

## Receptor Electrónico de Residuos (RER)

### Una infraestructura conceptual de recompensas directa de hábitos ciudadanos.

Rodrigo Baccaro<sup>1</sup>, Lucas Gonzalo Rau<sup>1</sup>  
Alejandro Sartorio<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Abierta Interamericana

<sup>2</sup>Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática – Universidad Abierta Interamericana

<sup>1</sup>baccarodrogo1@gmail.com, <sup>1</sup>lucasrau18@gmail.com  
<sup>2</sup>alejandrosartorio@uai.edu.ar

**Resumen.** Este trabajo propone un diseño tecnológico para el desarrollo de un artefacto de recolección de residuos urbanos. Su propósito es facilitar la instrumentación de políticas de conductas de responsabilidad ciudadana basadas en recompensas. Para este propósito se creó una prueba de concepto que involucra un diseño de software, una arquitectura, componentes electro-mecánicos embebidos y una aplicación informática de gestión integral y conexión digital con sistemas de gestión municipales. La articulación de estos componentes se denominará Receptor Electrónico de Residuos (RER), su diseño y construcción permiten diferentes tipos de adaptaciones para propósitos similares al cuidado del medio ambiente e innovaciones en tecnologías en ciudades digital públicas.

**Keywords:** Innovación ciudadana, Sistemas embebidos electrónicos, Ingeniería de Software, Ciudad digital.

## 1 Introducción

El producto final de este trabajo tiene que ver con la creación de un dispositivo de recolección de residuos con recompensas en áreas urbanas de la ciudad de Rosario. El ciclo de construcción fue desarrollado en el Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática (CAETI) de la Universidad Abierta Interamericana (UAI), en el marco de un proyecto de investigación y desarrollo titulado "Receptor Electrónico de Residuos" (RER) perteneciente a la línea de investigación denominada Ingeniería de Software.

Partiendo del objetivo de construir un prototipo de sistema electrónico, mecánico y software con el propósito de disminuir la contaminación ambiental por residuos en las calles. Las componentes mecánicas serán instrumentadas a través de un sistema embebido electrónico [1] relacionado con un software, conformando una unidad de control. Esta unidad determina un subsistema electrónico de procesamiento, programado para realizar funciones de propósitos específicos. Esta configuración se

integra a un sistema general donde se incluyen partes mecánicas, eléctricas y/o electromecánicas.

En países desarrollados hay infraestructuras urbanas adecuadas y factores culturales para instrumentar sistemas del estilo RER, que alientan la instrumentación de estos sistemas de innovación formando un círculo virtuoso. En cambio, aquellos países en los cuales se inician estos desafíos, es imprescindible partir de buenos diseños, prácticas y metodologías de trabajos para que se pueda acortar la brecha y suplir limitaciones de base. Para este propósito, comenzaremos con una breve contextualización de los requerimientos definidos en promover la Innovación Ciudadana [2] a partir de recompensas, con el propósito de incentivar la participación activa de los ciudadanos en iniciativas innovadoras que buscan transformar la realidad social mediante el uso de las tecnologías digitales, con el fin de alcanzar una mayor inclusión social.

### **1.1 Contexto**

Los desechos de colillas de cigarrillos, packaging de comida, bolsas de nylon, papeles, plásticos, aluminio, etc., arrojados a la vía pública, es una problemática de alto impacto social y que tiene grandes consecuencias en la sustentabilidad. Su recolección y la logística específica que necesita tratamiento, insumen un alto costo para los municipios.

Según un informe del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación [3], la generación de residuos en Argentina tiene un promedio de 1,02 kg per cápita, lo que representa unas 45.000 toneladas diarias para el total de la población; lo que equivale a la generación de una tonelada cada dos segundos, y alrededor de 16.500.000 toneladas anuales.

Teniendo en cuenta los efectos irreversibles y la importancia de esta problemática para la construcción de ciudadanía, en este trabajo se propone una infraestructura tecnológica extensible y adaptable basada en estándares tecnológicos, para su implementación en una ciudad como Rosario, Argentina, con la posibilidad de conexión con otros sistemas y políticas que se implementan en el municipio.

