

# Utilización de dispositivos móviles como herramienta de sensado en aplicaciones de IoT

**Alumno:** Ing. Juan Francisco Fernández Sosa

Ing. en Computación – UNLP  
jfernandez@lidi.info.unlp.edu.ar

**Director:** Mg. Pablo Javier Thomas

Prof. Asociado. - Facultad de Informática – UNLP  
pthomas@lidi.info.unlp.edu.ar

**Codirector:** Mg. Leonardo Corbalán

Prof. Adjunto. - Facultad de Informática – UNLP  
corbalan@lidi.info.unlp.edu.ar



**Trabajo Final presentado para obtener el grado de**

**Especialista en Ingeniería de Software**

Facultad de Informática

Universidad Nacional de La Plata

Abril 2021

## **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional de La Plata y al III-LIDI por permitirme realizar este trabajo y alcanzar los estudios de postgrado.

Al equipo de móviles del III-LIDI donde siempre encontré palabras de aliento y motivación para seguir creciendo profesionalmente.

Finalmente le agradezco y le dedico este trabajo a Victoria, por acompañarme a lo largo de todo este proceso.

# Índice de contenidos

Introducción	5
Organización del trabajo	6
Capítulo 1. Internet de las Cosas	8
1.1 Elementos de un sistema IoT	10
1.2 Arquitectura IoT	12
1.3 Uso de dispositivos móviles en IoT	16
Capítulo 2. Dispositivos móviles	20
2.1 Evolución de las tecnologías de comunicación móvil	21
2.2 Evolución del Software y Hardware	25
2.3 Sensores	31
2.3.1 Micrófono	32
2.3.2 GPS	32
2.3.3 Cámara fotográfica	32
2.3.4 Sensores de movimiento: acelerómetro, giroscopio y magnetómetro	33
2.3.5 Proximidad e iluminación	34
2.3.6 Barómetro	34
Capítulo 3. Sensado con dispositivos móviles	36
3.1 Redes de sensores inalámbricas (WSN)	36
3.2 Dispositivos móviles como dispositivos sensores	38
3.3 Componentes en sistemas de sensado móvil	38
3.4 Clasificación de los sistemas de sensado móvil	39
3.5 Reclutamiento de participantes	41
3.6 Incentivos	42
3.6.1 Monetarios	44

3.6.2 No monetarios	44
3.7 Aplicaciones de sensado móvil	45
3.7.1 Ejemplos de aplicaciones centradas en las personas	45
3.7.2 Ejemplos de aplicaciones centradas en el ambiente	47
Capítulo 4. Diseño de sistema de sensado móvil	54
4.1 Descripción y alcance del sistema	54
4.1.1 Selección de participantes e inventivos	56
4.1.2 Alcance del prototipo de software	56
4.1.3 Requerimientos funcionales	57
4.1.4 Roles y características de los usuarios	58
4.2 Aspectos técnicos	59
4.3 Interfaces gráficas	60
Capítulo 5. Conclusiones y trabajo futuro	64
Referencias	67

# Introducción

Los smartphones se han transformado en dispositivos sumamente importantes para el desarrollo del estilo de vida de la sociedad moderna, sobre todo, teniendo en consideración la gran cantidad y variedad de servicios que éstos pueden ofrecer para ayudar a resolver problemas de la cotidianidad en el mundo actual.

A partir de su llegada al mercado, estos dispositivos han presentado un crecimiento constante en cuanto a sus capacidades de procesamiento, almacenamiento y comunicación. En las últimas dos décadas, los smartphones han incorporado diferentes sensores que les permite percibir datos de diferente naturaleza y utilizar esta información para mejorar la experiencia del usuario con el dispositivo. Sin embargo, dichos datos y su procesamiento (por ejemplo aquellos captados por la cámara, micrófono, sensores de movimiento y GPS) pueden ser utilizados para inferir o comprender el contexto de una persona, ya sea a ella misma o al ambiente que la rodea. Asimismo, estos dispositivos ampliaron su capacidad para anexar otros sensores externos de propósitos específicos, expandiendo la variedad de datos que éstos pueden percibir.

El potencial de los smartphones en cuanto al procesamiento, almacenamiento y sensado lo convierte en un dispositivo central en la escena del Internet de las Cosas (IoT), siendo capaces de recopilar y explotar datos de las personas y su entorno. En las aplicaciones del IoT estos dispositivos suelen ser responsables de procesar información, transmitirla y hacerla accesible, mientras que la tarea de sensado es ejecutada por otros dispositivos electrónicos específicos. Ejemplos de lo anterior se encuentran en aplicaciones destinadas a la domótica, redes de sensado inalámbricas para el monitoreo ambiental, monitoreo del tránsito, entre otros.

Los nuevos y mejores sensores presentes en los smartphones pueden ser utilizados como fuente de datos en aplicaciones de IoT, expandiendo el uso de estos dispositivos sobre este dominio. Por ejemplo se puede aprovechar la gran presencia y despliegue que existe en el mundo de estos dispositivos para crear redes de sensado a gran escala, en donde los smartphones cumplen el rol de nodos de dichas redes. Para cumplir dicho rol, estos terminales se valen de su habilidad de conocer su entorno, procesar y transmitir

datos a Internet. Esto trae nuevas oportunidades para ser aplicados en áreas como la salud, educación, seguridad, comercio electrónico, monitoreo ambiental, entre otros.

Este trabajo tiene como objetivo el estudio del uso de dispositivos móviles como plataforma o componente de sensado, conocida en la literatura como “mobile sensing”. Dicha área hace hincapié en la capacidad de percepción contextual de estos dispositivos para crear redes de sensado a nivel personal, grupal y comunitario presentando un sin fin de oportunidades.

El sensado con dispositivos móviles puede tener como objeto de estudio a las personas, por ejemplo documentando actividades cotidianas, monitoreando su salud y bienestar, entre otras; o bien, centrarse en el estudio del ambiente al desplegar redes de sensado para el monitoreo de condiciones ambientales. Por otra parte, los sistemas de sensado también proponen diferentes mecanismos de selección de participantes e incentivos para los mismos a modo de lograr datos de mayor calidad.

En base a los conceptos teóricos estudiados sobre el sensado con dispositivos móviles, se presenta luego el diseño y descripción de un nuevo sistema para el sensado móvil. Para dicho sistema se desarrolló un prototipo de software cuyos detalles de implementación se discuten también al final de este trabajo.

## **Organización del trabajo**

- En el capítulo 1 se introduce el concepto del Internet de Las Cosas, se presentan diferentes arquitecturas y elementos que componen los sistemas en este paradigma. Finalmente se discute el uso del smartphone en el IoT.
- En el capítulo 2 se realiza una revisión histórica sobre la evolución de los teléfonos celulares hasta convertirse en los dispositivos de uso común en la actualidad. Se repasan diferentes hitos referidos al avances de las tecnologías de comunicación inalámbricas, hardware y software empleado en la construcción de estos dispositivos. Para finalizar el capítulo, se discuten diferentes sensores incluidos en los smartphones actuales.
- En el capítulo 3 se profundiza sobre el concepto del sensado con dispositivos móviles, conocido como mobile sensing. Se presenta una comparación con las

redes de sensado inalámbricas tradicionales (WSN), la taxonomía de los sistemas de sensado móvil, reclutamientos e incentivos. Finalmente se mencionan diferentes ejemplos aplicados en esta área de investigación.

- En el capítulo 4 se presenta el diseño y la descripción del nuevo sistema de sensado móvil propuesto en el contexto de este trabajo final integrador. Forma parte de dicho sistema, un prototipo de software para dispositivos móviles, cuyos detalles de implementación se describen también en este capítulo. Se explican el dominio de aplicación, requerimientos funcionales, alcance y tecnologías empleadas para su desarrollo.
- En el capítulo 5 se exponen las conclusiones de la investigación y se plantea el trabajo futuro.
- Finalmente se detalla la bibliografía utilizada para la elaboración del presente trabajo integrador.

# Capítulo 1. Internet de las Cosas

El término “Internet de las Cosas” (IoT) fue acuñado por Kevin Ashton en 1999 con la idea de optimizar la cadena de suministro de Procter & Gamble mediante la utilización de etiquetas de identificación de radio frecuencia (RFID) en sus productos [1]. De esta forma cada producto podría ser identificado y se podría tener un seguimiento del mismo a lo largo de diferentes etapas, desde su producción hasta su posterior venta.

La identificación y seguimiento de productos es sólo una de las aplicaciones o servicios que puede ofrecer el IoT. En la actualidad, el bajo costo de los componentes electrónicos y su miniaturización hacen posible que cada vez más dispositivos electrónicos utilizados en la vida cotidiana tengan capacidad de enviar información a través de internet.

De forma conceptual, el Internet de las Cosas puede definirse como una red de objetos físicos que interactúan entre sí y también con Internet, intercambiando información [2]. Esto plantea una evolución de internet, en donde su acceso deja de ser exclusivo para humanos haciéndose extensivo a diferentes objetos físicos, lo que produce un cambio en el esquema de comunicación. Tradicionalmente en dicho esquema las personas eran las únicas encargadas de producir datos, que luego eran consumidos por otras personas (interacciones H2H o Human to Human) o por una máquina (Interacciones H2M o Human to Machine). En este nuevo paradigma del IoT, los artefactos electrónicos pueden producir e intercambiar información entre sí, tomando decisiones de manera autónoma, proponiendo un modelo de interacción que se da entre dos máquinas (M2M o Machine to Machine) o incluso de una máquina al humano (M2H o Machine to Human) [3].

Los objetos electrónicos cotidianos adquieren cierta inteligencia, por lo que se les suele agregar el adjetivo “smart”. Esta inteligencia se traduce en la capacidad de conocer su entorno mediante la integración de sensores, procesar y transmitir esos datos a internet con el objetivo de brindar servicios, que pueden ser consumidos por personas o por otros objetos que también se encuentran conectados a la red. Estos servicios

permiten la ejecución de múltiples tareas, sin intervención de un humano logrando la optimización de procesos [1] con mejores resultados [4].

En el año 2014, el Internet de las Cosas se convirtió en una tecnología emergente (tal como se muestra en la figura 1) debido a su relevancia tanto en el sector académico como en el mercado. Diferentes avances tecnológicos permitieron que la cantidad de dispositivos conectados a internet crezca de manera exponencial, superando en número en el año 2012 a la población mundial [5], y se espera que en los próximos años esta cantidad ronde entre 25 y 50 mil millones [6]. Dichos avances tecnológicos están relacionados a las nuevas tecnologías de comunicación móviles inalámbricas, el surgimiento del Cloud Computing y al abaratamiento de costos y miniaturización de componentes electrónicos [7].

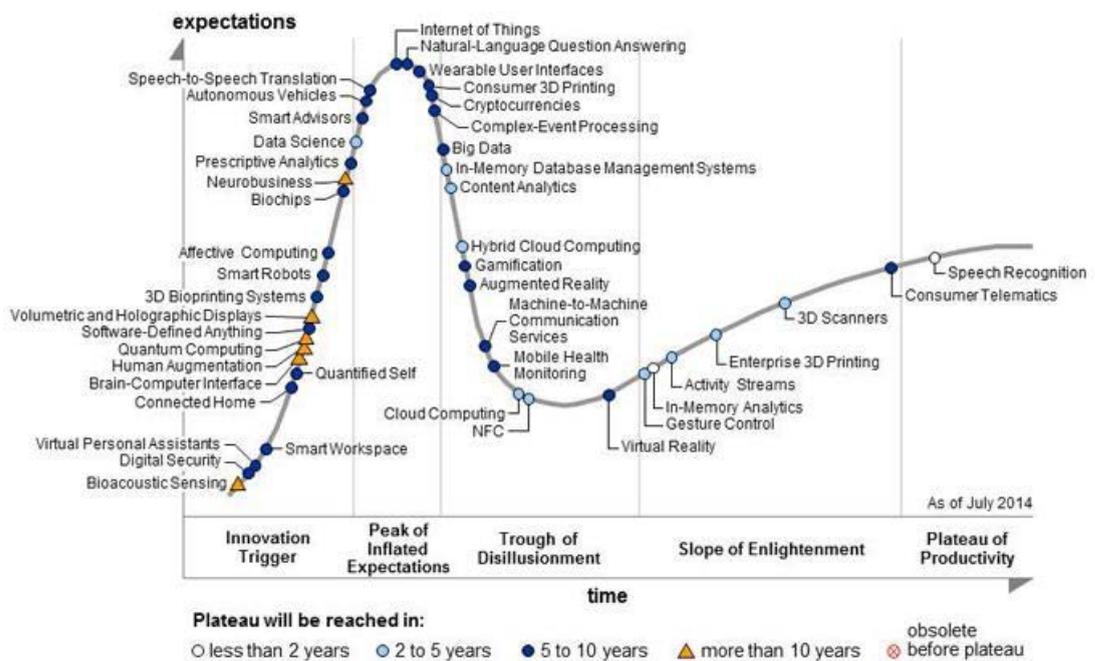


Fig 1. *Hype-Cycle* de tecnologías emergentes, provisto por Gartner<sup>1</sup>.

