

# Spatial Crowdsourcing: cuando las TIC desencadenan el poder de la colaboración

**M. C. María Esther Sosa Rodríguez**  
**M. C. Eduardo Andrés Marcelo**  
**Dra. Elizabeth Pérez Cortés**  
**Dr. Miguel López Guerrero**  
*Departamento de Ingeniería Eléctrica,  
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa*

**Abstract**

The widespread use of smartphones equipped with technologically advanced features has led to the emergence of spatial crowdsourcing: a novel paradigm which is useful to solve problems requiring the presence of workers at specific locations. In this article we present both the paradigm and some of its applications. We also briefly describe two projects that are being developed on the subject at the Department of Electrical Engineering of UAM Iztapalapa.

**Keywords:** spatial crowdsourcing, mobile crowdsensing, incentives, sensing.

**Resumen**

El uso generalizado de *smartphones* con amplias capacidades ha permitido el surgimiento del *spatial crowdsourcing*: una novedosa estrategia para solucionar problemas que requieren la presencia de trabajadores en ubicaciones específicas. En este artículo presentamos el paradigma y algunas de sus aplicaciones. También describimos brevemente dos proyectos de investigación sobre el tema que están siendo desarrollados en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la UAM Iztapalapa.

**Palabras clave:** spatial crowdsourcing, mobile crowdsensing, incentivos, monitorización.

**Introducción**

Supongamos que se requiere resolver los siguientes problemas:

- a) El gobierno de la ciudad necesita conocer el nivel de iluminación en algunas calles a fin de decidir en dónde instalar alumbrado público adicional.
- b) Un desarrollador inmobiliario quiere

saber cuáles son los niveles de contaminación auditiva en una colonia en donde planea construir un nuevo desarrollo. Esto le ayudará a determinar la plusvalía de la zona.

- c) Una empresa de telecomunicaciones requiere conocer la calidad del servicio de telefonía celular que ofrece en diferentes puntos de una ciudad a fin de decidir si necesita colocar más radiobases para mejorar el servicio.
- d) Un chofer repartidor necesita saber cuáles son las calles menos congestionadas de una ciudad a fin de hacer recorridos más rápidos.
- e) El mismo desarrollador inmobiliario, mencionado anteriormente, quiere saber también qué tan eficiente es el servicio de limpia en la zona del desarrollo planeado.

Las soluciones que podrían plantearse a las problemáticas mencionadas parecen ser muy diferentes entre sí. Veamos. Para resolver el problema (a) requerimos conseguir un luxómetro (i.e., un aparato que mide la intensidad luminosa) y hacer recorridos por las calles de interés. Para el problema (b) requerimos un decibelímetro (i.e., aparato para medir la intensidad del sonido) y también hacer recorridos. Para el problema (c) requerimos un analizador de espectros y realizar recorridos. El problema (d) podría resolverse midiendo el tiempo requerido para recorrer la distancia entre dos puntos de una calle y así calcular la velocidad promedio en tal lugar. El problema (e) parece mucho más complejo de resolver a través de algún instrumento de medición. Sin embargo, una persona que se desplazara a la zona de interés lo podría

solucionar muy fácilmente al reportar una apreciación de las condiciones de limpieza en la zona.

A pesar de la naturaleza tan diferente de los problemas y las soluciones listadas, podemos notar algunos elementos en común. Observemos, en primer término, que las tareas requeridas para resolver un problema en particular pueden hacerse ya sea por un solo individuo o bien, por un grupo de ellos trabajando de manera coordinada. Más aún, cada tarea es realmente sencilla, de modo que podríamos invocar un grupo de voluntarios abierto y numeroso que, con poca capacitación, podrían realizarlas. Esta estrategia de trabajo se conoce como *crowdsourcing* y proviene de la superposición de las palabras *crowd* multitud y *outsourcing* externalización de tareas. La idea detrás de esta estrategia es que, dado que el problema queda expuesto ante una multitud de potenciales realizadores, es más factible que se lleve a cabo con éxito.

