Se realiza una compensación interna que puede limitar este efecto hasta cierto punto, pero una corrección perfecta no es posible.

Sensor de partículas

La *Urban board* posee un conector que permite la interfaz con un sensor Plantower PMS 5003. Este dispositivo es un contador óptico de partículas que utiliza el principio de dispersión láser para calcular el número de partículas suspendidas en el aire. El sensor puede ser habilitado o deshabilitado mediante software, lo cual permite ahorrar energía en los periodos entre lecturas.

Se han considerado las siguientes características para la elección del sensor:

- Proporciona mediciones de PM1, PM 2.5 y PM10 en ug/m³.
- Diámetro mínimo de partícula distinguible de 0.3 um.
- No se necesita un convertidor analógico a digital (ADC) externo ni circuitos de linealización. Toda la comunicación se realiza mediante el protocolo UART¹.
- Muy bajo costo en comparación con otras soluciones comerciales de rendimiento similar.

¹ UART es un protocolo de comunicación digital:

https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_asynchronous_receiver-transmitter

Extendiendo el kit

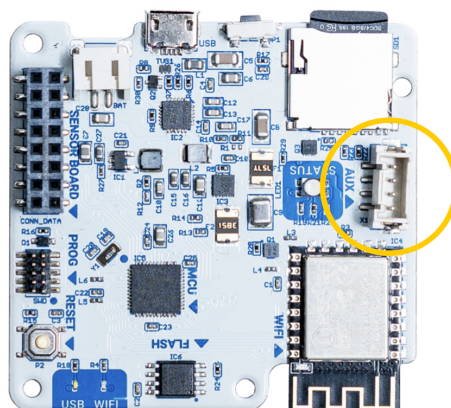


Figura 7. Ubicación del Conector Grove

La *Data Board* cuenta con un conector estándar Grove² (Figura 7) que permite utilizar diversos módulos de sensores disponibles comercialmente. El conector provee un bus I2C³ independiente separado del bus que se utiliza para leer los sensores de la *Urban board*, de esta forma el manejo y la autodetección de sensores externos tiene menos impacto en la estabilidad del sistema. Este conector puede suministrar energía con una corriente de hasta 750 mA, este suministro puede deshabilitarse mediante software para ahorrar energía.

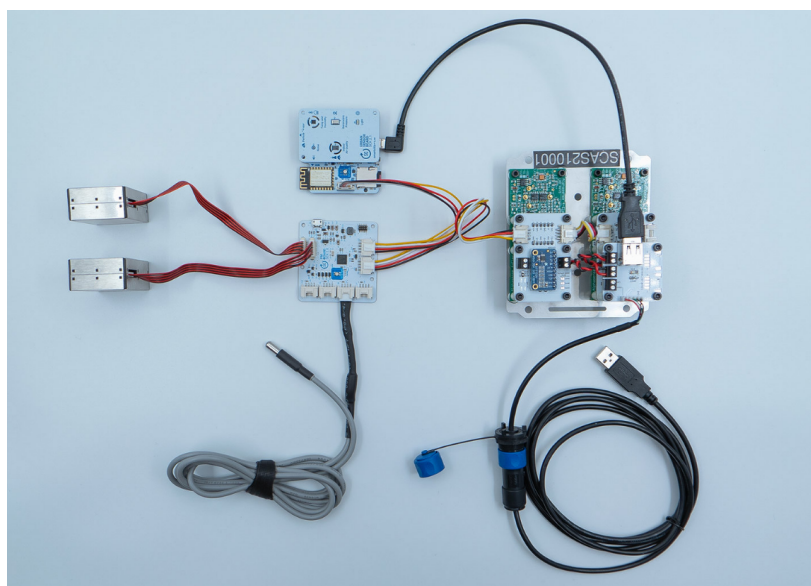


Figura 8. Componentes de Smart Citizen Station

El *Kit Smart Citizen* está diseñado con un enfoque modular, esto significa que la *Urban board* contiene solo una selección de sensores de bajo costo para medición ambiental en general,

² Grove es un sistema del fabricante de hardware Seeed Studio: https://wiki.seeedstudio.com/Grove_System/

³ I2C es un sistema de comunicación digital: <https://en.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>

pero el hardware en sí se puede expandir para otros casos de uso. Fácilmente, se pueden obtener configuraciones más avanzadas para monitoreo de calidad del aire, monitoreo del suelo o calidad del agua, entre otros.

En el proceso de arranque, el *Smart Citizen Kit*, hace una revisión de los sensores conectados en el bus auxiliar, y en caso de que el dispositivo detectado esté soportado por el firmware, se habilita automáticamente para su lectura y su publicación.