En la actualidad el IoT ofrece soluciones en multiplicidad de dominios. Sumado a la automatización industrial y a los beneficios en el campo de la manufactura, el IoT se

<sup>1</sup> Hype Cycle for Emerging Technologies, 2014  
<https://www.gartner.com/en/documents/2809728/hype-cycle-for-emerging-technologies-2014>

utiliza en aplicaciones de monitoreo ambiental: en donde redes de sensores recolectan datos tales como temperatura, humedad, el estado de los ríos, detección de gases, además de permitir tener datos en áreas que resultan hostiles para las personas [8].

Uno de los dominios de aplicación del IoT más difundido y conocido en la sociedad es “ambientes inteligentes”, esto incluye a casas inteligentes, edificios inteligentes y ciudades inteligentes [9]. En las casas y edificios inteligentes diferentes variables son monitoreadas y controladas de acuerdo a las necesidades y expectativas de los usuarios (luz, temperatura, agua, entre otras) [10]. En las ciudades inteligentes se busca hacer mejor uso de los recursos públicos, incrementando la cantidad y calidad de los servicios ofrecidos a los ciudadanos, reduciendo los costos operacionales de la administración pública [11].

## 1.1 Elementos de un sistema IoT

Para poder explotar todo su potencial, los sistemas IoT deben contar con seis elementos o características [4][12]:

1. **Identificación:** Cada objeto físico que se quiera conectar y comunicar con otros a través de una red, debe poder ser identificado. Dicha identificación consiste en otorgar a cada dispositivo un nombre y una dirección. El nombre puede repetirse entre distintos dispositivos y para este fin se utilizan mecanismos tales como Código Electrónico de Producto (EPC) y *ubiquitous code* (uCode). Por el contrario, las direcciones deben ser únicas para cada dispositivo en la red y se utilizan los protocolos IPv4 e IPv6 [13].

2. **Sensado:** El sensado es el proceso que le permite a un dispositivo capturar datos de su entorno. En IoT estos datos se digitalizan para poder ser almacenados, analizados y procesados de forma local al dispositivo o en la nube.

Existen sensores que permiten obtener información de las personas, como es el caso de los sensores wearables, y otros que permiten capturar información del ambiente, como puede ser la temperatura, húmeda, detección de gases, entre otros.

3. **Comunicación:** Uno de los objetivos principales del IoT es lograr la conexión y comunicación de múltiples dispositivos, que no necesariamente presentan características similares o fueron producidos por el mismo fabricante. Existen diferentes estándares y

tecnologías de comunicación que se pueden emplear: Radio Frequency Identification (RFID), Near Field Communication (NFC), Bluetooth, Wi-Fi, Long Term Evolution (LTE), etc. La elección de un estándar u otro dependerá de las características de la red (distancia de los dispositivos, tipo de información a transmitir, eficiencia energética, etc).

4. **Procesamiento:** En IoT el procesamiento de datos se puede realizar de manera local en el dispositivo, lo que permite filtrar y procesar la información recolectada por sus sensores. Existen plataformas de hardware y software específicas para esta tarea. Del lado del hardware se utilizan microcontroladores y microprocesadores tales como Arduino, Intel Galileo, Raspberry PI y FriendlyARM. En el caso del Software se encuentran Sistemas Operativos de tiempo real (RTOS) tales como TinyOS y LiteOS. Además del procesamiento local, también se recurre al procesamiento remoto en la nube en donde se procesan y analizan todos los datos de los diferentes dispositivos que componen la red.

5. **Servicios:** Los sistemas de IoT ofrecen 4 categorías diferentes de servicios, en el orden que se listan, cada uno amplía las funcionalidades del anterior:

- a. **Servicios relacionados a la identidad:** son de los más simples e importantes para aplicaciones de IoT ya que permiten la identificación de cada dispositivo físico dentro de la red, y esto a su vez permite acceder a información del mismo. Por ejemplo con la utilización de etiquetas RFID y la interacción con un servidor, un dispositivo lector puede obtener información sobre cada dispositivo dentro del sistema [14].
- b. **Servicios de agregación:** son aquellos servicios que recolectan datos de diferentes sensores de la red, se encargan de procesar dichos datos y presentar los resultados al usuario que lo requiera [15]. Se pueden emplear diferentes protocolos de comunicación dependiendo del dispositivo al que se quiere acceder. Las aplicaciones destinadas a la salud suelen emplear estos servicios.
- c. **Servicios colaborativos:** el propósito de este tipo de servicio es tomar decisiones en base a los datos procesados por los servicios de agregación.

En este tipo de servicios se establecen interacciones del tipo M2M y M2H dependiendo de quién requiera los resultados. Se emplea en casas inteligentes, ciudades inteligentes, automatización industrial, entre otros.

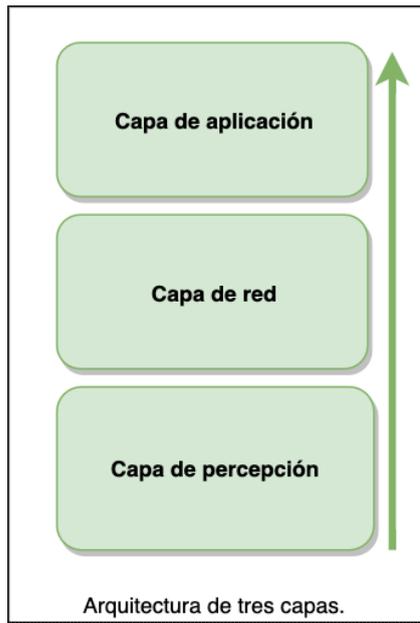
- d. **Servicios ubicuos:** lograr prestar este tipo de servicio es el objetivo del Internet de las Cosas y consiste en la capacidad del sistema en brindar acceso a los servicios anteriores en cualquier momento y desde cualquier lugar.

**6. Semántica:** Este elemento se encarga de aplicar tecnologías semánticas para extraer conocimiento de manera inteligente del universo de datos proporcionados por los diferentes dispositivos del sistema IoT. Esto permite lograr la interoperabilidad, procesos automatizados, modelado de información entre otras [16]. Ejemplos de tecnologías semánticas son el Lenguaje Web Ontológico (OWL), Framework para la Descripción de Recursos (RDF) y el Formato de intercambio eficiente de XML (EXI) [12].

## 1.2 Arquitectura IoT

La arquitectura para sistemas de IoT está descrita como una arquitectura en capas, dividiendo el sistema en capas funcionales para distinguir y distribuir responsabilidades a lo largo del sistema. Dicha arquitectura debe cumplir ciertos requerimientos como son la flexibilidad, escalabilidad, seguridad e interoperabilidad debido al universo heterogéneo de dispositivos disponibles en estos sistemas. Otros factores que debe tener una arquitectura son la confiabilidad en el almacenamiento y calidad de servicio [17].

Si bien no existe un estándar universal para describir la arquitectura para sistemas de IoT, algunas propuestas son ampliamente aceptadas por los investigadores en el área. Originalmente se propuso una arquitectura de 3 capas: capa de percepción, capa de red y capa de aplicación (Figura 2) [4].



**Figura 2.** Arquitectura de tres capas para sistemas IoT.

La capa de percepción es la responsable de la digitalización del mundo real, en ella se encuentran dispositivos físicos tales como sensores y actuadores que pueden recolectar distintos tipos de datos dependiendo del dominio de aplicación, como por ejemplo: temperatura, humedad, geoubicación, entre otros. Dichos datos son digitalizados y enviados a la capa de red para un posterior procesamiento.

Los desafíos que se presentan en esta capa son la miniaturización de sus componentes, el bajo consumo y el costo [18]. Por otro lado, en aspectos relacionados con la seguridad, esta capa es el objetivo de la mayoría de los ataques que buscan reemplazar la información de los sensores por otros datos. La mayoría de las amenazas se presentan en los propios sensores, algunas de ellas son espionaje, control de nodos, nodos falsos y maliciosos, denegación de servicio, etc [7].

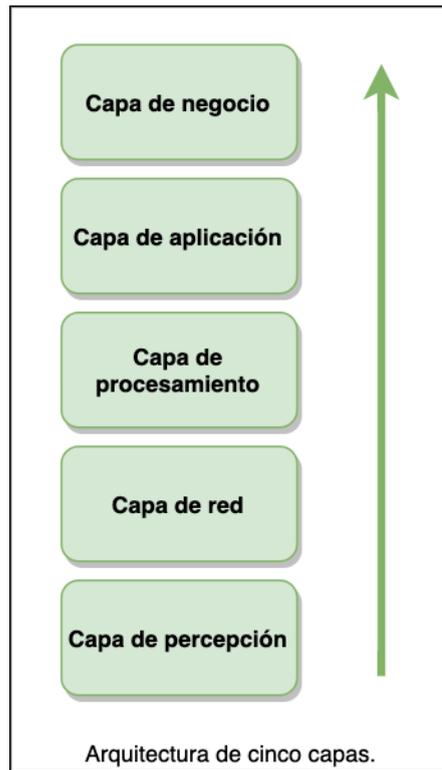
La capa de red tiene la responsabilidad de transportar y transmitir los datos recopilados por la capa de percepción a la capa de aplicación. Sin embargo, también es responsable de la comunicación y conexión entre los objetos físicos del sistema IoT [4], el filtrado y la agregación de los datos [19]. El medio de comunicación puede ser alámbrico o inalámbrico, de corto y de largo alcance. Las tecnologías comunes de comunicación son RFID, ZigBee, WPAN, WiFi, LTE, BLE, LAN, WAN, entre otras [18] [20].

Al igual que en la capa de percepción, esta capa también es susceptible de ataques externos, característica que es inherente a todas las capas de la arquitectura [19].

La última capa de esta arquitectura es la capa de aplicación. Dicha capa provee servicios que son solicitados por los usuarios. Aquellas aplicaciones que utilizan tecnología IoT están definidas en esta capa, como pueden ser: casas inteligentes, ciudades inteligentes, salud inteligente, seguimiento de animales [4], transporte y automatización industrial [12]. Es la responsable de garantizar la integridad, confidencialidad y autenticidad de los datos [19]. Permite la comunicación entre procesos utilizando, por ejemplo, protocolos como HTTP, MQTT, CoAP, Web Socket y XMPP.

La arquitectura de tres capas es la más básica de las arquitecturas propuestas para IoT, que basta para exponer la idea principal del Internet de las Cosas: recopilar información del entorno, transmitir los datos a través de internet y permitir el acceso a estos datos por parte de usuarios u otros dispositivos. Sin embargo, como consecuencia del gran crecimiento que tuvo esta área en los últimos años, esta arquitectura no es suficiente para cubrir otros aspectos que fueron surgiendo con las nuevas tecnologías [17] [21].

Con el transcurso del tiempo, se propusieron nuevas arquitecturas agregando más capas para responder a las nuevas demandas. Una de las más aceptadas es la arquitectura de cinco capas (Figura 3) que pretende resolver problemas de seguridad y almacenamiento [4].



**Figura 3.** Arquitectura de cinco capas para sistemas IoT.

La arquitectura de cinco capas agrega a la de tres, las capas de procesamiento y la de negocio. La primera se posiciona sobre la capa de red a fin de almacenar, procesar y analizar el volumen de datos generados en la capa de percepción [12]. Al tener que manejar y manipular grandes volúmenes de datos, en esta capa se utilizan tecnologías como Software de bases de datos, procesamiento inteligente, computación en la nube, computación ubicua, entre otros [16]. Tener que manipular grandes cantidades de datos puede perjudicar la performance de sistemas IoT, esta capa pretende solucionar eso.

La segunda capa que se agrega en esta arquitectura es la de negocios, también llamada capa de presentación. Dicha capa se encuentra por encima de la capa de aplicación y tiene como objetivo el manejo y coordinación de todo el sistema IoT y sus aplicaciones. Presenta un nivel superior de análisis y reporte (modelo de negocio, gráficas, etc) [12]. Permite la toma de decisiones a partir del análisis de grandes volúmenes de datos. Por último esta capa agrega un nivel de privacidad para el usuario.