En la actualidad el *crowdsourcing* es generalmente soportado por plataformas en línea en donde particulares y organizaciones solicitan la ejecución de tareas específicas diversas. Por ejemplo, MTurk de Amazon (<https://www.mturk.com/>) permite el acceso a una fuerza de trabajo para la realización de tareas que requieren de habilidades humanas como el etiquetado de imágenes, el reconocimiento de lenguaje natural, el desarrollo de software y un largo etcétera.

Notemos, en segundo término, que para resolver cualquiera de los problemas anteriores las tareas respectivas deben realizarse en ubicaciones específicas. En consecuencia, es importante que los trabajadores invocados estén en el área de

interés o bien, dispuestos a desplazarse a puntos específicos. Esta estrategia de solución de problemas se conoce como *spatial crowdsourcing* (SCS).

Finalmente, observemos que en los problemas listados anteriormente podemos utilizar *smartphones* para realizar las tareas requeridas. Así, en lugar de un luxómetro se pueden usar los sensores de fotometría que vienen asociados a la cámara del teléfono. En vez del decibelímetro, se puede usar el micrófono para medir el nivel de ruido ambiental. La calidad del servicio de comunicación celular puede conocerse con muestras de la intensidad de la señal recibida por el teléfono, en vez de usar un analizador de espectros. Las posiciones reportadas por el GPS y el reloj interno pueden usarse para estimar las características del tráfico vehicular en una calle. Por último, se puede desarrollar una aplicación móvil que permita registrar en una encuesta las condiciones de limpieza en la zona. Como se puede ver, con las capacidades típicas de un aparato tan común como un teléfono podemos resolver las necesidades de equipamiento de una infinidad de problemáticas.

Así pues, la proliferación de *smartphones* permite construir plataformas de SCS en donde las tareas son efectuadas gracias a las amplias capacidades de estos dispositivos. Este artículo está dedicado al estudio de este tipo de plataformas a las que denominaremos simplemente por el acrónimo SCS.

En el resto de este documento presentamos la arquitectura de una plataforma SCS y las funciones que realiza cada uno de sus componentes. Enseguida describimos algunas de las áreas de aplicación del paradigma y finalmente, presentamos los proyectos de investigación de dos alumnos

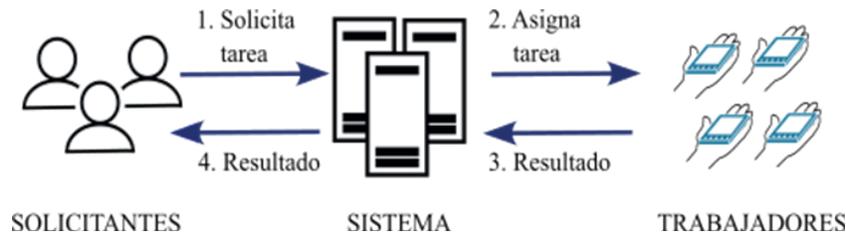


Figura 1. Plataforma de SCS

del doctorado en Ciencias y Tecnologías de la Información enfocados en el tema.

### Arquitectura de una plataforma SCS

El paradigma spatial crowdsourcing resulta de la conjunción de los siguientes tres elementos: a) personas u organizaciones (llamadas solicitantes) que necesitan la resolución de tareas; b) los trabajadores, quienes se encargan de llevar a cabo las tareas y c) el sistema a través del cual interactúan. La figura 1 ilustra los elementos de una plataforma de SCS y la dinámica entre éstos. Cuando un solicitante pide la resolución de una tarea (1), el sistema la asigna a algún trabajador (2) quien la realiza y envía el resultado al sistema (3) para que éste, a su vez, la haga llegar al solicitante (4).