Esta es una lista de los sensores soportados actualmente, los sensores están agrupados de acuerdo a su uso general y el tipo de métricas que proporcionan:

Sensores de uso general

- **Convertidor analógico digital**, Seeed Grove ADC. Soporta conversión analógica digital de 12 bits.
- **Sensor de corriente directa**, Adafruit INA219. Soporta voltaje de bus, voltaje de *shunt*, *corriente* y voltaje de carga.
- **Sensor de distancia**, Sparkfun VL6180, Soporta distancia en milímetros y luz, se puede utilizar para obtener niveles de superficie en tanques de agua.
- **Convertidor analógico digital**, ADS1X15. Soporta conversión analógica de 16 bits, en 4 canales separados. Se pueden conectar hasta 4 dispositivos, para un total de 16 canales. Se puede utilizar a través de una placa de diseño propio de diferentes comerciales.
- **Pantalla OLED**, Seeed Grove OLED screen. Pantalla con una resolución de 128 x 128 píxeles que permite la visualización de las lecturas de los sensores además del estado general del kit.

Aire

- **Temperatura y humedad del aire**, Seeed Grove - Sensirion SHT31. Soporta temperatura y humedad relativa.
- **Sensor ambiental**, Adafruit STEMMA - Bosch BME680. Soporta temperatura, humedad relativa, presión barométrica y compuestos orgánicos volátiles (VOCs). Se conecta con un cable adaptador.
- **Sensor ambiental**, Sparkfun Qwiic - AMS CCS811. Soporta temperatura, humedad relativa, presión barométrica y compuestos orgánicos volátiles (VOCs). Se conecta con un cable adaptador.
- **Sensores electroquímicos**, Alpha Sense. Se conectan a través del ADC ADS1X15, las métricas soportadas son CO, NO₂, NO, SO₂, O₃, H₂S.
- **Temperatura**, Atlas Scientific. Puede ser usado con las sondas de temperatura modelos PT-100 o PT-1000.
- **CO₂, temperatura y humedad relativa**, Seeed Grove - Sensirion SCD30. Soporta CO₂, temperatura y humedad relativa.

Agua y suelo

- **PH**, Atlas Scientific. Igual que en la mayoría de los sensores de Atlas Scientific soportados, existe una interfaz para su calibrado.
- **Conductividad**, Atlas Scientific. Soporta métricas de conductividad, sólidos disueltos

totales, salinidad y gravedad específica.

- **Temperatura**, Atlas Scientific. Puede ser usado con las sondas de temperatura modelos PT-100 o PT-1000.
- **Oxígeno disuelto**, Atlas Scientific. Soporta oxígeno disuelto y saturación.
- **Potencial de reducción-oxidación**, Atlas Scientific.
- **Temperatura de agua**, Maxim DS18B20.
- **Humedad del suelo**, Chirp!. Sensor de código abierto que soporta porcentaje de humedad, la lectura sin procesado, temperatura y luz. Se puede calibrar a través de la interfaz de texto del SCK.

Geoposición

El *Smart Citizen Kit*, está originalmente diseñado para tomar lecturas de forma estática, esto es, siempre en el mismo punto. Sin embargo, la posibilidad de hacer muestreos en movimiento existe, para poder hacer esto, las lecturas se deben asociar a una posición, la cual es obtenida a través del uso de un GPS, estos son los modelos soportados:

- Sparkfun GPS NEO-M8U.
- SparkFun GPS XA1110.
- SparkFun GPS SAM-M8Q.
- Seeed Grove GPS Module, sólo se puede utilizar a través de una placa externa de interfaz de diseño propio llamada *PM Board*.

Estas son las métricas que provee el sensor genérico de GPS, todos los modelos específicos fueron implementados para cubrirlas:

Métrica	Unidad
Latitud	Grados
Longitud	Grados
Altitud	Metros
Calidad del enlace	Un dígito
Velocidad	Metros por segundo
Dilución horizontal de la precisión	
Número de satélites	Número

Intervalo dinámico

Cuando un dispositivo está en movimiento, los puntos de medición que toma no están sólo separados por un intervalo de tiempo, también los separa la distancia que se ha recorrido durante este intervalo.

Por esta razón, cuando se detecta que hay un GPS conectado, se monitorea la velocidad periódicamente y, si se detecta movimiento, el dispositivo entra en lo que llamamos modo dinámico, cambiando automáticamente el intervalo de medición a 5 segundos en vez de 60.

Al aumentar la frecuencia de muestreo se obtiene un mapa mucho más detallado de las métricas durante el recorrido.

Por otro lado, cuando un dispositivo está en movimiento, es muy probable que se aleje del punto de conexión Wi-Fi y deje de ser capaz de publicar los datos en tiempo real, sin embargo, los guardará en la memoria flash interna y en la SD card en caso de que esté presente. Cuando la red esté nuevamente en rango, el *kit* publicará todos los datos del recorrido lo más rápido posible.