### 1.3 Uso de dispositivos móviles en IoT

Como se expuso anteriormente, los sistemas en el Internet de las Cosas están compuestos por diferentes componentes, entre ellos la identificación, sensado, comunicación, procesamiento y servicios. En la actualidad, el smartphone es un dispositivo que cumple con dichos componentes, colocándolo en el centro de la escena del IoT [7] como se ilustra en la figura 4.

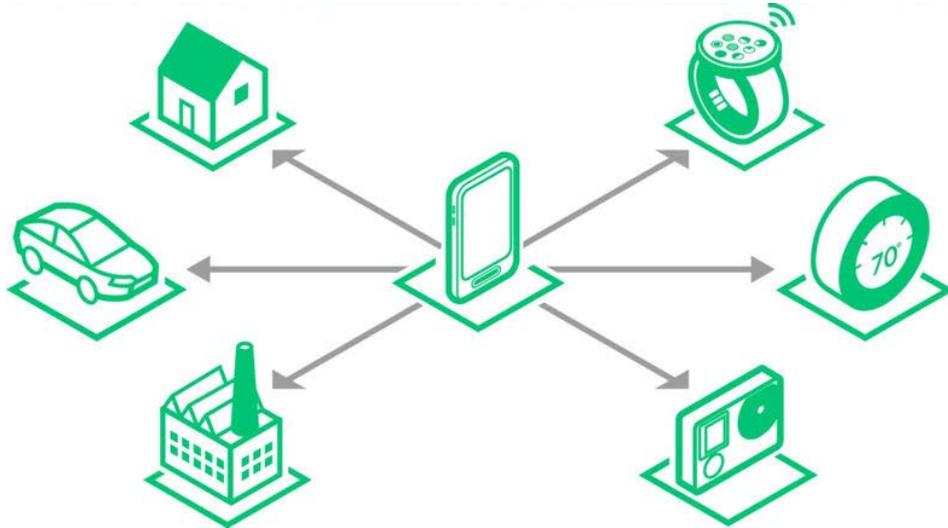
Estos dispositivos fueron incorporando con el tiempo diferentes sensores que le permiten generar grandes cantidades de datos estructurados -sensores de movimiento, GPS, entre otros- y no estructurados como por ejemplo fotografías, audio y video [7]. Por otra parte, implementan diferentes tecnologías de comunicación inalámbricas que les permite conectar e intercambiar información con otros dispositivos y enviar dicha información a través de internet. Dentro de estas tecnologías se encuentran Bluetooth, NFC, WiFi, redes celulares 3G, 4G y 5G [7].

La reducción de costos de los componentes electrónicos incluidos en los smartphones permitieron aumentar su capacidad de procesamiento y de memoria, lo que les brinda la capacidad de procesar y almacenar datos de manera local. Sumado a esto, se posibilitó la ejecución de sistemas operativos especializados, siendo Android e iOS los de mayor popularidad. Dichos sistemas operativos pueden ofrecer diferentes servicios mediante la ejecución de aplicaciones de software -apps-.

En [22] se plantea un rol de mayor protagonismo de los smartphones dentro del ecosistema del IoT, considerándolos como una unidad central de procesamiento, que puede reemplazar a los microcontroladores utilizados en aplicaciones del Internet de las Cosas. Entre las características que posibilitan esto, se resaltan:

- fácil despliegue de una red de sensores
- capacidad de procesamiento superior a la de los microcontroladores empleados en aplicaciones IoT
- capacidad de conectarse e intercambiar información con un universo heterogéneo de sensores externos
- conectividad inmediata a internet

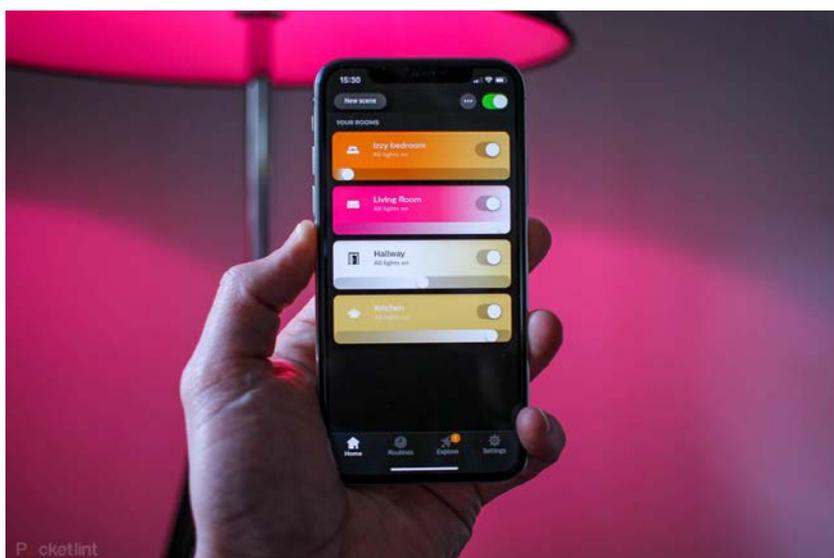
- capacidad de estos dispositivos para ejecutar y adaptar aplicaciones de software para múltiples dominios en un mismo dispositivo.



**Fig 4.** Smartphone y su rol central en aplicaciones de IoT, extraída de [23]

Dependiendo de qué características se exploten de estos dispositivos, su uso puede variar en diferentes aplicaciones del Internet de las Cosas. Por ejemplo, en domótica y casas inteligentes, los productos que se pueden encontrar en el mercado generalmente incluyen una app que permite extender las funcionalidades, como por ejemplo controlar dichos dispositivos de manera remota.

Citando algunos casos concretos, se puede mencionar las lámparas inteligentes *Philips Hue* [24] que ofrecen una app, como se muestra en la figura 5, que permite a los usuarios poder encender, apagar, regular la intensidad y cambiar el color de las mismas de manera remota a través de Internet.



**Fig 5.** Aplicación para la utilización de lámparas Philips Hue.

Otro ejemplo en domótica son las cerraduras inteligentes, como las *Glue Lock* [25] las cuales ofrecen una aplicación específica para bloquear y desbloquear las cerraduras de manera remota. Además, permite conocer su estado -bloqueada o desbloqueada- y recibir alertas en el mismo dispositivo móvil cuando ésta permanece abierta por mucho tiempo.



**Fig 6.** *Glue Smart Door Lock* y su aplicación móvil.

En el dominio de la agricultura y cultivos inteligentes, se utiliza el IoT para poder estudiar y monitorizar en tiempo real diferentes parámetros de los cultivos, el suelo y el medio ambiente [26]. Esto se lleva a cabo mediante el despliegue de múltiples dispositivos IoT específicos, por ejemplo sensores de temperatura, humedad, etc. El conjunto de estos dispositivos conforma una red de sensores inalámbrica (WSN de sus siglas en inglés). Los usuarios acceden a los datos recolectados por internet desde una aplicación de software específica, en la cual a partir de estos datos se genera conocimiento para el usuario y puede accionar según corresponda.

Estos son sólo algunos de los numerosos ejemplos que aprovechan la capacidad de almacenamiento, comunicación y procesamiento de los smartphones, ubicando a este dispositivo en la capa de aplicación de las arquitecturas discutida en la sección anterior. Sin embargo, como se anticipó al inicio, dichos dispositivos cuentan con una creciente capacidad de percepción contextual, a partir de la incorporación de nuevos y mejores sensores, permitiendo desempeñar un rol más complejo y activo de estos dispositivos móviles en el Internet de las Cosas, ubicándolos también dentro de la capa de percepción.

Como se verá en detalle en el capítulo 3, hacer uso de estas características de percepción contextual de los smartphones, extiende aún más las posibilidades de nuevas aplicaciones y servicios. Estas nuevas oportunidades pueden enfocarse en explotar datos recopilados de personas y/o del entorno de éstas. En el primer caso las aplicaciones se encuentran enfocadas en su mayoría al monitoreo del estado de salud de las personas (IoT Personal) [7]. En el segundo de los casos se aprovecha la gran cantidad de smartphones que ya se encuentra en la sociedad, y se explota las capacidades sensoriales de estos dispositivos para estudiar fenómenos ambientales de gran escala. Diferentes aplicaciones de software específicas pueden instalarse en estos dispositivos y recolectar información como una red de sensado inalámbrica, generando soluciones IoT de manera colaborativa y/o grupal.

## Capítulo 2. Dispositivos móviles

El término “dispositivo móvil” describe computadoras de mano diseñadas en términos de portabilidad, que presentan capacidad de procesamiento, almacenamiento, conexión a alguna red y comunicación [27]. Dichos dispositivos son diseñados con una función específica, sin embargo también ofrecen otras funcionalidades genéricas.

A lo largo del tiempo han surgido diferentes dispositivos móviles que se adaptaron a las demandas del mercado y necesidades de las personas. Esto permitió evidenciar dispositivos con múltiples características, por ejemplo diferentes tamaños y tecnologías de pantalla, sensores, capacidad de procesamiento y memoria interna. Actualmente existe una amplia oferta en el mercado que incluyen a los smartphones, tablets, e-readers y dispositivos wearables, algunos de ellos representados en la figura 7.



**Fig. 7.** Ejemplos de dispositivos móviles.

Este trabajo se focaliza en el smartphone, el cual representa al dispositivo móvil de mayor adopción y popularidad dentro de la sociedad. Según el portal online de estadísticas Statista, la cantidad de personas poseedoras de un smartphone a nivel mundial fue creciendo año a año llegando en el 2020 a 3.5 mil millones y proyectando 3.8 mil millones para el 2021 [28]. Además, como se mencionó en el capítulo anterior,

el conjunto de características que ofrecen estos terminales, los convierte en un dispositivo central en la escena del Internet de las Cosas.

En este capítulo se describirán diferentes avances tecnológicos que se dieron en áreas fundamentales como las tecnologías de comunicación móviles inalámbricas, hardware y software. Este acompañamiento tecnológico permitió que en sólo 40 años, la sociedad se vea beneficiada de un dispositivo que presenta mayor capacidad de procesamiento que las grandes computadoras de una generación atrás.

## 2.1 Evolución de las tecnologías de comunicación móvil

El inicio de las comunicaciones móviles inalámbricas datan de la Segunda Guerra Mundial. En ese momento, se necesitaba desarrollar un mecanismo que posibilite la comunicación entre tropas de forma inalámbrica. Frente a esto, Motorola fabricó un terminal llamado “Handie Talkie H12-26” -mostrado en la figura 8-, el cual permitió la comunicación por medio de ondas de radio de frecuencias de 60 MHz [29]. Dichos dispositivos tenían un peso aproximado de 16 kg por lo que su traslado se realizaba en automóviles o mochilas.

Inmediatamente después del conflicto bélico, a partir de los años 50 y 60, esta tecnología de comunicación por radio comenzó a aprovecharse en servicios públicos tales como taxis, ambulancias y bomberos utilizando aparatos llamados “Walkie Talkie”.



**Fig 8.** Handie Talkie H12-26

El 17 de julio de 1946 se introdujo el primer estándar de servicio de telefonía móvil (MTS), el cual permitió la conexión y comunicación entre usuarios móviles,

desde sus vehículos, y la red de telefonía pública. La misma era asistida por operadores en ambas direcciones [30].

Estas tecnologías de comunicación por radiofrecuencias conforman lo que se conoce como “generación cero”, predecesora de la primera generación (1G). Algunos protocolos aplicados en esta tecnología son PTT (Push To Talk), AMTS (MTS Avanzado), IMTS (MTS Mejorado), entre otros.

En el año 1973, surge lo que se conoce como la primera generación de redes inalámbricas móviles (1G), las cuales permitían transmitir señales de voz de manera analógica, moduladas en frecuencias más altas que la 0G, de 150mhz. El primer dispositivo del mercado en hacer uso de esta red fue un prototipo del DynaTAC x8000. Las conexiones logradas eran de baja calidad y sin mecanismos de seguridad.

Alrededor del mundo se implementaron diferentes estándares y sistemas en esta tecnología, por ejemplo en EEUU se implementó el sistema AMPS (Analog Mobile Phone Systems), en Europa se adoptó versiones del TACS (Total access communication system), entre otros [31].

El 1G perduró hasta la llegada de la segunda generación de comunicaciones móviles, en donde las señales transmitidas eran digitales logrando enlaces más seguros y de mejor calidad que las analógicas. Además de la voz, este tipo de tecnología de comunicación permitía la transmisión de datos, lo que dio lugar al nacimiento de los SMS, pequeñas cadenas de 160 caracteres que cambiarían la forma en que las personas se comunicarían.