### **1.2 Problemática**

Según estudios de P.N.L (Programación Neurolingüística) [4] el incentivo mediante premios se considera una de las principales estrategias para lograr cambios en comportamientos sociales. Este tipo de recursos de incentivos (bonificaciones, descuentos, etc.) es cada vez más usado en políticas públicas junto a los más habituales instrumentos de penalización (multas, recargos, etc.). Este trabajo propone un instrumento tecnológico para disminuir los residuos urbanos (basura) en la vía pública, diseñado específicamente para facilitar la implementación de políticas de conductas de responsabilidad ciudadana basadas en recompensas. Así, se implementará un sistema para que cualquier peatón pueda acercar su tarjeta MOVI (tarjeta de transporte público de la ciudad de Rosario) a un dispositivo que contiene un lector que disparará un evento que abrirá automáticamente la compuerta de recepción de residuo. Una vez que la materia depositada sea detectada, se le solicitará al peatón por medio de un mensaje audiovisual emitido en la pantalla y parlante del

dispositivo para que aproxime nuevamente su tarjeta al lector, esta acción registra unidades de créditos de recompensa debidamente calculado (ver Figura 1).

En Rosario en 2018, se comenzó a implementar terminales inteligentes de lectores de tarjeta en distintas paradas de colectivos en lugares estratégicos. Estos tipos de componentes se denominan Tótems [5], y son estaciones ideadas para poder ubicar en lugares estratégicos de la ciudad, poseen los recursos tecnológicos adecuados para capturar, procesar y transmitir información. Estos tipos de elementos se utilizarán como hardware del sistema de control de RER. Además, se incluirá una interfaz de seguimiento del proceso para observación del status de los puestos. También, el dispositivo ofrecerá un registro de uso por peatón, del cual podrán obtenerse resultados estadísticos históricos acerca de la utilización del receptor inteligente a partir del ID de tarjeta MOVI.



Fig. 1. Gráfico Conceptual

### 1.3 Raspberry PI

Raspberry PI es una placa simple, pudiendo afirmarse que es un ordenador de tamaño reducido, desarrollado en 2011 en el Reino Unido por la Fundación Raspberry PI (Universidad de Cambridge), con el objetivo de estimular la enseñanza de la informática en las escuelas. [6]

Para la construcción de las unidades de control, existen varios modelos de placas electrónicas de diferentes fabricantes que fueron analizadas. Raspberry PI presenta una gran ventaja en costo/calidad, permitiendo desarrollar un dispositivo con prestaciones muy superiores en comparación con las placas que se encuentran actualmente en el mercado. Otro fundamento para su elección se basa en que la misma es un estándar mundial, lo cual significa que existe en internet una gran comunidad que aportan variedades de recursos disponibles para reutilizar. Tanto el hardware como el software utilizado son libres de acceso u utilización.

## 2 Estado del Arte

A modo de comparación con el presente trabajo, se mencionan proyectos similares de recolección de residuos en áreas urbanas.

Para llevar a cabo el estudio de estos proyectos se desarrolló una tabla comparativa (ver Tabla 1) donde se analizó cómo responde cada uno a los criterios más relevantes que ofrece la solución del proyecto actual. Estos son:

- Uso de nuevas tecnologías.
- La incentivación mediante premios por el uso del receptor inteligente.
- La escalabilidad que otorga este proyecto ya que se podría incorporar la recepción de cualquier tipo de residuo, usando prácticamente la misma metodología.
- La personalización y el seguimiento de uso por peatón.

El trabajo número 1, denominado FUMO, es un receptor de residuos público desarrollado por la agencia holandesa Ioglo [7], su funcionamiento consiste en emitir un sonido totalmente aleatorio cuando los usuarios depositan una colilla de cigarrillo.

El trabajo número 2, creado por la empresa estadounidense TERRACYCLE [8], asegura la recolección de residuos a través de receptores ubicados sobre la vía pública.

El trabajo número 3, denominado PROTRASH [9] es un sistema de recolección de residuos de México creado por la empresa Protrash, basado en el intercambio de basura por comida, a partir del reciclaje de tres materiales: PET, aluminio y vidrio.