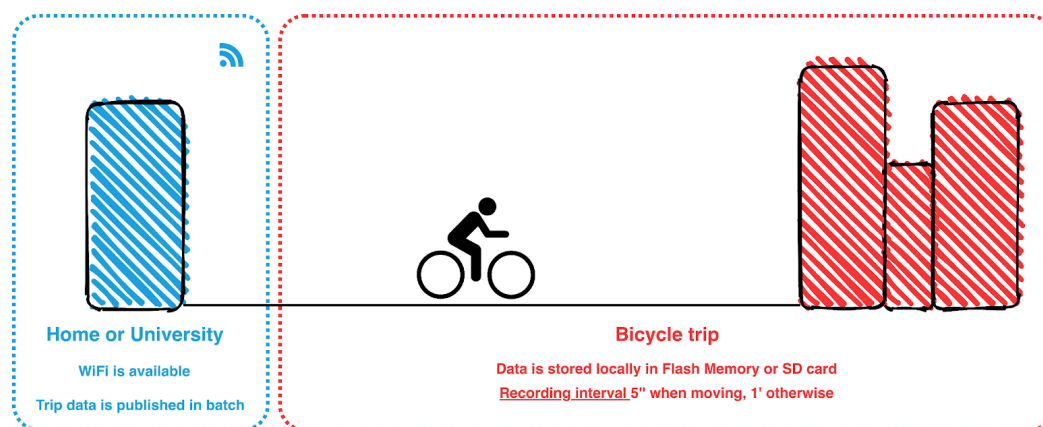


Figura 9. Esquema de publicación de datos con GPS conectado

Firmware

El software que controla las rutinas de funcionamiento del *Smart Citizen Kit*, igual que los demás componentes de este proyecto, es de fuente abierta. Está basado en la reutilización de componentes de software libre como el *Core de Arduino*, además de multiplicidad de librerías contribuidas por la comunidad de usuarios de Arduino.

El firmware está compuesto por dos partes principales, cada una de ellas corriendo en uno de sus microcontroladores:

Las tareas principales de procesamiento son realizadas por el firmware del microcontrolador *SAMD21*. Este se encarga del manejo de la energía y control de carga de la batería, el guardado de datos en la memoria interna y la SD card, así como de la interacción con el usuario a través del led y el botón. También realiza la detección de los sensores conectados y controla sus rutinas de lectura.

Las tareas relacionadas con la comunicación de red para la publicación de lecturas y la configuración inicial de usuario a través del llamado *Setup Mode* son ejecutadas en el *ESP8266*.

Además, se han implementado algunas librerías compartidas entre los dos microcontroladores, utilizadas principalmente para el manejo de la configuración y las definiciones de los sensores.

Ambas partes del firmware se compilan y gestionan con Platform IO, un entorno de desarrollo integrado de código abierto para microcontroladores. Platform IO cuenta con una

gestión de librerías y dependencias incorporada. Es muy configurable y permite su manejo a través de scripts, gracias a esto con un solo comando se puede compilar y cargar el código de ambos microcontroladores. Utilizando el conector SWD ARM, se puede cargar el llamado *bootloader* del microcontrolador y depurar el firmware utilizando herramientas de código abierto como *GDB*.

```

128 OneSensor { BOARD_BASE, SENSOR_BATTERY, "Battery", 1
129 OneSensor { BOARD_BASE, SENSOR_VOLTIN, "Input voltage",
130
131 // Urban Sensors
132 OneSensor { BOARD_URBAN, SENSOR_NOISE, "Noise", 29,
133 OneSensor { BOARD_URBAN, SENSOR_HUMIDITY, "Humidity", 1
134 OneSensor { BOARD_URBAN, SENSOR_TEMPERATURE, "Temperature",
135 OneSensor { BOARD_URBAN, SENSOR_LIGHT, "Light", 14,
136 OneSensor { BOARD_URBAN, SENSOR_CO, "Carbon monoxide",
137 OneSensor { BOARD_URBAN, SENSOR_CO_HEAT_TIME, "Carbon monoxide heat tim
138 OneSensor { BOARD_URBAN, SENSOR_CO_HEAT_CURRENT, "Carbon monoxide heat c
139 OneSensor { BOARD_URBAN, SENSOR_CO_HEAT_SUPPLY_VOLTAGE, "Carbon monoxide he
140 OneSensor { BOARD_URBAN, SENSOR_CO_HEAT_DROP_VOLTAGE, "Carbon monoxide heat
141 OneSensor { BOARD_URBAN, SENSOR_CO_LOAD_RESISTANCE, "Carbon monoxide load
142 OneSensor { BOARD_URBAN, SENSOR_NO2, "Nitrogen dioxide",
143 OneSensor { BOARD_URBAN, SENSOR_NO2_HEAT_TIME, "Nitrogen dioxide heat
144 OneSensor { BOARD_URBAN, SENSOR_NO2_HEAT_CURRENT, "Nitrogen dioxide heat
145 OneSensor { BOARD_URBAN, SENSOR_NO2_HEAT_SUPPLY_VOLTAGE, "Nitrogen dioxide h
146 OneSensor { BOARD_URBAN, SENSOR_NO2_HEAT_DROP_VOLTAGE, "Nitrogen dioxide h
147 OneSensor { BOARD_URBAN, SENSOR_NO2_LOAD_RESISTANCE, "Nitrogen dioxide loa
148
149 // I2C Auxiliary Sensors
150 // Alphasense Delta board (3 Gas sensor Slots, + SHT31 Temp-Humidity)
151 OneSensor { BOARD_AUX, SENSOR_ALPHADELTA_AE1, "AlphaDelta AE1",
152 OneSensor { BOARD_AUX, SENSOR_ALPHADELTA_AE1, "AlphaDelta AE1",
153 OneSensor { BOARD_AUX, SENSOR_ALPHADELTA_AE2, "AlphaDelta AE2",
154 OneSensor { BOARD_AUX, SENSOR_ALPHADELTA_AE2, "AlphaDelta AE2",
155 OneSensor { BOARD_AUX, SENSOR_ALPHADELTA_AE3, "AlphaDelta AE3",
156 OneSensor { BOARD_AUX, SENSOR_ALPHADELTA_AE3, "AlphaDelta AE3",
157