El estándar de comunicación que surge en la segunda generación se conoce como GSM o Sistema Global de Comunicaciones Móviles. Las bandas de frecuencia varían dependiendo del territorio y los dispositivos móviles o terminales podían operar en diferentes países si eran capaces de trabajar con las diferentes frecuencias. Para poder operar dentro la red, los dispositivos contaban con una tarjeta SIM, la cual contiene información de dicho aparato y del usuario. Una de las ventajas presentes en esta tarjeta es que las personas contaban con la libertad de poder cambiar el operador de red sin necesidad de adquirir un nuevo dispositivo.

El Sistema Global de Comunicaciones Móviles logró alcanzar los 2 mil millones de suscriptores a lo largo de 212 países y territorios, lo que permitió incorporar el servicio de roaming y también establecer números de emergencia internacionales. Otros servicios que agrega esta segunda generación son [29]:

- desvíos de llamadas a otro número de la red móvil
- restricción y retención de llamadas
- llamadas en espera
- multiconferencia
- indicador de llamada entrante
- buzón de voz

Las tecnologías móviles siguieron evolucionando, dando lugar a lo que se conoce informalmente como las generaciones 2.5G, con la introducción del GPRS en el año 2001, y la 2.75G, con el surgimiento de la EDGE en el 2003. GPRS es una tecnología de transmisión de datos desarrollada en base al sistema GSM, mejorando las comunicaciones y proveyendo de mejores servicios tales como: Email, WAP (Wireless Application Protocol), mensajes multimedia (audio, imagen, video o la combinación de ellas) y limitado acceso internet. Por su parte, la tecnología EDGE es una tecnología utilizada en la tercera generación, pero al ser un super-set de GPRS, permite operar en la misma a los dispositivos compatibles con GPRS. Dispositivos de segunda generación pueden lograr transmisiones más claras y con mayores velocidades de transferencia (hasta 236.8 Kbps) [32].

La tercera generación de tecnologías para la comunicación móvil inicia en el año 2000, su principal característica es el incremento en la tasa de transmisión de datos (de 144 Kbps a 2 Mbps) y el aumento y optimización del ancho de banda [32]. Este tipo de tecnología permitió a los dispositivos móviles contar con un acceso veloz a internet. Además les permitió ejecutar aplicaciones basadas en la web y la transferencia de archivos de audio y video. Sumado a lo anterior, los dispositivos en una red 3G ofrecen mejores servicios [31] [33]:

- televisión móvil (IPTV)
- videollamadas y videoconferencias
- mensajería multimedia
- videojuegos en 3d
- servicios GPS entre otros.

La cuarta generación o 4G, es la generación de tecnologías móviles inalámbricas contemporáneas que cubre una demanda de mayor velocidad en las conexiones a Internet. Es una extensión de la 3G, aumentando la tasa de transferencia de voz y datos, logrando conexiones estables, de calidad y seguras. En su diseño, las redes 4G tienen la capacidad de transmitir datos a velocidades desde los 100 Mbits/s a 1 Gbits/s. Están basadas íntegramente en el protocolo IP y su arquitectura presenta una combinación de conexiones inalámbricas y por cable (fibra óptica).

La tecnología LTE (Long Term Evolution) es una tecnología que tuvo su debut en el año 2009 y forma parte de las tecnologías de la 4G. LTE se convirtió en un estándar global ofreciendo velocidades de conexión 5 veces mayores que las logradas en redes 3G.

Con esta tecnología se le da soporte a servicios que requieren mayor ancho de banda, por lo que es posible acceder a contenido multimedia enriquecido como los videos de alta definición y también la descarga de información con mayor velocidad. Sumado a lo anterior, los dispositivos 4G pueden acceder a mejores servicios de GPS, juegos online y servicios de la web 2.0 como el e-commerce. El acceso a internet comenzó a ser posible en cualquier momento y desde cualquier lugar. Es algo para destacar que la tecnología 4G permitió dar soporte a estos servicios por una variedad heterogénea de dispositivos como los smartphones, módems USB y dispositivos wearables [34].

Como se mencionó en el apartado del Internet de las Cosas, la cantidad de dispositivos conectados a internet es cada vez mayor y del orden de los miles de millones. Las redes 5G están diseñadas para darle soporte a esta creciente cantidad de dispositivos. Además permiten disminuir el tiempo de latencia o de respuesta en las

comunicaciones [35]. Estas características posibilitan el surgimiento de nuevos servicios, aplicaciones y modelos de negocio.

Actualmente existen 24 países que tienen pequeñas implementaciones de redes 5G. Los pioneros son los países más desarrollados como EEUU, Reino Unido, Alemania, Corea del Sur, Irlanda y España con el trabajo en conjunto entre la industria y la academia.

## 2.2 Evolución del Software y Hardware

En la sección anterior se comentó que uno de los primeros dispositivos utilizado en la primera generación de tecnologías de comunicación inalámbricas fue el DynaTAC x8000. Como puede verse en la figura 9, estos terminales eran voluminosos, pesados y requerían de gran potencia para procesar las señales analógicas por donde se transmitía la voz.

Dichos dispositivos contaban con una batería química de NiCd de gran tamaño la cual demandaba horas de carga para permitir comunicaciones de máximo 60 minutos. La memoria interna de este dispositivo era limitada y su capacidad de almacenamiento permitía guardar algunos pocos contactos y la ejecución de un software para el manejo y control de señales de tiempo real [36].



**Fig 9.** Teléfono celular DynaTAC x8000.

Desde 1993, la digitalización de las comunicaciones permitió incorporar en los teléfonos celulares microprocesadores y adoptar posteriormente baterías de ion litio, lo que significó una reducción de su tamaño, aumento en su autonomía de funcionamiento y reducción costos de fabricación, convirtiéndolos en dispositivos más accesibles para los usuarios [31].

Desde el punto de vista del hardware, el proceso histórico de evolución de los teléfonos celulares se apoyó en la Ley de Moore, la cual estimaba que la densidad circuital y el poder de procesamiento de los circuitos integrados se duplicaría cada año. Este crecimiento impactó en el rendimiento de dichos circuitos y permitió expandir las funcionalidades, características y servicios que ofrecían los dispositivos que los utilizaban [37].

Los microprocesadores evolucionaron con la misma velocidad, logrando diferentes cualidades entre las cuales se pueden mencionar [38]: capacidad para manejar mayor cantidad de memoria; ejecución de diferentes aplicaciones de software; desarrollo de interfaces de usuario más complejas; sistemas operativos especializados; nuevas interfaces de comunicación inalámbricas, entre otras. En la tabla 1 pueden verse algunos ejemplos de características de hardware que fueron incorporando los teléfonos celulares con el paso del tiempo.

Asimismo, la capacidad de almacenamiento en los dispositivos móviles también evolucionó a un ritmo comparable con la Ley de Moore, duplicando su capacidad cada año. En poco tiempo, el orden de almacenamiento se incrementó de unos pocos Megabytes (MB) a los Gigabytes (GB), posibilitando el almacenamiento de diferentes archivos multimedia como fotografías, videos, audios, entre otros [45].

Otra característica respecto al hardware con tendencia creciente en los teléfonos celulares, es la incorporación de diferentes sensores, en principio para mejorar la experiencia de los usuarios con estas terminales. En la actualidad, estos dispositivos pueden incorporar sensores mecánicos/magnéticos, ambientales, de ubicación, movimiento, imágenes, proximidad, acústicos, ópticos y de fuerza [43], los cuales serán detallados en la siguiente sección.

**Tabla 1.** Incorporación de características de hardware en teléfonos celulares.  
 Datos extraídos de [44]

<b>Año</b>	<b>Características incorporadas</b>	<b>Dispositivo</b>
1998	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Transmisión de datos por Infrarrojo.</li> </ul>	Nokia 8810
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Pantalla LED a color</li> </ul>	Siemens S10
1999	<ul style="list-style-type: none"> <li>● GPS</li> </ul>	Benefon Esc!
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Capacidad de reproducir archivos en formato MP3</li> </ul>	Samsung SPH-M100
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Navegador WAP</li> </ul>	Nokia 7110
2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Cámara integrada de 0.1 Mpx</li> <li>● Display de 256 colores</li> </ul>	Sharp J-SH04
2001	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Bluetooth 1.0</li> </ul>	Ericsson T39
2004	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Cámara frontal aprovechada de 0.3 Mpx</li> <li>● USB</li> </ul>	Motorola A845
2005	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Bluetooth 1.2</li> <li>● Cámara de 1Mpx</li> <li>● Receptor GPS</li> <li>● Tarjetas de memoria externa SD (<i>Secure Digital</i>)</li> </ul>	Treo 700w
2007	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Cámara de 2 Mpx.</li> <li>● Incorporación de sensores (acelerómetro, proximidad, luz ambiental)</li> <li>● Conexión WiFi</li> <li>● Bluetooth v2</li> <li>● USB 2</li> <li>● Pantalla multitouch</li> </ul>	iPhone
2011	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Procesador Snapdragon 1Ghz</li> <li>● Doble cámara (8 Mpx y 1.3Mpx)</li> <li>● Brújula digital</li> <li>● Giroscopio</li> </ul>	HTC Evo 4G

2011	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Bluetooth 4.0</li> </ul>	iPhone 4S
2012	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Barómetro</li> <li>● NFC</li> <li>● USB OTG</li> </ul>	Samsung Galaxy SIII
2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Seguridad biométrica: detector de huellas dactilares</li> </ul>	iPhone 5S
2015	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Seguridad biométrica: reconocimiento de Iris</li> </ul>	Fujitsu Arrows NX F-04G
2017	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Seguridad biométrica: reconocimiento facial</li> </ul>	iPhone X

El software más importante que es ejecutado por los dispositivos móviles es el sistema operativo, el cual permite el control y utilización de estos dispositivos. Este tipo de software se vió forzado a adaptarse a las nuevas prestaciones/características ofrecidas por el hardware y a los nuevos servicios provistos por las tecnologías de comunicación mencionadas en la sección anterior. De este modo, los sistemas operativos comenzaron a ofrecer otros tipos de servicios además de los específicos de comunicación, como por ejemplo: alarma, reloj, calendario, calculadora, juegos, entre otros [39].

Dichas funcionalidades se ofrecían también en otros dispositivos móviles conocidos como asistentes personales o PDAs. Estos aparatos contaban con aplicativos orientados a la productividad y contaban con un sistema operativo tipo ROM-DOS, entre los cuales se pueden mencionar el Palm OS y Newton OS, capaces de proveer interfaces gráficas controladas a través de pantallas táctiles y botones. Los teléfonos celulares comenzaron a copiar este esquema y a extender sus funcionalidades. Así en 1994 aparece en el mercado el IBM Simon, primer dispositivo en combinar las funcionalidades de un teléfono celular con las de un asistente personal (Figura 10).



**Fig 10.** IBM Simon, primer teléfono celular en incluir funcionalidades ofrecidas por las asistentes personales (PDAs).

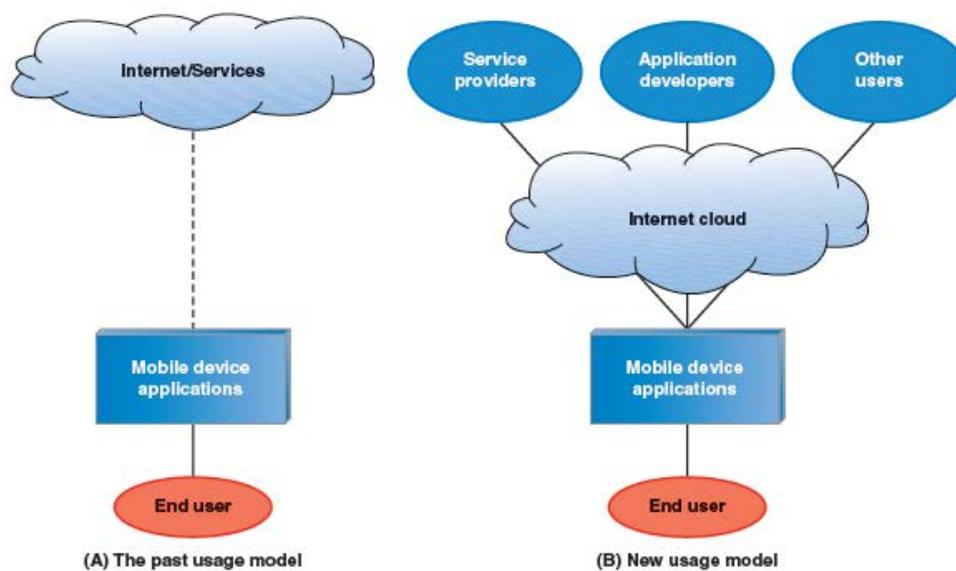
Las aplicaciones de software que traían los dispositivos en ese momento eran desarrolladas por los mismos fabricantes de las terminales y almacenadas en la memoria ROM, por lo tanto, los usuarios no contaban con la flexibilidad para incorporar nuevas o eliminar aquellas existentes, sino que cada nuevo dispositivo traía consigo otras diferentes. El uso que se podía hacer estaba limitado a los servicios provistos por el fabricante a través de aplicaciones de base preinstaladas (Fig 11A).