### Funciones del sistema SCS

El sistema que da soporte a una plataforma de SCS está compuesto por los siguientes módulos:

- **Asignación de tareas:** este módulo se encarga de recomendar la realización de una tarea a uno o varios trabajadores en función de múltiples factores como pueden ser la cercanía del trabajador a la ubicación de la tarea o su reputación.
- **Control de calidad:** este módulo implementa mecanismos orientados a asegurar la confiabilidad de las res-

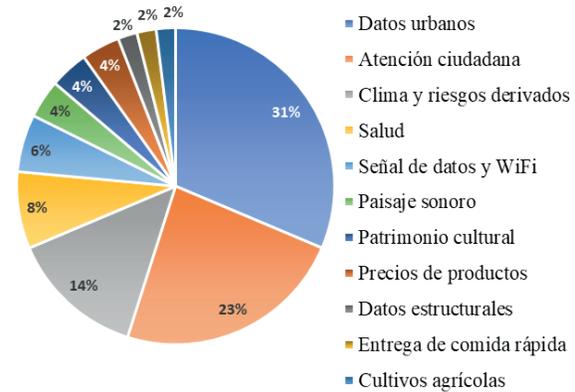
puestas. Por ejemplo, aquí se puede llevar un registro de la reputación de los trabajadores con base en la calidad de su trabajo en el pasado o decidir que una tarea se asigna a varios trabajadores para después contrastar las respuestas y elegir la mejor.

- **Incentivos:** Este módulo es el encargado de implementar estrategias para motivar a los trabajadores tanto a cooperar como a cuidar la calidad de su trabajo. Según la estrategia implementada, un trabajador puede recibir dinero, servicios o diversión a cambio de su trabajo. También es posible que la plataforma apele a la satisfacción intrínseca de colaborar para el bien común y premie la labor con alguna distinción valorada por la comunidad.
- **Protección de privacidad:** este módulo implementa políticas para proteger información personal que puede quedar expuesta cuando los trabajadores colaboran en la plataforma. Por ejemplo, se debe evitar que, a través de la ubicación de las tareas que un trabajador realizó a lo largo de una jornada, sea posible para un tercero conocer la trayectoria del trabajador.

### Áreas de aplicación del SCS

Una revisión sistemática de la literatura sobre aplicaciones del SCS utilizando la cade-

na de búsqueda: “crowdsourcing” o “mobile crowdsourcing” o “mobile crowdsensing” o “participatory sensing”<sup>1</sup>, sobre la base de datos SCOPUS arrojó cincuenta y un artículos científicos publicados entre el 2015 y el 2022. Estos proyectos se agruparon en once categorías, mismas que, junto al porcentaje de esfuerzos dedicados a cada una de estas, se muestran en la figura 2. En dicha figura podemos observar que la categoría más importante es aquella que engloba los esfuerzos dedicados a la construcción de plataformas para la recolección de datos urbanos (31.37%) como, por ejemplo, el estado del tráfico en una ciudad o la construcción de mapas de accesibilidad. Enseguida se encuentra la categoría relacionada con la atención ciudadana (23%). En esta categoría se desarrollaron plataformas que buscan recolectar información para mejorar los servicios provistos por la administración como, por ejemplo, el estado del asfaltado en las calles o el tiempo de espera en una oficina gubernamental. En importancia le sigue la categoría de clima y riesgos derivados (14%), en este rubro encontramos plataformas dedicadas al monitoreo del clima, de los flujos pluviales y la elaboración de mapas de riesgos (p. ej., inundaciones, derrumbes y avalanchas) dichos mapas permiten ubicar las zonas en donde es necesario aplicar acciones preventivas y mejorar los tiempos de respuesta en caso de una catástrofe natural. Un 8% de los trabajos reporta esfuerzos orientados a la salud. Uno de estos proyectos consiste en una plataforma mediante la cual una persona mayor o enferma solicita ayuda y las personas que pasan por la comunidad pueden atenderla según sus posibilidades. Otros esfuerzos en esta categoría recolectan el estado de ánimo de una población o los brotes de una enfer-