```

Figura 9. Imagen del editor de código

Para la realización de actualizaciones de firmware por parte del usuario, en el caso del microcontrolador SAMD21, se ha implementado la posibilidad de que, después de un doble-clic, el dispositivo aparezca en el ordenador como un dispositivo de almacenamiento masivo (ej. un pendrive) y el usuario pueda simplemente copiar el archivo de la nueva versión de firmware como se haría con cualquier otro archivo. En el caso del ESP8266, el nuevo archivo de firmware se puede copiar vía Wi-Fi a través de una simple interfaz web.

Captura de datos

La captura de datos se realiza en intervalos regulares, por defecto de 60 segundos, cada sensor puede ser configurado por separado para ser leído en todos los intervalos o sólo en alguno de ellos. Se puede configurar por ejemplo que la temperatura sea guardada cada minuto y la presión barométrica sólo cada 5 minutos.

Después de capturar todos los sensores configurados para ser leídos en un intervalo, se guardan esas lecturas, junto con la hora y fecha en la que fueron tomadas, en la memoria interna flash. Esto garantiza que aunque en algún momento no haya ningún otro medio de publicación (red Wi-Fi o SD card) disponible los datos no se pierdan.

Si se le provee una SD card, el *kit*, automáticamente guardará los datos en ella justo después de guardarlos en la memoria flash y tomará nota de que ya fueron escritos para no volver a escribirlos posteriormente.

Dependiendo de qué intervalo de publicación se haya configurado (por defecto es de 3

minutos) si la red Wi-Fi configurada está disponible, los datos se publicarán también en la plataforma de *Smart Citizen*. Para ello se utiliza el protocolo *MQTT* de forma que se pueda verificar la correcta recepción de cada mensaje, una vez que el envío es exitoso se procede a marcar las lecturas correspondientes en la memoria interna como *publicadas*.

Cada vez que se establece una conexión de red exitosa se verifica la hora y la fecha con un servidor a través del protocolo *NTP*.

Configuración

Muchos aspectos del firmware son configurables sin necesidad de modificar y compilar el código fuente. Haciendo uso de la memoria flash, el *Smart Citizen* guarda los elementos configurados permanentemente o hasta que el firmware sea actualizado, presionando el botón de usuario durante 15 segundos se puede regresar a la configuración por defecto en cualquier momento.

Entre las opciones de configuración se incluye la posibilidad de habilitar o deshabilitar sensores físicos o alguna de sus métricas, cambiar los intervalos de muestreo o publicación, modificar el servidor hacia el cual se envían los datos, calibrar sensores, y más.

Interfaz de comandos

El firmware proporciona una interfaz de línea de comandos a través de USB para gestionar todas las funcionalidades del kit, dirigida a usuarios avanzados. Se puede utilizar cualquier consola serie, como *screen*, el monitor de dispositivos de *PlatformIO*⁴ o el monitor serie en el entorno de desarrollo de Arduino. Una vez conectados a esta interfaz, el comando *help* ofrece una descripción de todas los comandos disponibles.

Esta interfaz de comandos permite la configuración de una gran cantidad de parámetros que definen el comportamiento del dispositivo. Permite obtener información del *hardware*, monitorear los sensores en tiempo real para su visualización gráfica, además de ser una herramienta muy útil para el diagnóstico y corrección de errores.