Nº	Trabajos	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
1	FUMO			X		X	X		
2	TERRACYCLE					X	X	X	X
3	PROTRASH	X			X		X	X	X
4	<b>RER</b>	X	X	X	X	X	X	X	X

**Tabla 1.** Tabla comparativa de soluciones existentes con el proyecto actual.

**C1:** Bajo Costo; **C2:** Nuevas Tecnologías ; **C3:** Personalización ; **C4:** Premiación por uso ; **C5:** Fácil Instalación ; **C6:** Simplicidad de uso ; **C7:** Escalabilidad e Integración ; **C8:** Reciclado del residuo.

De acuerdo a los resultados arrojados por la tabla anterior, se observa que el proyecto FUMO ofrece una personalización en el uso emitiendo un sonido amigable al usuario, pero no ofrece un seguimiento de uso. El proyecto TERRACYCLE ofrece escalabilidad e integración a nuevos residuos, pero no aplica la premiación por el uso del dispositivo. Por último, PROTRASH ofrece una premiación a través de un ticket para poder intercambiar por algún alimento de nutrición básica, pero no se enfoca en la premiación directa ni en la personalización de uso por peatón como el proyecto actual.

En respuesta a todos los criterios planteados anteriormente, se desarrolla RER enfocado en ser un dispositivo que utiliza nuevas tecnologías para la recolección de residuos en la vía pública, ofreciendo un seguimiento de uso por peatón y otorgando una premiación como punto de incentivación. Además, otorga una alta escalabilidad e integración en incorporar la recolección de cualquier tipo de residuo.

### 3 Solución

En esta sección se describen los elementos de hardware que fueron seleccionados en la construcción de los sistemas de control. Luego, se brindan detalles sobre las decisiones de diseños y arquitectura del software implementados.

Por último, se presenta un modelo de extensión de propiedades operacionales que permite adaptar la solución final a diferentes instrumentaciones de políticas de recolección inteligente de residuos con mecanismos de recompensas.

### 3.1 Componentes utilizados

Para llevar a cabo un prototipo se pensó en demostrar la funcionalidad del dispositivo siendo, en este caso, un receptor de colillas de cigarrillos (es importante destacar que el diseño es fácilmente escalable si se quiere agregar más sensores para ser receptor de múltiples residuos como lo pueden ser packaging de comida, bolsas de nylon, papeles, plásticos, aluminio, etc).

Para este ejemplo fueron utilizados los siguientes componentes principales:

**RASPBERRY PI 3+B:** Este proyecto, utiliza como núcleo del dispositivo un RASPBERRY PI [6] modelo 3+B (ver Figura 2) por su bajo costo, simplicidad y variedad de componentes disponibles en el mercado. Todos los componentes del proyecto se conectan a esta placa. Especificaciones técnicas más importantes: - Procesador: Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC - Frec. reloj: 1,4 GHZ-Memoria:1GB LPDDR2 SDRAM - Conec. Inalámbrica: 2.4GHZ / 5GHZ - Red: Gigabit Ethernet



Fig. 2. Raspberry PI 3+B

**MÓDULO RFID 13.56MHZ (LECTOR DE TARJETA):** El módulo RFID [10] (ver figura 3) utiliza un sistema avanzado de modulación y demodulación para todo tipo de dispositivos pasivos de 13.56Mhz. Al ser ideal para dispositivos portátiles o tarjetas, con este módulo se hará el reconocimiento cuando el peatón aproxime la tarjeta MOVI al lector. Especificaciones técnicas más importantes:- Modelo: MF522-ED. - Corriente de operación: 13-26mA a 3.3V. - Isb de stand by: 10-13mA a 3.3V. - Ism de sleep-mode: <80uA. - Im máxima: 30mA.- Frecuencia de operación: 13.56Mhz. - Distancia de lectura: 0 a 60mm.- Protocolo de comunicación: SPI. - Velocidad de datos máxima: 10Mbit/s.- Máxima velocidad de SPI: 10Mbit/s.