Con las redes 2.5G estos dispositivos comenzaron a tener acceso veloz a internet y con mayor capacidad, por lo que se comenzó a gestar la idea del desarrollo de aplicaciones de software basadas en internet. Este tipo de aplicativo podría ofrecer contenido más dinámico y junto a esto, más y mejores servicios a los usuarios. Esto impactaría años más tarde en la forma en la que los usuarios podrían acceder a nuevas aplicaciones y servicios, expandiendo y personalizando sus dispositivos móviles.

En el año 2007 la introducción en el mercado del iPhone significó la transformación de los teléfonos celulares en smartphones. Este dispositivo contaba con un sistema operativo llamado iOS el cual -entre otras características como se mencionó en la tabla 1- ofrecía la posibilidad de acceder a aplicaciones de software (apps) dinámicas basadas en internet a través de su tienda virtual (App Store) [40]. Dicho

esquema para la obtención y distribución de aplicativos fue replicado por los demás fabricantes de dispositivos móviles dando lugar a nuevas tiendas [41]. El Sistema Operativo Android fue lanzado a principios del 2008.

Este nuevo enfoque para la obtención y distribución de aplicaciones, permite que el contenido al que se pueda acceder no dependa del fabricante del dispositivo, sino que abre el paso a nuevos agentes que buscan interactuar con los usuarios (ver figura 11B) [42]. El usuario puede personalizar su dispositivo instalando diferentes aplicaciones de software, sin tener que cambiar el dispositivo físico.



**Fig 11.** Modelos de uso en alto nivel de los dispositivos móviles, extraída de [42]

El desarrollo de aplicaciones de software para dispositivos móviles comprende un área de gran interés en el ámbito académico y en el mercado. En la actualidad, los usuarios pueden acceder a las aplicaciones de diferentes formas:

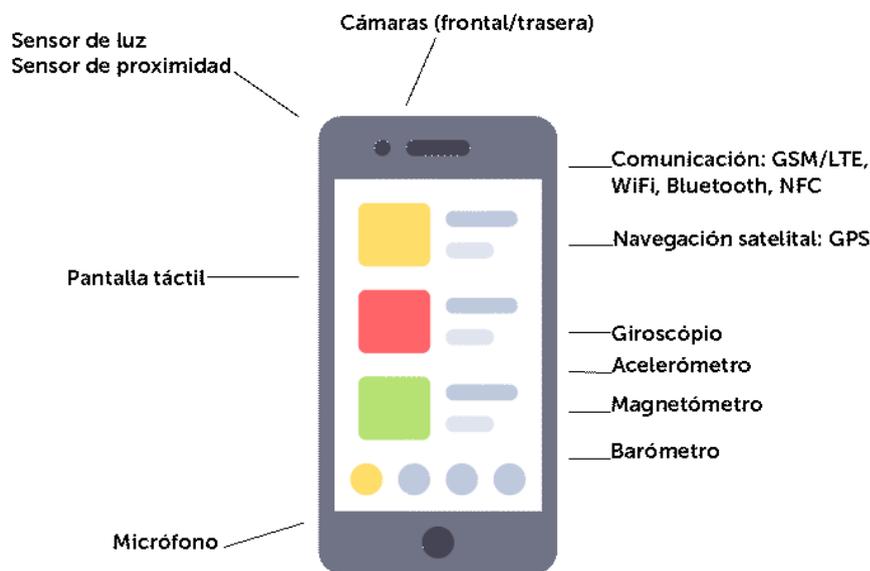
- aplicaciones de base pre-instaladas en los propios dispositivos, desarrolladas por los fabricantes de los mismos
- aplicaciones desarrolladas por usuarios o empresas que pueden ser descargadas e instaladas en los dispositivos a través de la tienda de aplicaciones
- aplicaciones móviles que son accedidas a través de un navegador web, por ejemplo las PWA

## 2.3 Sensores

Los smartphones que se pueden encontrar actualmente en el mercado, traen incorporados una gran diversidad de sensores, los cuales pueden variar entre diferentes fabricantes como también entre diferentes modelos ofrecidos por un mismo fabricante. Estos dispositivos electrónicos permiten captar información del mundo físico, y de este modo detectar acciones y estímulos externos para actuar consecuentemente.

En general, como se adelantó anteriormente, el conjunto de sensores que se pueden encontrar en estos dispositivos está conformado por sensores mecánicos/magnéticos, ambientales, de ubicación, movimiento, imágenes, proximidad, acústicos, ópticos y de fuerza [43]. Esta variedad demuestra la gran heterogeneidad de información y naturaleza de datos que se pueden capturar con estos dispositivos.

A continuación se listan algunos de los sensores presentes en los smartphones, representados en la figura 12.



**Fig 12.** Conjunto de sensores que se pueden encontrar en dispositivos móviles.

### **2.3.1 Micrófono**

Debido a su origen comunicacional, el sensor común a todos los smartphones o dispositivos móviles a lo largo de la historia es el micrófono, un dispositivo que permite convertir el sonido en señales eléctricas.

El procesamiento de dichas señales puede ser utilizado en una gran diversidad de aplicaciones. Algunas de ellas son capaces de inferir y monitorizar actividades cotidianas de una persona como comer, toser, dormir y manejar. Otras permiten reconocer su estado emocional y evaluar condiciones de su entorno tales como determinar dónde se encuentra o cuántas personas hay a su alrededor [45].

### **2.3.2 GPS**

La integración de receptores GPS en los teléfonos celulares dio la posibilidad a diferentes softwares conocer la ubicación exacta del dispositivo alrededor del mundo. Uno de los servicios que se comenzó a ofrecer en los smartphones fue el de navegación tradicional que hasta ese entonces era sólo ofrecido por dispositivos móviles específicos.

Incluyendo al servicio de navegación, las posibilidades de uso de los datos espacio-temporales ofrecidos por el GPS son numerosas, por ejemplo la construcción de mapas digitales, en los cuales se puede observar ubicación en tiempo real del dispositivo, lugares de interés que se encuentran en su cercanía u otro tipo de información en función a una aplicación en particular. Estos son conocidos como Servicios Basados en la Localización (LSB) [46].

### **2.3.3 Cámara fotográfica**

En el año 2000 aparecen en el mercado los primeros dispositivos con cámara fotográfica, un sensor de imagen que se convirtió en poco tiempo en una característica ubicua en este tipo de dispositivo. Las mejoras en términos de almacenamiento y procesamiento que experimentaron los smartphones impactaron en las prestaciones que las cámaras pueden ofrecer. Actualmente, la mayoría de los smartphones cuentan con dos cámaras, una frontal y otra trasera, siendo las últimas más potentes que las primeras.

La cámara fotográfica es una de las características que han sufrido mayor cantidad de cambios y mejoras a lo largo del tiempo [47]. Todos estos cambios se dieron en función de mejorar la calidad fotográfica, de los cuales se pueden mencionar el incremento de los megapíxeles de los sensores de imágenes; sensores de mayor tamaño y mejores tecnologías; aumento en la cantidad de cámaras que se pueden encontrar en un dispositivo; empleo de inteligencia artificial, entre otras [48].

Diferentes trabajos académicos han demostrado diversos usos alternativos para la cámara fotográfica en multiplicidad de áreas, por ejemplo, se ha utilizado la cámara junto con el flash y el acelerómetro para monitorear la presión arterial [49]. Otros autores han experimentado con este sensor de imagen para realizar un seguimiento ocular que permita interactuar con el dispositivo [50]. Como último ejemplo se puede mencionar el trabajo [51] donde se emplea la cámara fotográfica para medir distancias entre objetos físicos.

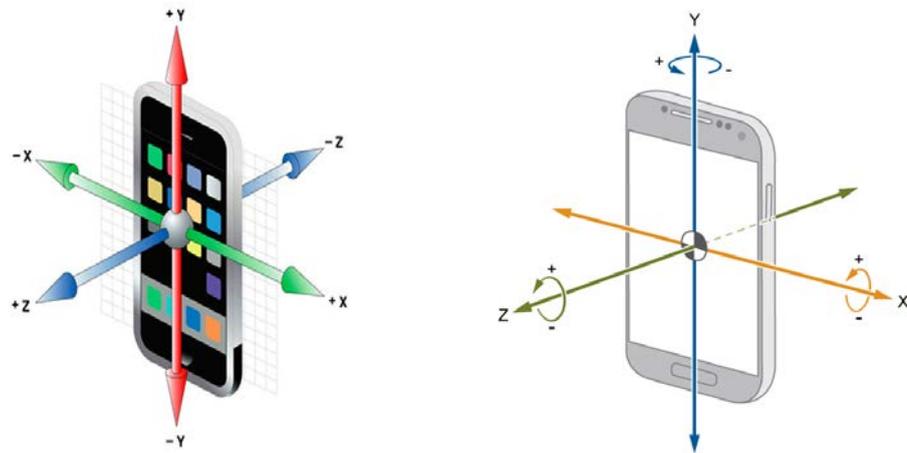
#### **2.3.4 Sensores de movimiento: acelerómetro, giroscopio y magnetómetro**

Los sensores de movimiento están conformados por el acelerómetro y, en modelos más complejos, giroscopio y magnetómetros [44]. El primero, es un sensor que permite obtener datos de la aceleración o variación de la posición del dispositivo en función de tres ejes como se muestra en la figura 13a, con esta información es posible determinar su orientación ya sea vertical u horizontal, lo que permite controlar la interfaz del usuario [45].

Los primeros dispositivos que disponían de este tipo de sensor permitían reconocer gestos que los usuarios hacían con ellos, por ejemplo agitarlos para cambiar una canción o deshacer texto. La cámara utiliza los datos de este sensor para cambiar el modo de captura de imágenes.

El giroscopio suma una dimensión al acelerómetro detectando la velocidad de rotación del dispositivo en los mismos tres ejes (Figura 13b), lo que permite detectar diferentes ángulos de giro, inclinaciones, etc [45]. Por último, el magnetómetro, o brújula digital, brinda datos sobre la dirección del dispositivo en función de los polos norte y sur del planeta, esto ayuda a la precisión en los sistemas de localización [52].

Al contar con la capacidad de reconocer diferentes gestos y movimientos a los que se puede someter un dispositivo con estos sensores, es posible explotar estos datos para el reconocimiento de actividades o comportamiento de un individuo [53][54].



**Fig 13.** (a) Ejes de detección del acelerómetro. (b) rotaciones detectadas por el giroscopio.

### 2.3.5 Proximidad e iluminación

El sensor de proximidad está conformado por un puerto infrarrojo que determina la cercanía del dispositivo al cuerpo del usuario, de esta forma por ejemplo al momento de atender un llamado la pantalla se bloquea evitando tocarla accidentalmente [45], lo mismo sucede cuando el dispositivo es guardado en una funda o bolsillo. La incorporación de este tipo de sensor permitió disminuir el consumo de energía de los smartphones.

El sensor de iluminación es utilizado para adaptar el nivel de brillo de la pantalla a partir de la luz del ambiente donde se encuentra [55], teniendo también un impacto en el consumo energético.

### 2.3.6 Barómetro

El barómetro es un sensor que disponen algunos dispositivos el cual permite medir la presión atmosférica sobre éstos [56]. Dicho factor varía en función de la altitud y dentro de una misma altitud puede cambiar dependiendo de estructuras como pueden

ser pasillos estrechos o anchos [54]; esto permite diseñar soluciones para la localización indoor, detectando cuando una persona cambia de piso en un edificio y si se realizó a través de una escalera, ascensor o escalera mecánica.

Los sensores mencionados anteriormente se encuentran embebidos en los dispositivos móviles, sin embargo gracias a la variedad de tecnologías de comunicación también incluida, tales como Bluetooth, WiFi, redes celulares y puertos de datos [4] [50] es posible interactuar con otros dispositivos o sensores externos [45]. Por ejemplo, en el área de la salud, se pueden anexar a los dispositivos móviles, sensores de frecuencia cardíaca para realizar estudios ECG aprovechando la capacidad de cómputo, almacenamiento y comunicación de los dispositivos [57]. Desde un punto de vista medioambiental, los smartphones pueden comunicarse con sensores de detección de gases contaminantes (Ej.monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno) [58][59]; sensores de temperatura, humedad [60], etc).