⁴ PlatformIO es una herramienta multiplataforma para desarrollo de código en microcontroladores:

<https://platformio.org/>

Energía

El *Smart Citizen Kit* está diseñado para minimizar el consumo de energía y permitir campañas de medición temporales basadas en batería, sin embargo cuando la intención es el monitoreo permanente, se pueden utilizar diferentes maneras de alimentar el sistema como pueden ser fuentes de energía externas, baterías externas USB o paneles solares.

Batería

El SCK utiliza por defecto una batería LiPo de 2000mAh, sin embargo se pueden utilizar baterías del mismo tipo y mayor capacidad. Como se mencionó anteriormente, la batería está pensada para campañas de medición de una duración concreta, y dependiendo de los sensores habilitados y la frecuencia del muestreo se puede calcular la capacidad requerida. Para este efecto en la documentación del proyecto se puede utilizar una calculadora con interfaz web que permite realizar estos cálculos (Figura 10).

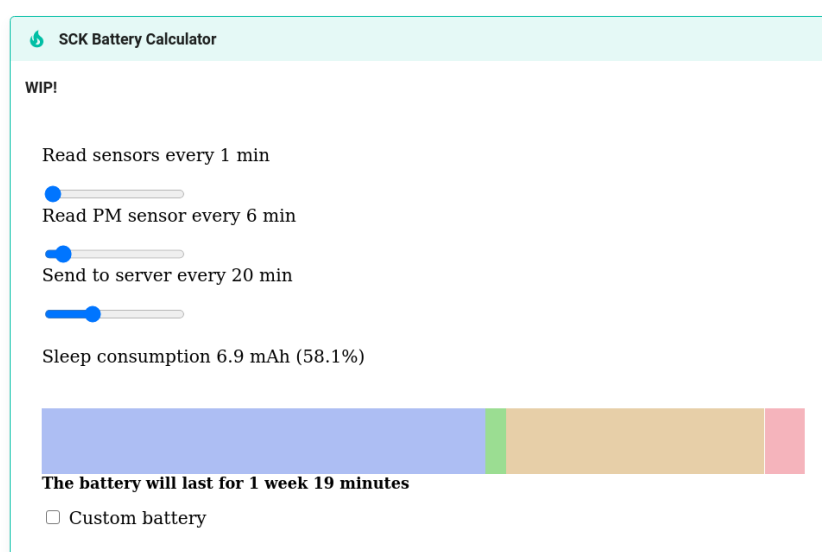


Figura 10 Calculadora de batería

Durante la operación normal, después de un periodo de tiempo sin interacción directa del usuario, el *kit*, entre cada medición, entra en un modo de bajo consumo donde todas las partes del sistema que no son indispensables se apagan, incluso el led solo hace un pequeño destello como señal de que el funcionamiento es correcto. Este comportamiento reduce drásticamente el promedio de consumo de energía.

La carga de la batería se realiza a través del conector micro USB, se puede utilizar cualquier cargador USB común de 5v, el límite de corriente durante el proceso de carga es de 768 mAh, esto quiere decir que la batería de 2000 mAh se lleva poco menos de 3 horas para cargar a su capacidad completa.

Para campañas de medición más largas, en las que no se tenga acceso a una fuente de energía permanente, se pueden utilizar baterías comerciales con salida USB, el rango de capacidades es muy amplio y se pueden encontrar fácilmente baterías con capacidades de,

por ejemplo, 30000 mAh, con lo cual se podría conseguir una duración 15 veces mayor.

Para instalaciones permanentes en exterior, se recomienda utilizar una fuente de energía diseñada expresamente (*Figura 11*). Con esto en mente, como parte del proyecto, se ha diseñado la *Fuente de energía SCK*, la cual está pensada para dar alimentación permanente de 5v DC a partir de un suministro de 110-220 AC, cuenta con un fusible de protección de 1.6 A y tiene las dimensiones adecuadas para fijarse dentro de una caja IP65 modelo Bopla Ref. 38102200, el cableado pasa a través de dos prensaestopas que garantizan la resistencia al exterior.