Fig. 3. Módulo RFID 13.56MHZ (lector de tarjeta)

**SENSOR DE TEMPERATURA DS18B20:** El sensor DS18B20 [11] (ver Figura 4) permite medir temperaturas de hasta 125°C de forma fácil y además está sellado en un envoltorio estanco que permite sumergirlo en un líquido o protegerlo de la intemperie. Dado que es un sensor digital, la señal leída no se degrada debido a la distancia del cableado. Especificaciones técnicas más importantes: - Rango de temperatura: -55 a 125°C-Resolución: de 9 a 12 bits (configurable). - Múltiples sensores con mismo pin. - Precisión:  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  (de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $+85^{\circ}\text{C}$ ).- Tiempo de captura inferior a 750ms. - Alimentación: 3.0V a 5.5V



Fig. 4. Sensor de temperatura DS18B20

### 3.2 Esquema de conexión

La figura 5 muestra un diagrama de conexión simple, que permite entender la relación que existe entre todos los componentes antes mencionados. En el mismo podemos ver sobre la izquierda la placa Raspberry PI con sus pines conectados hacia los sensores correspondientes, el primero en entrar en acción es el sensor encargado de detectar la temperatura (que se encuentra en la parte superior). En la parte central se encuentra el sensor RFID cumpliendo la función de lecturas de tarjetas magnéticas. Luego por el sector derecho, se encuentra el driver encargado de realizar el manejo del motor el cual se ubica en la parte superior, el mismo es alimentado por una batería de 9v.

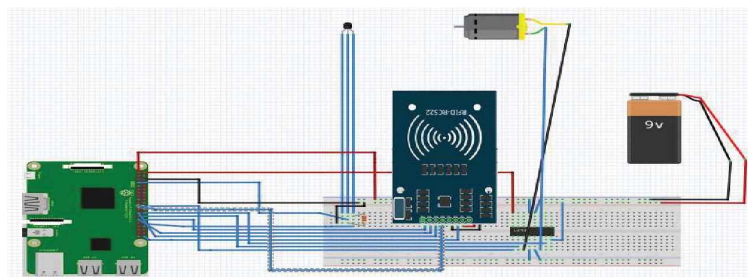


Fig. 5. Esquema de conexión general.

### 3.3 Diseño y Arquitectura

El diseño de RER está basado en una arquitectura de control, que puede verse en la Figura 6. Sus principales componentes son sensores, actuadores, interfaces y controladores electrónicos embebidos con conexión de pines (GPIO) que funcionan de manera entrada/salida en la placa Raspberry PI con su infraestructura propia de módulos para su configuración y programación. De esta manera, es posible

implementar las políticas de acciones y control sobre los sensores mediante un lenguaje de programación de alto nivel; para este trabajo se utilizó Python 3 en su versión estándar.

Para la recolección de información se utilizaron sensores y lector RFID que enviarán información al componente Controlador, encargado de procesar los datos recibidos en función de los algoritmos y procedimientos que configuran la lógica de negocio de todo el sistema. Además, se utiliza como mecanismo de comunicación, entre componentes del sistema, el protocolo HTTP sobre una red TCP/IP alimentado mediante un cable ethernet conectado en la placa del módulo Raspberry PI. De esta manera, se informará a un servidor HTTP cada evento que se esté realizando. A su vez, este servidor es el encargado de brindarle datos (en formato JSON) a una página web que mostrará el flujo de trabajo de los componentes en un monitor de control en formato para página Web con acceso para navegador Web.

El motor es un actuador conjunto con la interface (Pantalla), que conectados a un puerto GPIO son los únicos que generan eventos de salidas. En este caso, cada componente actuador cumple con su función correspondiente regulada por el controlador. Así, se proyectan los datos en una pantalla y se envían las instrucciones necesarias para la apertura y cierre de compuertas según corresponda.