*Figura 2. Áreas de aplicación de SCS identificadas (2015-2022). La lista aparece en orden decreciente de acuerdo con el porcentaje y se muestra en la gráfica en sentido horario.*

medad infecciosa. En la categoría señal de datos y WiFi (6%) encontramos aplicaciones relacionadas con la detección del uso indebido del espectro de comunicaciones, la cobertura de la señal de WiFi y la experiencia de usuario de la red inalámbrica. Otras aplicaciones están orientadas a la construcción del paisaje sonoro y mapas de patrimonio cultural para el fomento al turismo. Existen también aplicaciones que publican los establecimientos con los mejores precios de un producto. Por otro lado, se encontraron plataformas para coleccionar datos estructurales en una construcción y así determinar su estado. Finalmente, el paradigma SCS también se ha utilizado para construir servicios de entrega de comida rápida y detectar plagas en los cultivos agrícolas.

Esta lista de áreas de aplicación del SCS no es exhaustiva, sin embargo, permite mostrar el amplio impacto social que pueden tener los resultados de la investigación en este paradigma.

<sup>1</sup> Otros términos para denominar al spatial crowdsourcing.

### Áreas de oportunidad en SCS

A pesar de la amplia aplicación del SCS en la construcción de plataformas, existe aún mucho trabajo por hacer tanto para optimizar su funcionamiento, así como para extender su aplicación en áreas que no son tan evidentes a simple vista. Enseguida presentamos dos proyectos de investigación sobre SCS, uno en cada una de las direcciones mencionadas.

#### A. Desarrollo de incentivos para la recolección de datos bajo el esquema SCS

Una de las formas de motivar a los trabajadores para que cooperen en una plataforma SCS es ofrecerles un servicio gratuito a cambio de su labor. Así, el incentivo ofrecido es que los trabajadores en algún momento también pueden asumir el rol de solicitantes del servicio. A través de esta estrategia sería posible: 1) maximizar el número de tareas realizadas en la plataforma SCS y 2) maximizar la satisfacción de los trabajadores (en su papel de solicitantes).

La estrategia de ofrecer un servicio como retribución a un trabajo ha sido poco estudiada de manera teórica (Tong, 2020) y los trabajos relacionados son escasos. En este proyecto de investigación nos proponemos diseñar incentivos basados en servicios.

Como parte del proyecto se ha desarrollado un modelo de simulación que representa el comportamiento de tareas, trabajadores y sistema. El modelo contempla que en una plataforma de SCS los trabajadores tienen una hora de llegada y están disponibles solo una parte del tiempo mientras realizan recorridos en el área de interés. Por otra parte, las tareas aparecen en cuanto son solicitadas y tienen una determinada vigencia.

Cada trabajador en nuestro modelo tiene asociado un comportamiento (Axelrod, 1981) que guía sus decisiones con base en la experiencia acumulada. Un trabajador puede rechazar o aceptar una tarea que le es sugerida por el sistema. De entre los trabajadores que aceptan realizar una tarea, el sistema elige a quién se le asigna. Finalmente, para una tarea que le fue asignada, un trabajador puede decidir si la realiza o no.

La *satisfacción* de un trabajador está relacionada con la fracción de tareas que él solicita y que le son realizadas exitosamente. Por otro lado, el *nivel de cooperación* de un trabajador está en función de cómo reacciona cuando se le sugiere o asigna una tarea. Finalmente, el *rendimiento* de la plataforma SCS está asociado a la cantidad de tareas que se atienden exitosamente, entre otros indicadores.

Actualmente se han propuesto los siguientes incentivos:

1. Dotar a los trabajadores de una comunidad que les permita aprender de otros participantes y así mejorar su *satisfacción*. La calidad de la comunidad dependerá de su *nivel de cooperación*.
2. Asignarle a un trabajador una clase según su *nivel de cooperación* y garantizar que las tareas que solicite serán realizadas por trabajadores de una clase al menos tan buena como la suya.