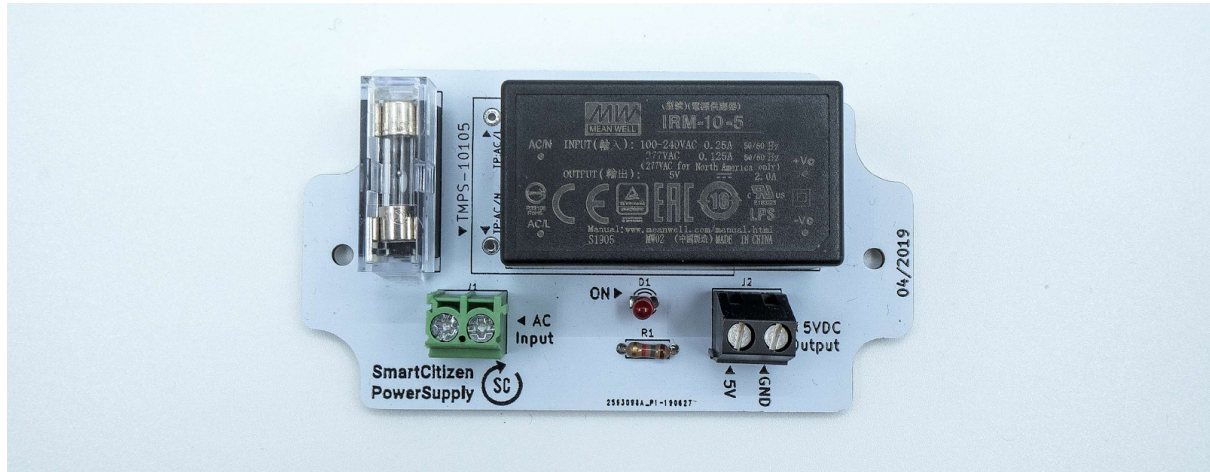


Figura 11. Fuente de alimentación

Otra opción es el uso de paneles solares, se pueden utilizar paneles con salida regulada de 5v y conector USB, o algún controlador de carga con batería externa, esta configuración ha sido probada con el *MPTT Sunflower Solar power manager* de *DFRobot* con buenos resultados.

Modos de funcionamiento

El *Smart Citizen Kit* tiene dos modos principales de funcionamiento, el modo de publicación en red y el modo de publicación en SD card. Durante el proceso de configuración inicial o *onboarding* se puede elegir cuál de estos modos se desea usar y una vez terminado, se indica el modo de funcionamiento con el color del led, azul para modo red y rosa para modo SD.

Modo de configuración

El modo de configuración es el modo por defecto cuando un dispositivo aún no ha sido configurado, en este modo no se capturan datos, el led se mostrará en color rojo y se podrá acceder a configurar el dispositivo a través de un *Access Point* Wi-Fi que el mismo dispositivo ofrecerá. El nombre de la red iniciada será *SmartcitizenXXX*, donde las cuatro X serán sustituidas por los últimos cuatro dígitos hexadecimales de la dirección de hardware (MAC address) del kit.

Para realizar el proceso de configuración, hay que acceder a la página web del proyecto para este efecto: <http://onboarding.smartcitizen.me> (Figura 12) y seguir las instrucciones que allí se indican. El proceso es bastante sencillo e involucra la creación de una clave única o token que debe ser proporcionada al dispositivo a través de una conexión Wi-Fi con el mencionado *Access Point* y, en caso de querer publicar los datos en la plataforma, la creación de una cuenta de usuario para ello.

Inmediatamente después de terminar el proceso inicial de configuración, el dispositivo empezará a capturar datos y en su caso a enviarlos a la plataforma.

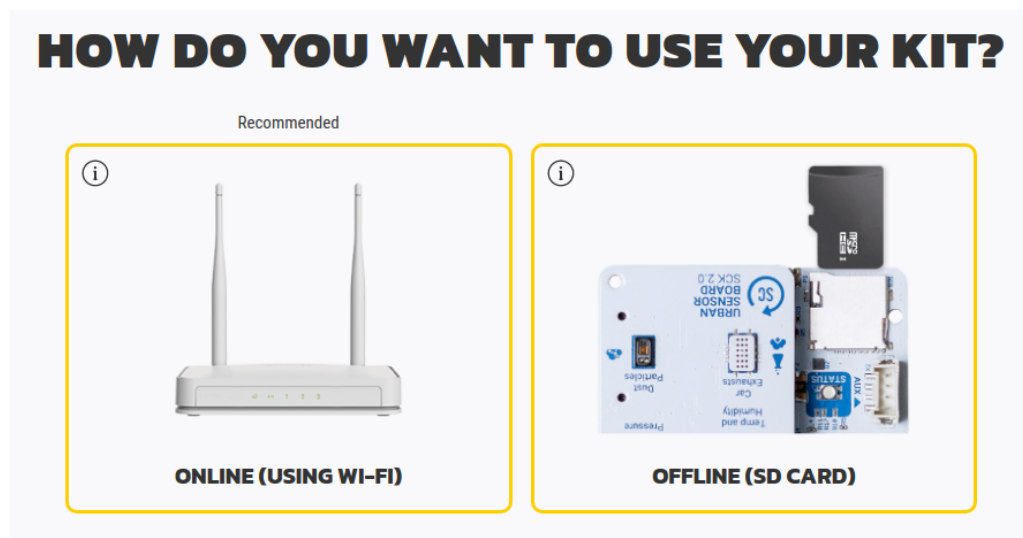


Figura 12. Onboarding

Modo de red

El modo de publicación en red requiere una red Wi-Fi disponible para el envío de los datos a un servidor remoto. En este modo, se realiza la rutina de captura de datos en los intervalos configurados, guardándolos en la memoria flash integrada, y si está disponible también en la

SD card.