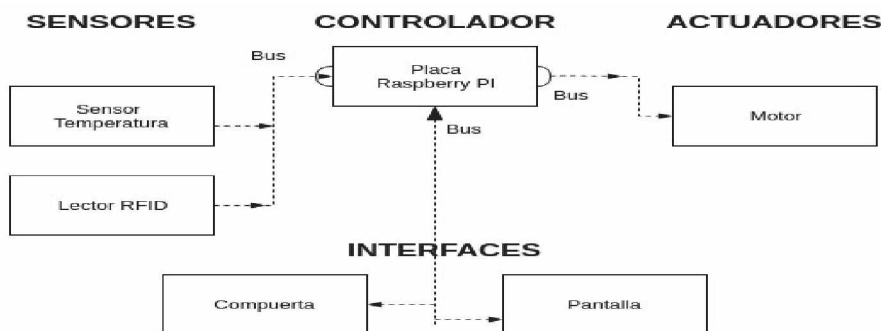


Fig. 6. Arquitectura

### 3.4 Adaptación a nuevas funcionalidades.

Desde la perspectiva del diseño de software se pensó en diseñar e implementar una aplicación capaz de adaptarse a nuevas funcionalidades y políticas de uso, o prueba de conceptos con el mínimo coste para concretarlo. Con este propósito, se utiliza un diseño de módulos funcional para la programación del controlador basado en la aplicación del patrón de diseño "command" [12]. En la figura 7 se muestra una representación conceptual de la utilización del patrón "command" con propósito de lograr una representación de todas las comunicaciones posibles entre el controlador y las demás componentes del sistema. A este tipo de comunicación la denominaremos operaciones de acción. Un posible ejemplo de una operación puede ser la instrucción que el controlador le indica al motor para que se prenda y abra la compuerta para la recepción de un residuo. De esta manera, se brinda un mecanismo para que las operaciones puedan verse y utilizarse como si fueran una componente acción más del sistema. En la figura 7, estos componentes son módulos

que se extienden de un módulo abstracto denominado Operador y que podrá ser utilizado a través de otro módulo invocador determinado; por ejemplo: el controlador. Luego, estas operaciones son recibidas por otros módulos denominados receptores, en este caso, formados por la extensión de un módulo abstracto denominado Receptor. Como ejemplos de receptores se pueden mencionar: pantalla o visor, luces, tarjeta magnética y componentes electrónicos embebidos.

Al tener esta representación de módulos implementados es posible construir, instanciar y utilizar operaciones de acciones para el RER. Esta propiedad se lleva a cabo desde el módulo Cliente de la figura 7, a través de la creación e instanciación de los módulos de operación y la visualización de los estados que pueden adquirir los receptores. Por ejemplo, un operador del sistema puede tener en su tablero de control una serie de comandos configurables para ir controlando y visualizando el funcionamiento integral de cada instancia del sistema.

Esto, a su vez, permite que, al realizar un cambio físico de sensores, las funcionalidades sigan ejecutándose de la misma manera.

La aplicación de este diseño le permite al proyecto definir una metodología técnica de extensión de las funcionalidades con las ventajas típicas de un estándar. Estas nuevas funcionalidades pueden ser agregadas como muestra el diagrama con entidades de líneas de punto.

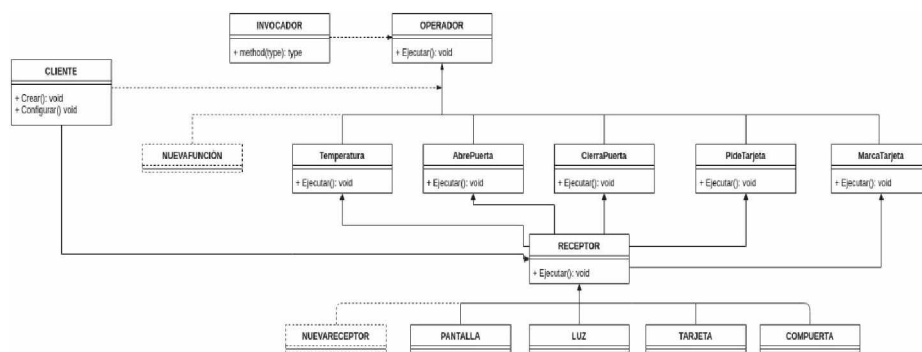


Fig. 7. Esquema del patrón comando.

