



propone un sistema de medición participativo (o crowdsourcing) que extienda los puntos o áreas monitoreadas a lugares de interés ciudadano (como residencias particulares, edificios en altura, parques, recorridos de buses, etc.) que por su complejidad o especificidad no son contemplados por las soluciones existentes.

## 1.2 Formulación del problema

La mayoría de las mediciones registradas en el portal informativo de la Subtel corresponden a resultados obtenidos de acuerdo a protocolos post-instalación de antenas. Los datos se limitan a presentar valores y puntos que indican la cantidad de mediciones asociadas a una determinada torre de telefonía móvil, pero sin hacer mención de la criticidad, inocuidad o temporalidad de la medición. Por lo tanto, aunque el portal provea algunos datos técnicos interesantes, la información actualmente disponible no es lo suficientemente intuitiva desde la perspectiva del interés ciudadano. Por otra parte, si bien es recomendable que los procedimientos de medición sean realizados por empresas certificadas utilizando instrumentos especializados, su costo y complejidad limitan la escalabilidad a otras zonas de interés público. Por ejemplo, residencias particulares, edificios en alturas, parques, recorridos de buses, entre otros, quedan excluidos del plan oficial de mediciones. Del mismo modo, lugares que son frecuentados por ciudadanos de población sensible (niños, enfermos, ancianos, etc.) fuera de las zonas definidas como especiales (escuela, hospitales, asilos, etc.), no aseguran la exposición a los límites más estrictos establecidos para dicha población.

En definitiva, con base a estas observaciones, es posible sugerir que el enfoque actual no es lo suficientemente escalable ni intuitivo para todos los usuarios interesados.

## 2 Enfoque propuesto

El objetivo de este trabajo es proponer una alternativa de medición y difusión colaborativa que involucre la participación directa de ciudadanos y a su vez extienda la cobertura geográfica de las mediciones actuales a las zonas de interés de estos mismos. El enfoque propuesto se basa en el concepto de crowdsourcing, definido como la colaboración distribuida de personas en respuesta a una convocatoria abierta de externalización de tareas que en otras circunstancias implicaría el uso de muchos recursos. Cabe destacar que este planetamiento ha mostrado ser un enfoque útil y efectivo en el contexto de innovación de la ciudades inteligentes [PG18]. La Figura 1 muestra un diagrama de contexto del enfoque de solución propuesto.

La arquitectura de software del sistema propuesto ha tomado en cuenta las recomendaciones del estándar

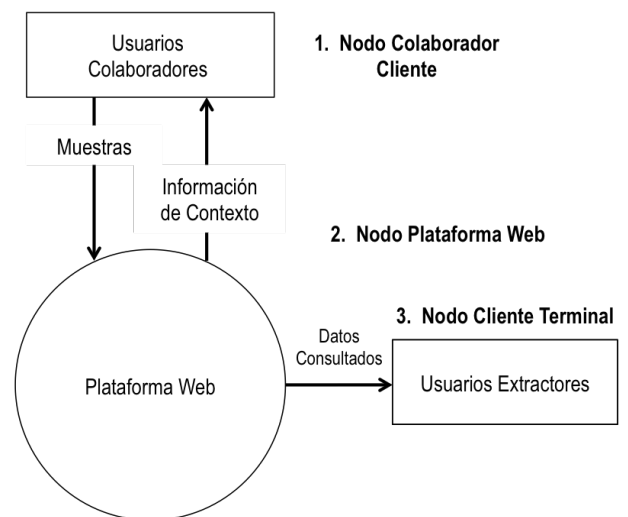


Figure 1: Vista general del sistema propuesto.

IEEE1471. El prototipo implementado está compuesto por tres nodos principales: 1) el nodo colaborador, 2) el nodo plataforma, y 3) un nodo terminal asociado al usuario remoto. El primero, está encargado de capturar y proporcionar las muestras al sistema, comportándose además como un nodo sensible al entorno, pues interactúa con la plataforma en base a información de contexto. El segundo, corresponde a la plataforma Web encargada de almacenar y facilitar la extracción de datos desde el tercer nodo (terminal).

El nodo colaborador, contempla dos componentes principales: un módulo sensor y un teléfono móvil. El módulo consiste en una placa arduino adaptada para capturar y enviar muestras vía Bluetooth Low Energy (BLE) al dispositivo móvil. Este último consiste en un smartphone o tablet (con S.O. Android 6.0 o superior) cargado con una aplicación móvil que integra los datos del receptor GPS del smartphone con las muestras generadas en la placa arduino. La aplicación sincroniza los tiempos de ambos componentes y envía la medición a la plataforma Web, la cual también se puede visualizar en la aplicación móvil. El prototipo implementado utilizó una placa Arduino UNO, un módulo Bluetooth HC-08 y un sensor de humedad y temperatura DHT11 como reemplazo conceptual del sensor de radiación. El nodo plataforma consiste en una plataforma Web y su respectiva base de datos para el almacenamiento de registros. El diseño del software tomó como base sistemas existentes de monitoreo de radiación EM y monitoreo colaborativo para el levantamiento de los requerimientos. El prototipo fue implementado en un servidor virtual Droplet DigitalOcean con base de datos MySQL 5.5, considerando una aplicación web PHP, con backend basado en el framework Laravel 4.2. y un frontend Javascript Angular 1.02, Bootstrap, CSS3.