Una vez que el intervalo de publicación se cumple, se enciende el microcontrolador encargado de la conexión Wi-Fi y al establecerse una conexión exitosa con el servidor, se envían las lecturas para su almacenamiento en la base de datos remota. En este modo, la visualización de datos a través de la plataforma web se puede hacer en tiempo real y a través de la cuenta de usuario se pueden también obtener los datos en una tabla en formato separado por comas (CSV).

Modo tarjeta SD

En el modo SD card, no se requiere de conexión Wi-Fi, el proceso se realiza de la misma forma que en el modo anterior pero omitiendo la parte de la publicación por red. Los datos son accesibles a través de la tarjeta SD en formato separado por comas (CSV).

Este modo es muy conveniente en caso de no tener una red disponible o cuando se quiere mantener la privacidad de los datos capturados. Si se quiere exponer los datos en la plataforma web, a través de la cuenta de usuario se pueden subir manualmente los archivos existentes en la tarjeta SD, el sistema los integrará en la base de datos y, a partir de ese momento, serán también accesibles a través del portal web.

Interacción con el usuario

La mayor parte de la interacción que se tiene con el dispositivo sucede durante el proceso de configuración, una vez que todo está funcionando, en realidad la interacción se reduce a conocer los niveles de carga en caso de no estar permanentemente alimentado o a detectar algún tipo de mal funcionamiento.

Leds

La manera en que el dispositivo indica su estado, los eventos y posibles errores es a través de luz de colores que se expresa en tres diferentes leds. El led principal, el de comunicaciones USB y el led Wi-Fi (Figura 13).

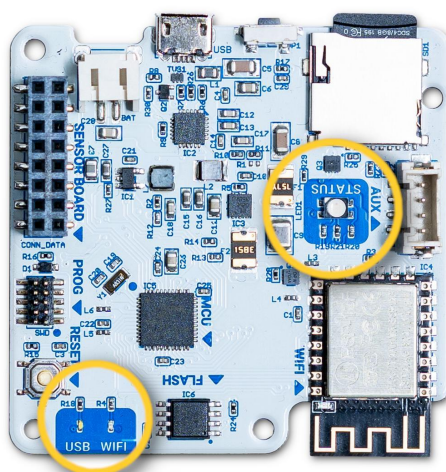


Figura 13. Leds

El led USB solamente tiene la tarea de parpadear cuando fluyen datos a través del cable USB, su función es sobre todo para depuración de errores durante el proceso de desarrollo.

El led Wi-Fi solo se enciende cuando se intenta establecer una conexión de red, el parpadeo lento indica que se está buscando la red e intentando conexión, en caso de que la conexión sea exitosa el led se queda permanentemente encendido hasta que terminan las comunicaciones pendientes. En modo de configuración el led está permanentemente en estado de parpadeo rápido.

El led principal cambia de color y tipo de parpadeo dependiendo del estado, como regla general cuando las cosas van bien y no hay errores el parpadeo se realiza de manera suave con una animación donde el led va cambiando su intensidad gradualmente.

A través del color el led principal indica el modo de funcionamiento en el que se encuentra el dispositivo:

Modo de funcionamiento	Color
Modo de configuración	Rojo
Modo de publicación en red	Azul
Modo de publicación en tarjeta SD	Rosa

Además del **modo de funcionamiento normal** en el que el led varía la intensidad gradualmente, existe el modo de advertencia indicado con un parpadeo suave del led, en este parpadeo el led pasa de brillo completo a intermedio, pero de manera más brusca que el cambio gradual descrito previamente.

El **modo de advertencia** indica que no hay problema al capturar los datos y guardarlos en la memoria interna, pero la publicación, ya sea a la red o a la tarjeta SD, no está siendo exitosa, es posible que se requiera intervención del usuario para arreglar el problema, pero no urgentemente.

Por último está el **modo de error**, donde el led parpadea pasando de intensidad nula a completa de manera brusca, en este caso la intervención del usuario es indispensable para arreglar el problema y no se guardarán datos hasta que este sea arreglado. Este error puede provenir de un fallo en la tarjeta SD o una contraseña equivocada, entre otras cosas.

El led indica también algunos estados específicos que no se presentan normalmente:

1. **El led verde** indica que el dispositivo acaba de ser encendido y va a empezar el proceso de arranque, en este momento el firmware no ha empezado a ser ejecutado. Si el dispositivo no es capaz de salir de esta etapa, lo más probable es que exista algún problema de corrupción del código interno.
2. **Blanco indica que el proceso de arranque está sucediendo**, se realizan la detección de sensores, arranque de la tarjeta SD, verificación de la memoria interna, entre otras cosas. Este proceso puede llevar bastante tiempo dependiendo de la complejidad de la configuración de sensores. Una vez terminado el arranque, el dispositivo entrará en el modo que tenga previamente configurado, ya sea de red (azul) o tarjeta SD (rosa), o en caso de que no esté configurado en modo de configuración (rojo).