## Entidades

**Operador:** Declara una interfaz para ejecutar una operación.

**Operador Concreto:** Define un enlace entre un objeto “Receptor” y una acción.

**Cliente:** Crea un objeto por ej. “Temperatura” y establece su receptor.

**Invocador:** Le pide a “Operador” que ejecute la petición. (Sensores)

**Receptor:** Sabe cómo llevar a cabo las operaciones asociadas a una petición.



## 4 Caso Práctico

### 4.1 Caso de Uso

Siguiendo con el ejemplo del sensor de temperatura para la recepción de colillas de cigarrillos, en la Figura 8 se muestra la secuencia de uso del dispositivo:

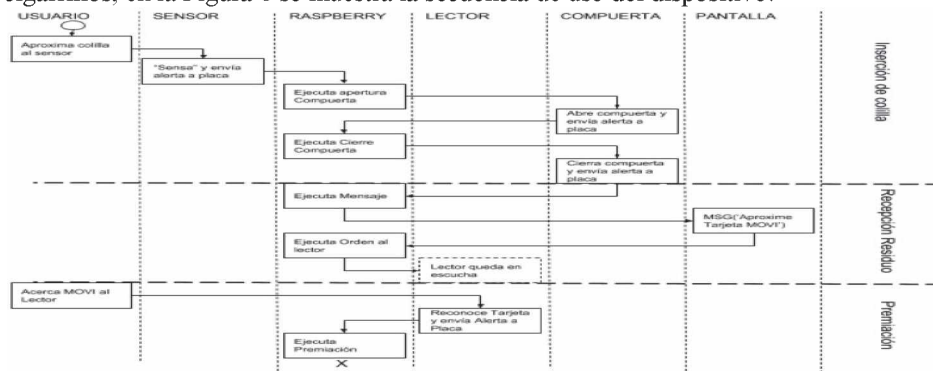


Fig. 8. Diagrama de Secuencia

- 1 Inserción de residuo:** El usuario del dispositivo acercará el residuo al sensor, donde emitirá una alerta al Raspberry PI, indicando la apertura de la compuerta.
- 2 Recepción Residuo:** Una vez que el residuo se depositó, se cerrará la compuerta. Posteriormente a esto se mostrará un mensaje en pantalla indicando al usuario que acerque su tarjeta MOVI al lector.
- 3 Premiación:** Luego de que el usuario acercó su tarjeta MOVI al lector, se premiará con una determinada cantidad de saldo en la tarjeta de acuerdo a un número de residuos depositados.

### 4.2 Interfaz gráfica del sistema

En la figura 9 se observa una captura de pantalla del sistema donde permite monitorear el proceso del dispositivo.

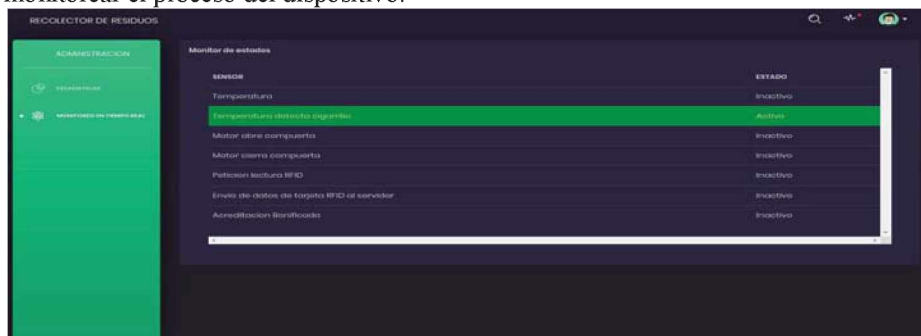


Fig. 9. Interfaz gráfica del sistema

### 4.3 Auditoría/histórico de uso del dispositivo

El sistema de RER registra todas las transacciones de uso realizadas. La aplicación cuenta con un tablero de control (ver Figura 10) que permite, filtrar a partir de una fecha desde y hasta el uso del dispositivo. Ofrece un reporte para el rango de fecha ingresado mostrando:

- La cantidad de bonificaciones acreditadas.
- La cantidad de residuos recolectados.
- El rango de edad de ciudadanos que utilizan el dispositivo. Esto se realiza obteniendo información a través del consumo de un servicio conectado a la base de datos de la municipalidad para aquellas tarjetas MOVI que hayan sido personalizadas.