## Capítulo 3. Sensado con dispositivos móviles

### 3.1 Redes de sensores inalámbricas (WSN)

Se mencionó en el primer capítulo que uno de los objetivos perseguidos por el Internet de Las Cosas es el de interconectar diferentes objetos físicos entre sí y con internet de manera de posibilitar el intercambio de información entre ellos, así como también para controlar y monitorizar procesos y cosas. Así mismo, también se mencionó que en función de su arquitectura, existe una capa de percepción de datos, la cual se responsabiliza de digitalizar el mundo real, a través de dispositivos con capacidad de percepción de fenómenos externos: los sensores.

Como consecuencia de la reducción del costo en la fabricación y la miniaturización de los componentes con los que se construyen dichos dispositivos, su presencia dentro de la sociedad es cada vez mayor, fomentando y facilitando el desarrollo del paradigma del IoT.

Las redes de sensado inalámbricas, son una forma de aplicación del Internet de las Cosas fundadas en la interconexión de dispositivos electrónicos con capacidad de sensado, cómputo y conectividad inalámbrica [61]. Dichos dispositivos se encuentran densamente distribuidos en una determinada área, convirtiéndose en nodos de una red de sensores que colaboran entre sí para monitorear y estudiar algún fenómeno específico [45].

Dichas redes pueden ser utilizadas en un sin fin de dominios, monitoreando personas, objetos y entornos. Por ejemplo, pueden ser aplicadas en el campo de la salud, el medioambiente, la industria, el comercio, el planeamiento urbano, ciudades inteligentes, domótica y agricultura [62][63]. En particular existen implementaciones de estas redes con las que se puede conocer el nivel de ruido en un área determinada, el flujo vehicular; condiciones ambientales tales como temperatura, humedad, etc. Cada aplicación diferente significa el diseño e implementación de una nueva red con su infraestructura [64].

La estrategia adoptada para el despliegue de una WSN puede variar dependiendo de la aplicación y de los requerimientos de la misma, para esto existen tres mecanismos

diferentes: determinísticos, no determinísticos y móvil [62][65]. En el primero, la ubicación de los nodos se conoce desde el momento del diseño de la aplicación, su uso está orientado hacia aplicaciones industriales, de monitorización de infraestructuras, entre otras, en donde el área de cobertura de la red es reducida. Por su parte, los despliegues no determinísticos se utilizan para áreas más grandes en donde no se requiere conocer a priori la ubicación de los nodos, por ejemplo en aplicaciones de monitoreo de fenómenos en áreas remotas u hostiles y de difícil acceso para las personas. Por último, en los despliegues móviles, los nodos sensores pueden moverse de manera activa en pos de aumentar el área de cobertura, como también pueden hacerlo de forma pasiva por acción de fuerzas externas.

Existen desafíos a tener en cuenta al momento de pensar una solución utilizando redes de sensores inalámbricas. El primero de ellos radica en la limitada capacidad de cómputo, almacenamiento y transmisión de datos presentes en los nodos [66], debido a que éstos deben operar con un bajo consumo energético al ser alimentados por baterías [65], las cuales deberán ser reemplazadas eventualmente. Así mismo es importante volver a mencionar que por cada aplicación específica, se requiere el despliegue de una nueva WSN. Estos desafíos representan costos económicos, de tiempo y esfuerzo para quienes deseen montar, mantener y hacer escalar una red [45].

Bajo este punto de vista, los smartphones presentan mucha utilidad para actuar como nodos de una red de sensado presentando algunas ventajas y oportunidades comparadas con las WSN tradicionales tales como [67]:

- el mantenimiento de cada nodo está a cargo de la persona dueña del terminal, esto incluye la recarga de batería, reparación y recambio de equipo por uno de mejores recursos (procesador, memoria de almacenamiento, memoria RAM, mejores sensores, etc)
- se pueden formar redes de mayor tamaño y cobertura, aprovechando que estos dispositivos ya se encuentran desplegados en la sociedad
- para hacer escalar el sistema sólo se debe reclutar nuevos usuarios, lo que le brinda flexibilidad a la red
- un mismo dispositivo es capaz de producir datos de diferente naturaleza, y puede ejecutar múltiples apps para cubrir diferentes necesidades.

### **3.2 Dispositivos móviles como dispositivos sensores**

El smartphone es un dispositivo de gran presencia en la sociedad logrando formar parte de la cotidianeidad de las personas. Con una marcada tendencia creciente, millones de personas en todo el mundo cuentan con uno de estos dispositivos [68] que han mejorado e incrementado constantemente sus prestaciones en cuanto al hardware y software.

En el Internet de las Cosas, es usual ver al smartphone ocupando un rol de componente de cómputo y comunicación, mientras que el componente de sensado es ejecutado por otros dispositivos especializados (por ej. sensores en una WSN para el monitoreo ambiental).

El primer uso que se le dio a los sensores incluidos en los dispositivos móviles fue el de mejorar la experiencia del usuario y para ofrecer novedosos servicios basados en la ubicación y orientación. En los últimos años, se han estudiado otras alternativas que explotan los datos recopilados por estos sensores para detectar eventos, obtener información del contexto o inferir actividades humanas.

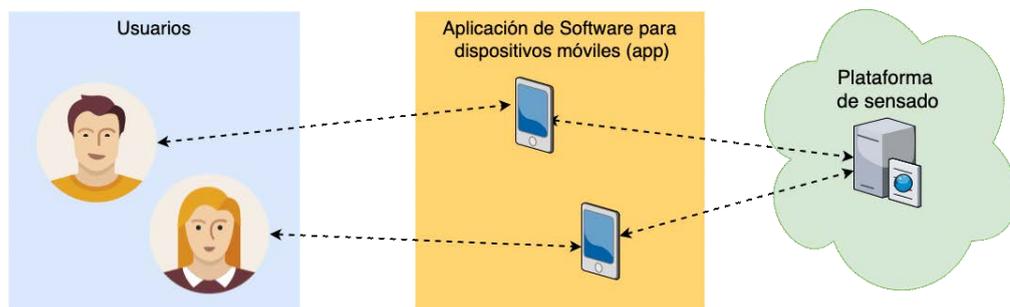
Esto permitió abrir el abanico a nuevas oportunidades de uso con aplicaciones y sistemas que utilizan a los smartphones como el componente de sensado. El estudio de esto último es conocido en la literatura como “mobile sensing” o sensado con dispositivos móviles [55] y se aplica en una gran cantidad de dominios como el comercio; monitoreo de la salud y comportamiento humano; monitoreo del tránsito; monitoreo del ambiente; entre otros [69].

### **3.3 Componentes en sistemas de sensado móvil**

Los sistemas de sensado con dispositivos móviles cuentan con tres componentes principales, los cuales se muestran en la figura 14 [70]: los usuarios, una aplicación de software para dispositivos móviles y una plataforma de sensado desplegada en la nube.

El primero incluye a aquellas personas que participan de la red de sensores utilizando sus dispositivos móviles o smartphones. Dichos dispositivos ejecutan una app desarrollada específicamente para monitorear algún fenómeno en particular, aprovechando las interfaces de programación (APIs) que brindan los Sistemas

Operativos para acceder a los datos de los diferentes sensores que se requieran. Los datos recolectados por las apps pueden ser procesados de manera local y/o enviados a un servidor central a través de internet. Generalmente los datos son acompañados por información espacio-temporal brindada por el GPS. En el servidor central se llevan a cabo tareas de filtrado y procesamiento de los datos de la red y la presentación de éstos por quien los requiera.



**Fig 14.** Componentes en un sistema de sensado con dispositivos móviles.

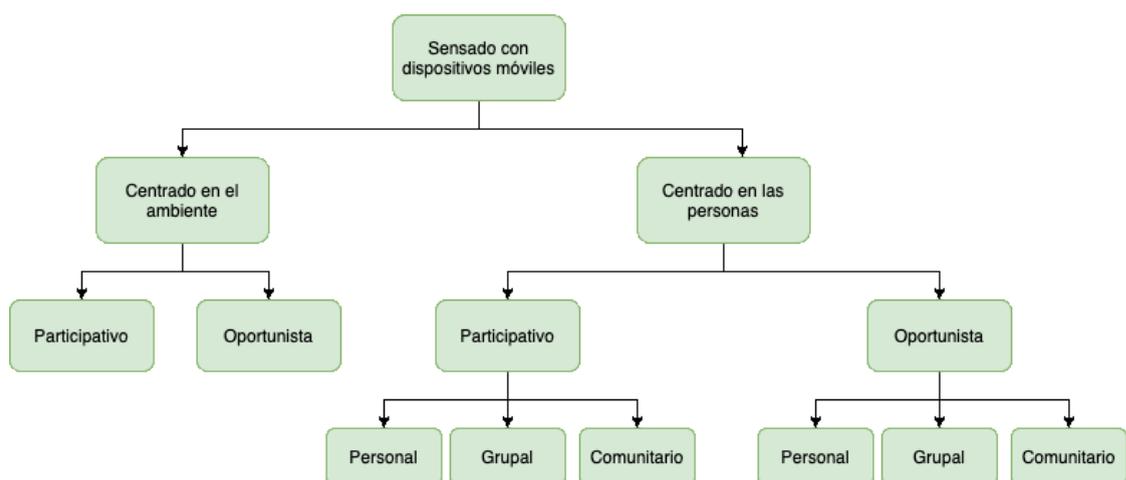
### 3.4 Clasificación de los sistemas de sensado móvil

La figura 15 [71] muestra cómo se pueden clasificar los sistemas de sensado con dispositivos móviles. Dependiendo del fenómeno que se busca comprender o monitorizar, estos sistemas pueden centrarse en las personas o en el ambiente [71] [72]. Los primeros están focalizados en documentar actividades, controlar ejercicios físicos o monitorear la salud de las personas. Por su parte, las aplicaciones que están centradas en el ambiente buscan obtener información sobre el espacio que rodea al usuario, por ejemplo obtener datos de la calidad del aire, condiciones de caminos y tráfico, etc.

En cada una de estas clases, existe una subdivisión a partir del grado de involucramiento o participación de los usuarios en la tarea de la recolección de datos. Los sistemas se dividen en participativos y oportunistas [55] [69]. En los sistemas de sensado participativo el usuario tiene un rol activo, determinando de manera consciente

qué datos recopilar, cómo, dónde, etc. Por ejemplo, si el sistema necesita tomar muestras del ruido ambiental, el usuario tiene que tener la iniciativa de tomar su dispositivo y realizar tal acción, de esta forma se consigue detectar eventos y realizar operaciones complejas de acuerdo a su inteligencia y a su criterio. Otro ejemplo puede ser la recopilación de precios de productos, por lo que el usuario en este caso debería poder distinguir el producto y tomar, por ejemplo, una fotografía. En contrapartida, la calidad de la información recopilada va a depender del entusiasmo de la persona en formar parte de la red de sensado, es por eso que se estudian procesos de reclutamiento e incentivos.

En sistemas de sensado oportunistas, el usuario tiene el rol pasivo de portador del dispositivo, el cual de manera autónoma recolecta los datos necesarios ejecutando procesos en background. Por ejemplo, en una aplicación que quiere conocer las redes WiFi en una determinada zona, los dispositivos estarán continuamente buscando redes disponibles. Otro ejemplo de este tipo de paradigma puede verse en aquellas aplicaciones destinadas a llevar un registro de la actividad física de un usuario (cantidad de pasos dados, escalones subidos/bajados, etc). Las limitaciones de este paradigma están relacionados a conocer el contexto del dispositivo cuando éste obtuvo un dato, por ejemplo en aplicaciones que estén tomando muestras de sonido de forma periódica, es importante descartar aquellas recolectadas cuando el dispositivo se encontraba guardado en el bolsillo.



**Fig 15.** Taxonomía de los sistemas de sensado con dispositivos móviles

Estos sistemas de sensado con dispositivos móviles pueden construirse en diferentes escalas o niveles dependiendo del fenómeno que se quiera estudiar, y a quiénes busca beneficiar [55] [64]:

- **personal:** sistemas orientados a la recolección y análisis de datos de un individuo en particular -quien porta el dispositivo-. Los resultados de estos datos no son compartidos con terceros, salvo aplicaciones de monitoreo de la salud. Algunos ejemplos de este tipo de sensado es el monitoreo del estado del sueño de una persona, patrones de movimiento (si el individuo está corriendo, caminando, cantidad de pasos, etc), medios de transporte utilizados, etc.
- **grupal:** en estos sistemas existe un grupo de individuos que persiguen un objetivo o interés en común. La información es recolectada y compartida en un grupo reducido de personas, como pueden ser redes de trabajo, vecinales, universitarias, etc.
- **comunitario:** este tipo de red conlleva la participación de un gran número de personas. La recolección, análisis e intercambio de datos se realiza en pos de beneficiar a la comunidad. Por ejemplo, aplicaciones que permitan conocer el avance de una enfermedad en una ciudad, congestiónamiento de tránsito, mapas de ruido, etc.