Por otro lado, al entrar en **modo de ahorro de energía**, el led se apaga completamente y solamente hará un breve destello a intervalos regulares. Cuando sea momento de tomar nuevas lecturas y el dispositivo salga del modo de bajo consumo, el led volverá a su funcionamiento normal.

Cuando exista batería y una fuente de energía conectada, se mostrará un destello de color extra encima de los comportamientos ya descritos para indicar el estado de carga. **Verde indica que la batería está completamente cargada y naranja, que el proceso de carga todavía no ha concluido.** Además, cuando la batería esté críticamente descargada, y no haya una fuente de energía conectada, el *kit* dejará de funcionar, y el led solo mostrará un pequeño destello naranja, indicando que requiere ser cargado para poder continuar capturando datos.

Botones

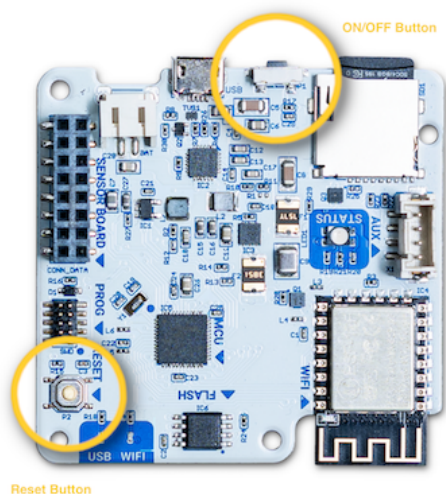


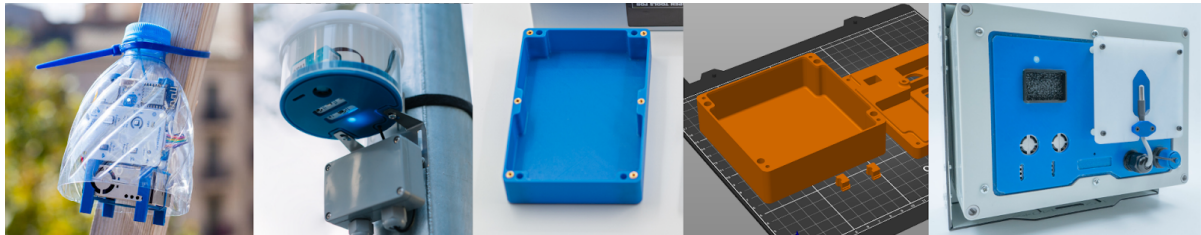
Figura 14. Botones

Para permitir la interacción con el dispositivo existen dos botones, el botón de reinicio, que corta la energía al dispositivo para forzar el proceso de reinicio, y el botón de usuario, que permite cambiar el modo de funcionamiento, entrar en modo de suspensión o regresar la configuración a los valores por defecto.

Función	Acción
Encendido	Presionar el botón durante modo de suspensión
Cambio de modo de funcionamiento	Presionar el botón para cambiar entre: configuración (rojo), red (azul) y tarjeta SD (rosa)
Modo de suspensión	Presionar durante 5 segundos
Recuperar valores de fábrica	Presionar hasta que el kit se reinicie (15 segundos)

Carcasas

Con la intención de involucrar al usuario, no solo en usar el dispositivo, sino también para entenderlo, inventar nuevos usos, e incluso modificarlo para adaptarlo a sus propias necesidades, se han diseñado múltiples carcasas, partiendo del reúso de elementos que podrían ser basura y pasando por procesos más complejos como la impresión 3D o el uso de maquinaria de prototipado rápido, como la que se puede encontrar en un *Fab Lab*.



Estos diseños, como el resto de lo producido en este proyecto, se han compartido bajo licencias libres y abiertas que permiten su uso, modificación e incluso comercialización por cualquiera. Para facilitar el acceso a estos diseños se ha creado un repositorio donde cualquiera puede obtener los diseños existentes o compartir los suyos propios.

El proceso de empezar creando las propias envolventes para un dispositivo de este tipo ha demostrado ser especialmente importante en la motivación de los usuarios, especialmente en el campo de la educación. El trabajo creativo referente al diseño, sumado a lo atractivo del trabajo manual, provoca y facilita procesos de aprendizaje en áreas no directamente relacionadas con el mundo de los sensores y el medio ambiente. Esto permite al docente encontrar relaciones y provocar motivación en áreas educativas muy diversas.

Todos los diseños se encuentran en repositorio de acceso libre:
<https://github.com/fablabbcn/smartcitizen-enclosures>