## 2.1 Resultados preliminares

En la Figura 2 se muestra la presentación Web del nodo plataforma para 1000 muestras de magnitudes aleatorias obtenidas en la ciudad de Santiago.

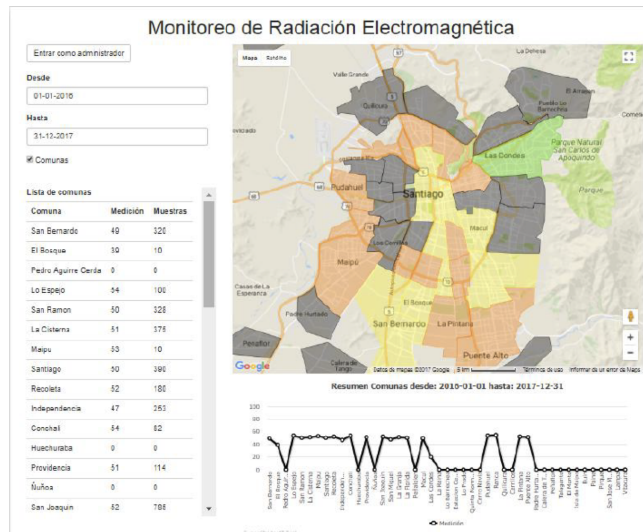


Figure 2: Ejemplo de visualización en plataforma.

El mapa en la esquina superior derecha divide en polígonos la información de cada comuna, siendo cada una de éstas dividida en celdas de igual tamaño. Los colores (verde, amarillo, naranja, rojo) indican la criticidad de los promedios obtenidos, donde los valores más cercanos al color rojo corresponden a niveles próximos a los límites permitidos. El color gris indica que no hay muestras en la comuna (o celda) respectiva. El gráfico en la esquina inferior derecha representa el promedio de las magnitudes medidas para las distintas comunas. Cada comuna al ser seleccionada, despliega un mapa con las celdas coloreadas de acuerdo al promedio de mediciones y un gráfico con las magnitudes resumidas por día. El nivel de detalle ofrecido permite visualizar y descargar (en .csv) los datos resumidos por polígono, comuna celda y punto.

## 3 Conclusiones

El estado del arte de los sistemas existentes para el monitoreo de la radiación EM celular presenta arquitecturas similares con diferentes enfoques de solución. Los métodos aplicados responden por lo general a medidas de fiscalización focalizada que utilizan instrumentos de medición de alto costo y complejidad. En todos los casos, los ciudadanos no interactúan directamente con la medición ni con la decisión del punto geográfico a medir. La propuesta presentada en este artículo ofrece una alternativa de bajo costo y complejidad, escalable en términos del número de dispositivos simultáneamente en uso y extendible hacia áreas

geográficas de interés ciudadano (residencias, oficinas, parques, etc.). El diseño considera módulos sensores independientes capaces de conectarse vía Bluetooth a un teléfono móvil, y una plataforma centralizada para el almacenamiento y visualización de la información histórica. La plataforma Web ofrece una estrategia de visualización más intuitiva de los registros a través de un esquema basado en colores, mientras favorece la extracción de datos para fines de análisis estadístico. Los resultados preliminares obtenidos nos permiten validar conceptualmente la posibilidad de monitorear variables de interés ciudadano (radiación electromagnética, ruido acústico, contaminación del aire, etc.) a través de un enfoque de solución crowdsourcing dentro del contexto de ciudades inteligentes. Trabajos futuros buscarán perfeccionar los prototipos a través de mediciones con sensores de radiación adecuados, extendiendo además el enfoque de solución a otras problemáticas y adaptando los desarrollos a plataformas estandarizadas para Smart Cities.

## References

- [DAM17] Luis Diez, Ramón Agüero, and Luis Muñoz. Electromagnetic field assessment as a smart city service: The smart-santander use-case. *Sensors*, 17(6):1250, 2017.
- [PG18] Chrysaída-Aliki Papadopoulou and Maria Giaoutzi. Crowdsourcing and living labs in support of smart cities' development. In *E-Planning and Collaboration: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*, pages 364–381. IGI Global, 2018.
- [RJ12] Jack T Rowley and Ken H Joyner. Comparative international analysis of radiofrequency exposure surveys of mobile communication radio base stations. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 22(3):304, 2012.
- [WLWG14] Lili Wang, Wei Liu, Jing Wang, and Jianyu Guo. A review of electromagnetic fields concerns on hevs/evs. In *Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2014 17th International Conference on*, pages 229–233. IEEE, 2014.
- [XWH] Zhang Xinghai, Zhang Weimin and Chen Hao. Analysis of global major standards and regulations for electromagnetic radiation. In *Electromagnetic Compatibility (APEMC), 2016 Asia-Pacific International Symposium on*, pages 1160–1163. IEEE, 2016.