### 3.5 Reclutamiento de participantes

El éxito de una aplicación enmarcada en el paradigma de sensado grupal o comunitario depende fuertemente del número de participantes que realizan la tarea de recolección de datos y de la calidad de las muestras proporcionadas [73]. La selección de participantes es un desafío que consiste en reclutar el conjunto de personas que proporcionen los datos de mayor calidad.

Los mecanismos implementados para este propósito dependen directamente del objetivo y requerimientos específicos de la aplicación o del sistema. Por ejemplo, el reclutamiento puede estar circunscrito en un espacio y tiempo determinado; tareas que para ser realizadas requieren cierto nivel de conocimiento específico por parte de los participantes, entre otros [74].

Los mecanismos de reclutamiento pueden clasificarse en *implícitos* y *explícitos*. Los primeros son simples y sencillos de llevar a cabo ya que consisten en realizar una

convocatoria pública [75] y todas aquellas personas que tengan interés en participar, podrán hacerlo al descargar el aplicativo correspondiente de alguna de las tiendas de distribución dependiendo del sistema operativo presente en sus dispositivos móviles. Sin embargo, lo anterior puede repercutir de forma negativa en la calidad de los datos recolectados, ya que se pueden presentar redundancias, errores o los datos pueden ser generados de manera malintencionada [76].

Por su parte, el reclutamiento explícito tiene como objetivo seleccionar un subconjunto de participantes que resulte el más adecuado para realizar una determinada tarea, respondiendo a los requerimientos de la aplicación. Para esto, se han estudiado diferentes métodos de selección y reclutamiento de participantes [77], en pos de lograr datos de mayor calidad [75]:

- selección de participantes en función de su disponibilidad espacio-temporal.
- selección a partir de un sistema de reputación, que evalúa y expone la performance del usuario en experiencias de sensado anteriores.
- selección de participantes con cierto conocimiento y expertise en un tema en particular.
- A partir del ofrecimiento de incentivos monetarios [78].

### **3.6 Incentivos**

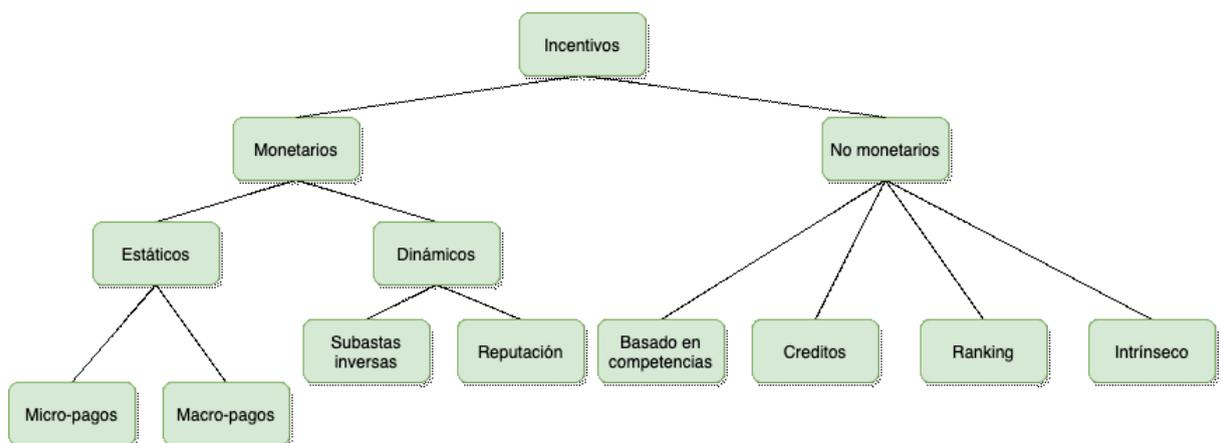
Además de seleccionar a los participantes, es necesario que éstos continúen participando a lo largo del tiempo, por lo que se apela a conocer qué tipo de motivación persigue el usuario al momento de formar parte y colaborar con la red.

Las motivaciones que pueden encontrar las personas pueden ser intrínsecas o extrínsecas. Dentro del primer grupo se recurre el interés o gozo de una persona en realizar una tarea en particular, aplicado a este dominio, formar parte de la red de sensado y participar de manera activa [79]. Por otra parte existe un enfoque extrínseco en donde el participante espera la obtención de cierto reconocimiento por sus aportes, este reconocimiento puede ser monetario o social.

Los sistemas de sensado con dispositivos móviles presentan algunas características a tener en cuenta que pueden hacer que los participantes de la red pierdan el entusiasmo en formar parte de ésta [77]:

- Participar en estas redes de sensado significa consumir recursos de los dispositivos móviles, que a priori son limitados. Esto es la memoria de almacenamiento, procesamiento y energía de sus smartphones.
- Como se mostró anteriormente, los datos recolectados son enviados a un servidor central a través de internet, lo que significa que en ausencia de redes WiFi el usuario tenga que consumir datos de su plan de datos móviles.
- Es común acompañar los datos de los sensores con información de la ubicación del usuario, lo que puede representar una adversidad para ciertos participantes.
- La motivación de los participantes tiende a reducirse con el tiempo, impactando en la calidad y cantidad de datos brindados.

Se han estudiado diferentes sistemas de incentivos que se han demostrado aptos para aumentar la cantidad y calidad de los datos que éstos envían al sistema [80]. La figura 16 muestra una clasificación para dichos incentivos. Existen dos modos o tipos de incentivos: monetarios y no monetarios, diferenciándose en el tipo de recompensa que esperan tener los participantes.



**Fig 16.** Clasificación y tipos de incentivos, extendido de [81].

### 3.6.1 Monetarios

Los incentivos monetarios consisten en ofrecer a los participantes dinero real a cambio de participar en la red de sensado. Este tipo de incentivo puede ofrecer dos variantes, pudiendo llevarse a cabo de manera estática y dinámica. En los primeros se ofrece un pago fijo por los datos que los participantes recopilan, y la recompensa es pensada en términos de micro-pagos o macro-pagos [78], siendo la primera la que presenta mejores resultados [82].

Por su parte, los mecanismos de incentivos monetarios dinámicos pretenden encontrar el valor mínimo por el cual un participante accede a participar en el sistema de sensado. Un ejemplo de este tipo de incentivos son las subastas inversas [83][84] en las cuales los participantes ponen un precio por realizar una tarea y el sistema luego se encarga de escoger a los que considere mejores. Otro ejemplo de incentivo monetario dinámico es aquel que establece un sistema de reputación [85], en donde la recompensa obtenida por los participantes varían en función de la reputación del mismo.

### 3.6.2 No monetarios

En contrapartida, los incentivos no monetarios ofrecen recompensas que no involucran directamente dinero real. Se apela al altruismo de los participantes, a su interés en el objetivo de la aplicación, a su espíritu competitivo, entre otros [86]. Se han estudiado una gran diversidad de mecanismos de incentivos no monetarios [81] entre las cuales se pueden mencionar:

- **créditos**, que son monedas digitales que los participantes ganan por realizar tareas. Dichos créditos pueden ser intercambiados por servicios ofrecidos en la misma aplicación, o por dinero real en algunos casos.
- **basada en la competencia**, en donde se impulsa el sentimiento competitivo de los participantes ofreciendo recompensas virtuales como reconocimiento de su labor en la tarea de sensado. En este sentido, se han implementado mecanismos de posicionamiento o *ranking* entre participantes.

- **intrínsecos**, la recompensa que obtienen los participantes es inherente y relacionado con el propósito de la aplicación de sensado. El mero hecho de involucrarse en el sistema, es la recompensa [87].

### **3.7 Aplicaciones de sensado móvil**

En esta sección se presentará una serie de aplicativos que responden al paradigma de sensado con dispositivos móviles. Estos aplicativos abarcan sistemas orientados a las personas y al medio ambiente, en donde los individuos tienen una participación activa en la recolección de datos.

#### **3.7.1 Ejemplos de aplicaciones centradas en las personas**

El primer ejemplo se corresponde con un sistema de sensado participativo, centrado en las personas, llamado LiveCompare [88]. Este permite a sus usuarios consultar y comparar el precio de un producto en diferentes tiendas.

Por lo general, cada producto es etiquetado con un precio y un código de barras con un identificador, como se muestra en la figura 17. En LiveCompare, cuando un usuario desea comparar el precio de un producto, utiliza su dispositivo móvil para tomar una fotografía de su etiqueta y escanear el correspondiente código de barras enviando esta información a un servidor central (además se puede enviar datos del GPS para identificar la tienda en donde se encuentra). Como resultado de la consulta, el usuario obtiene un conjunto de fotos de etiquetas con el precio del mismo producto en otras tiendas que fueron tomadas por otros participantes del sistema y en base a eso puede tomar una decisión.

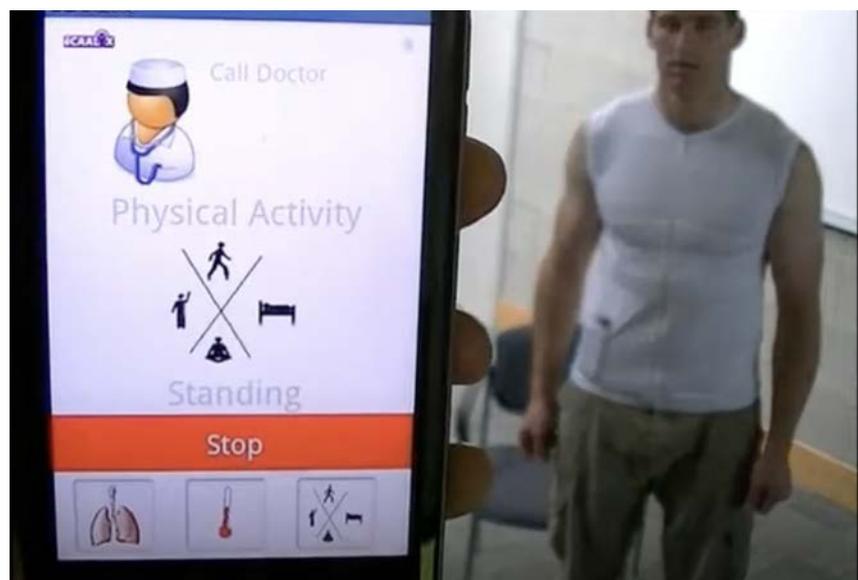
Este tipo de sistema de escala comunitaria, presenta un esquema de incentivos no monetarios en donde los beneficiarios de la participación activa son (a) el usuario que realiza una consulta y puede obtener nuevo conocimiento para tomar una decisión, y (b) el propio sistema al incorporar nuevos datos que serán utilizados en futuras consultas.



**Fig 17.** Etiquetas de diferentes productos que se pueden encontrar en tiendas, donde se puede diferenciar el precio y el código de barras identificando al mismo.

La aplicación eCAALYX [89], ver figura 18, es un ejemplo de sistema de sensado móvil orientado a las personas en una escala individual, enfocado en el dominio de la salud y cuidado personal.

Este aplicativo permite el monitoreo remoto de personas mayores con enfermedades crónicas actuando de intermediario entre un sensor wearable externo y un sitio web que conecta a los pacientes con sus respectivos cuidadores o profesionales de la salud. Aprovechando la capacidad de cómputo en los dispositivos móviles, la app es capaz de detectar anomalías en las mediciones de los sensores (taquicardia, infecciones respiratorias, entre otras) y generar alertas que son acompañadas por información geoespacial utilizando el GPS del dispositivo móvil. Otros datos recopilados corresponden con información de la actividad del paciente, por ejemplo si está en reposo, caminando, sentado y su temperatura.



**Fig 18.** Demostración de funcionamiento de eCAALYX, se puede observar al usuario usando el dispositivo wearable en las prendas y el aplicativo móvil informando la actividad detectada.

En la misma línea del monitoreo de la salud de individuos, la aplicación BeWell [90] hace uso de los sensores integrados en los smartphones para monitorear diferentes actividades e inferir patrones de comportamiento. El aplicativo, ver figura 19 estudia tres dimensiones para el bienestar de las personas: el sueño, actividad física e interacción social. Para esto, se vale de sensores tales como giroscopio, acelerómetro, micrófono, cámara y brújula digital. A partir de diferentes modelos de comportamiento se establece un puntaje en cada dimensión que va de 0 a 100, en donde el 0 representa que la persona no respeta los patrones mínimos para un bienestar (dormir poca cantidad de horas, no realizar actividad física) y un puntaje de 100 establece que la persona respeta las guías de comportamiento establecidas en los modelos por profesionales de ese ámbito. El aplicativo se encarga de sensar, clasificar, procesar los datos y enviarlos a través de internet a un portal web para su posterior visualización.