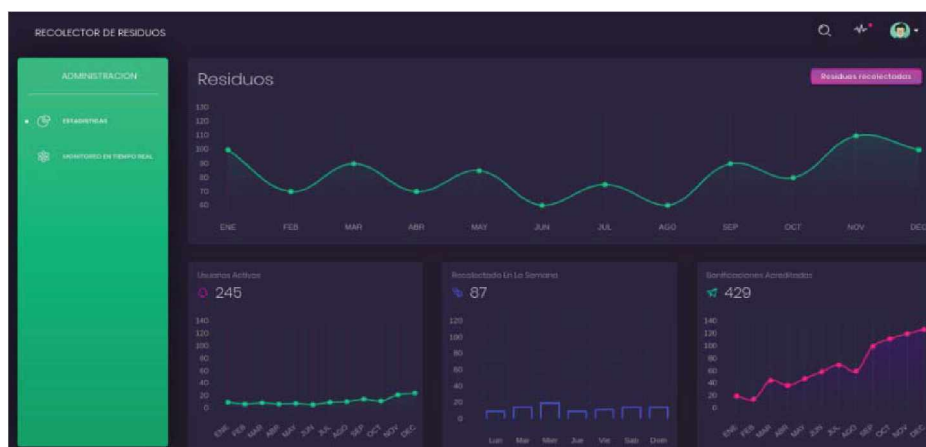


Fig. 10. Tablero de control

## 5 Conclusión

El presente trabajo se ha desarrollado con el objetivo de construir un prototipo de sistemas electrónico, mecánico y de software para la instrumentación de políticas de conductas de responsabilidad ciudadana basadas en recompensas. Además, empleado en buenas prácticas de diseño de software aplicadas a sistemas embebidos de bajo costo que se ofrecen en el mercado actual. Este prototipo tiene la capacidad de ser receptor de residuos para ser utilizado por cualquier ciudadano del microcentro de la ciudad de Rosario, utilizando los denominados Tótems, al emplear un sistema de premiación por uso que tiene como fin principal incentivar al usuario a modificar su comportamiento en arrojar residuos en las calles, y la contaminación que se genera a partir de esto. Las decisiones de diseño, construcción e implementación tuvieron el propósito de ser adaptados, extendidos y utilizado para pruebas de conceptos en políticas públicas de innovación en espacios urbanos basados en brindar servicios, fomentar buenas prácticas de convivencia y recompensas.

## Referencias

- [1] Vega, J. I. H. (2010). El software embebido y los retos que implica su desarrollo.
- [2] Caamaño, H., & Pascale, P. (2014). Innovación Ciudadana en Iberoamérica: participación digital para la transformación social. In Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación.
- [3] Ministerio de ambiente y desarrollo sustentable de la Nación (MAyDS). (2017). Recuperado de: <http://informe.ambiente.gob.ar/>
- [4] Dilts, R. (1998). Liderazgo Creativo. PNL Programación Neurolingüística. Para forjar un mundo al que las personas deseen pertenecer. Urano.
- [5] Tótems Inteligentes (2019). Recuperado de: <http://www.etr.gov.ar>
- [6] Sobota, J., PiŚl, R., Balda, P., & Schlegel, M. (2013). Raspberry Pi and Arduino boards in control education. IFAC Proceedings Volumes, 46(17), 7-12.
- [7] Agencia Holandesa IOGLO (2018). Recuperado de: <http://www.ioglo.com/>
- [8] Terracycle (2018). Recuperado de: <https://www.terracycle.com/es-ES/>
- [9] Protrash (2019). Recuperado de: <https://www.protrashco.com/single-post/2016/07/07/NUUESTRA-HISTORIA>
- [10] Sánchez, J. A. A. (2008). Sistema de Control de Acceso con RFID. México DF.
- [11] Xin-min, H. Z. J. L. (2003). Digital Temperature Sensor DS18B20 And Its Application [J]. Journal of Nanjing Institute of Technology (Natural Science Edition), 1, 001.
- [12] Larsen, G. (1999). Designing component-based frameworks using patterns in the UML. Communications of the ACM, 42(10), 38-45.