Hasta el momento hemos experimentado con una versión simplificada del primer incentivo (la comunidad de la que se dota al trabajador es aleatoria) y con tareas que no tienen una vigencia acotada. En este

escenario cada determinado tiempo los trabajadores aprenden de aquellos miembros de su comunidad que los superan en *nivel de cooperación y/o satisfacción*. El aprendizaje da como resultado una mejora significativa en todos los indicadores durante las primeras etapas hasta que se estabilizan sin llegar a la perfección.

### **B. Recolección de datos en redes inalámbricas de sensores en combinación con el paradigma SCS**

Las redes inalámbricas de sensores (WSN) se utilizan para monitorizar un fenómeno de interés en diversos puntos de una región. Cada nodo de la red es un sensor con capacidades de comunicación inalámbrica de modo que le es posible enviar sus mediciones hacia un nodo recolector. Los nodos, que por su lejanía no puedan comunicarse directamente con el recolector, pueden hacer llegar sus datos apoyándose en otros nodos. Así, un mismo nodo de la red puede ser tanto el origen de los datos, como parte de una ruta de comunicación hacia el recolector. El conocimiento obtenido a partir de los datos recolectados por la red de sensores resulta imprescindible en la toma de decisiones.

En la actualidad las WSN enfrentan muchos retos por resolver, dentro de los cuales destaca el lograr un consumo eficiente de energía. Los sensores usualmente utilizan baterías, por lo que el tiempo de vida de la red (i.e., tiempo en el que la red se mantiene en funcionamiento), en general, está limitado por este factor.

En este trabajo de investigación el objetivo es mejorar las prestaciones de redes de sensores incorporando el paradigma SCS. En otras palabras, se agregan a la red WSN teléfonos inteligentes para apoyar su funcionamiento. Existen proyectos



*Figura 3. Infraestructura WSN+SCS*

(p.ej. Texier, 2018) que han mostrado los beneficios de esta combinación. La figura 3 ilustra la infraestructura considerada en este proyecto en la que a los componentes clásicos de una WSN se les superponen nodos móviles, reclutados a través del enfoque SCS.

Los dispositivos móviles pueden aportar al sistema capacidades de procesamiento, comunicación, almacenamiento y monitorización.

Un objetivo inmediato es utilizar la capacidad de comunicación de los dispositivos móviles para aumentar el tiempo de vida útil de la red de sensores e incrementar en consecuencia, al menos temporalmente, la cantidad de datos recolectados en el área de interés.

Actualmente se cuenta con un modelo de simulación en donde se ha considerado que los dispositivos móviles pueden auxiliar a los sensores con el encaminamiento de datos hacia el nodo recolector. Los resultados preliminares de esta estrategia sobre el

tiempo de vida de la red han resultado ser alentadores.

### **Conclusiones y comentarios finales**

El *spatial crowdsourcing* ha mostrado ser una solución aplicable a una multitud de problemas. Esta estrategia permite la realización cooperativa de tareas en una región que puede ser sumamente extensa y a un costo que puede ser muy bajo. En este artículo hemos descrito el paradigma e ilustrado su enorme potencial a través de una breve descripción de algunas áreas de aplicación. Actualmente este tema es de gran interés en investigación y para el desarrollo de nuevas aplicaciones. Como muestra de ello, hemos presentado un par de trabajos actualmente en desarrollo por estudiantes de doctorado de la UAM Iztapalapa.

### **Referencias**

Axelrod, R. y Hamilton, W. D., The evolution of cooperation. *Science*, 211[4489], pp.1390-1396, 1981. Disponible en: DOI: 10.1126/science.7466396

Texier, G. y Issarny, V., Leveraging the Power of the Crowd and Offloading Urban IoT Networks to Extend their Lifetime. *2018-IEEE International Symposium on Local and Metropolitan Area Networks (LANMAN)*, pp.104-109, 2018. Disponible en: DOI: 10.1109/LANMAN.2018.8475050

Tong, Y., Zhou, Z., Zeng, Y. et al., Spatial crowdsourcing: a survey. *The VLDB Journal*, 29[1], pp.217–250, 2020. Disponible en: DOI: 10.1007/s00778-019-00568-7