**Fig 19.** Interfaz del aplicativo BeWell.

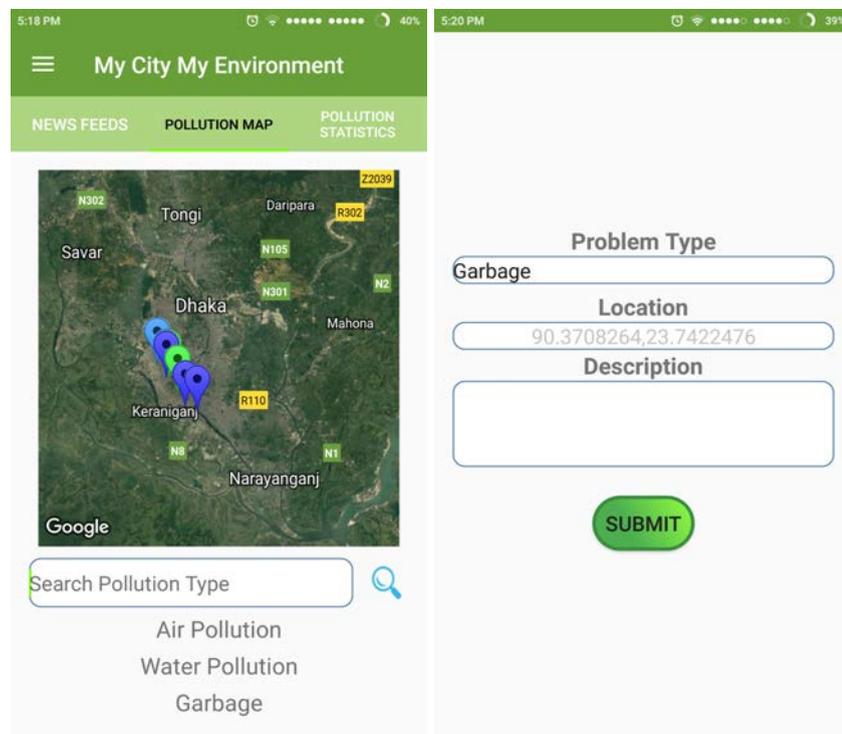
### 3.7.2 Ejemplos de aplicaciones centradas en el ambiente

El primer ejemplo de un sistema de sensado participativo centrado en el ambiente se presenta en [91] con un framework para el monitoreo de la contaminación ambiental, puesto en prueba en la ciudad de Dhaka, Bangladesh. El sistema está compuesto por una

aplicación de software que es ejecutada en los dispositivos móviles de los participantes (reclutados por medio de un llamado abierto); un servidor central que se encarga de procesar, filtrar y analizar la información suministrada; y una aplicación web que permite la visualización de información, dirigida especialmente para aquellos individuos u organizaciones que puedan tomar decisiones en función de estos datos.

La aplicación móvil permite a los usuarios tomar fotografías, grabar audios o video de accidentes de contaminación o de peligro ambiental, junto con datos del GPS del dispositivo, y visualizar datos recolectados por otros usuarios en un mapa embebido en la app, ver figura 20. Por otra parte, permite almacenar el reporte de manera local en el dispositivo y enviarlo cuando el usuario tenga conexión a internet. Algunas categorías que pueden seleccionar en los reportes corresponden a: contaminación del agua, aire, desechos, contaminación lumínica, sonora, etc.

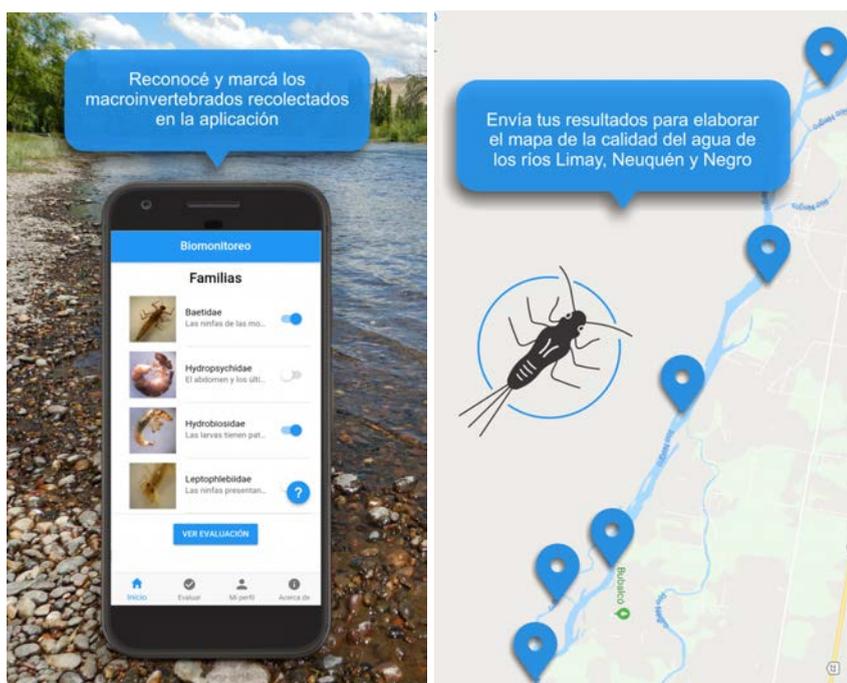
Para este ejemplo, según especifican sus autores, se comenzó apelando al altruismo de las personas por ayudar en cuestiones de interés como el medioambiental, pero se planea adoptar un esquema de recompensas digitales en función de los reportes enviados.



**Fig 20.** Capturas de pantalla de la aplicación “My city My Environment”.

Derecha: visualización en un mapa diferentes reportes. Izquierda: Formulario para la creación de un nuevo reporte.

En Argentina existe un proyecto de sensado participativo llamado “Biomonitoreo RN” [92] para el monitoreo de la calidad biológica del agua de arroyos y ríos de la cuenca del río Negro. El sistema presenta un aplicativo que permite a los participantes obtener indicadores sobre la calidad del agua en una zona determinada por ellos mismos a través de la observación de diferentes microorganismos, ver figura 21. Para realizar un nuevo reporte, las personas tienen que escoger un tramo de 100m del río que quieren analizar y tomar muestras del agua. La aplicación les brinda información sobre los macroinvertebrados que pueden reconocer en el río para que los participantes puedan detectarlos e informarlos en el formulario. Esta información se envía junto con datos de GPS para la creación de un mapa colaborativo de la calidad del agua en esa zona.



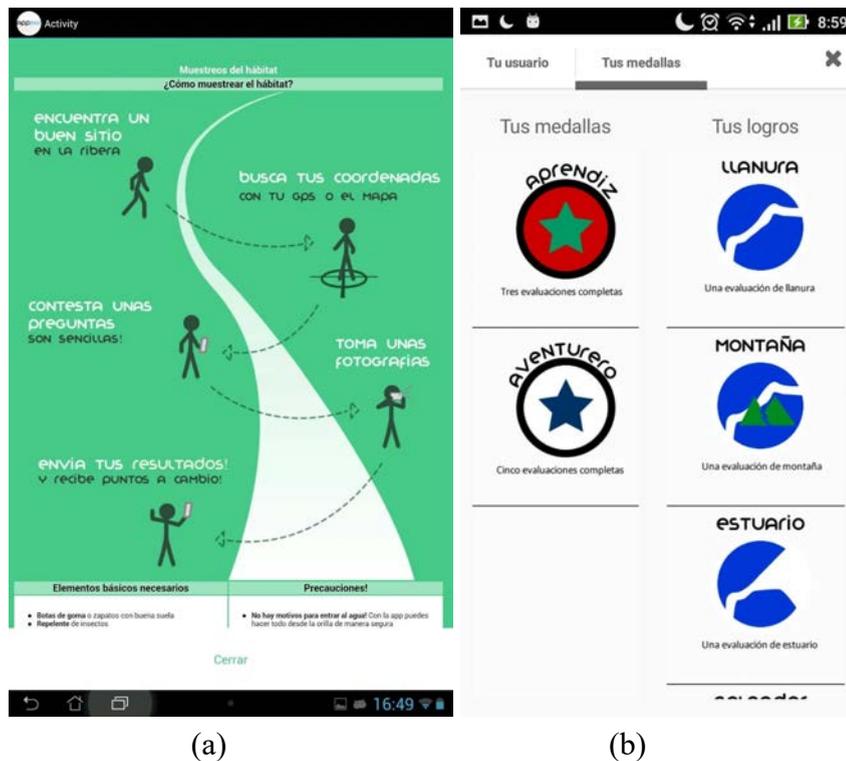
**Fig 21.** Capturas de pantalla de la aplicación “Biomonitoreo”, proyecto argentino de sensado participativo.

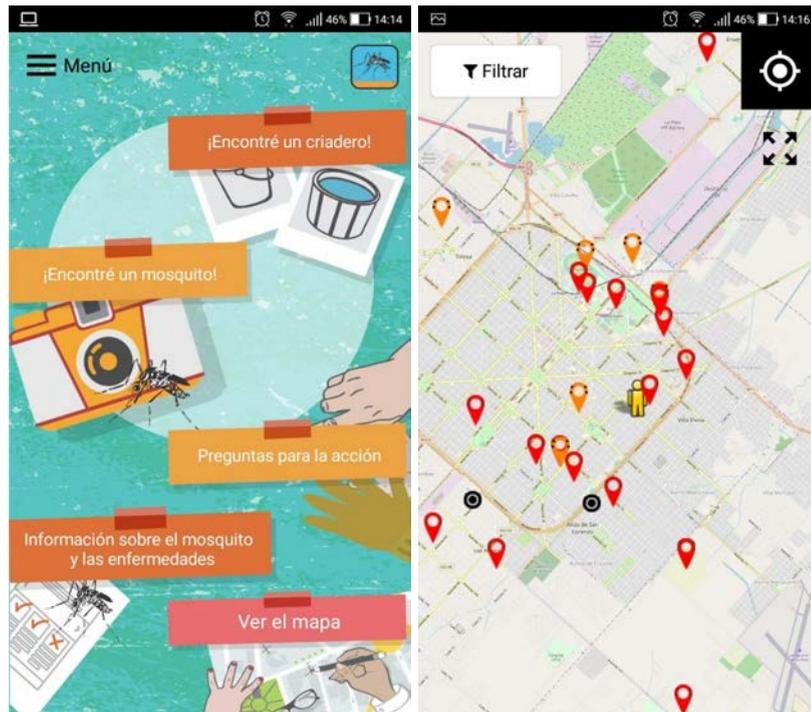
Otros ejemplos de aplicaciones argentinas de interés medioambiental y sanitario, con un enfoque participativo, son “Caza Mosquito” y “Appear” [93]. El primer aplicativo busca generar un mapa de distribución de las principales especies de

mosquitos urbanos con implicancias sanitarias. Por su parte, Apear está enfocada en la construcción de mapas sobre el estado de ambientes acuáticos (ríos, arroyos, lagos, etc). Ambas aplicaciones pueden verse en la Figura 22.

Los mapas son construidos a partir de datos recolectados por las personas utilizando sus dispositivos móviles. El formato de la información enviada consiste en imágenes, información del GPS y un cuestionario relacionado con los fenómenos observados. Esta información es enviada a un servidor por medio de Internet, en donde es validada por personal científico registrado.

La aplicación Apear dispone de un sistema de incentivos lúdicos en donde los usuarios reciben puntos virtuales y recompensas que pueden ser compartidas por las redes sociales.





(c)

(d)

**Fig 22.** (a, b): capturas de pantalla del aplicativo “Apeear”. (c y d) Capturas de pantalla aplicativo “Caza Mosquito”

Radiation-Watch [94] es un proyecto sin fines de lucro que utiliza el sensado móvil y participativo para proveer información de la radiación ambiental, ver figura 23. Aquellas personas que quieran ser parte de la red de sensores deben costear un sensor de radiación inteligente (dosímetro) de bajo costo y alto rendimiento llamado “Pocket Gaiger”. Dicho dispositivo se conecta al dispositivo móvil del usuario para obtener mediciones de los niveles de radiación ambiental. En el smartphone se ejecuta una aplicación de software que permite visualizar un mapa del conjunto de lecturas de todos los participantes y las mediciones del sensor conectado.



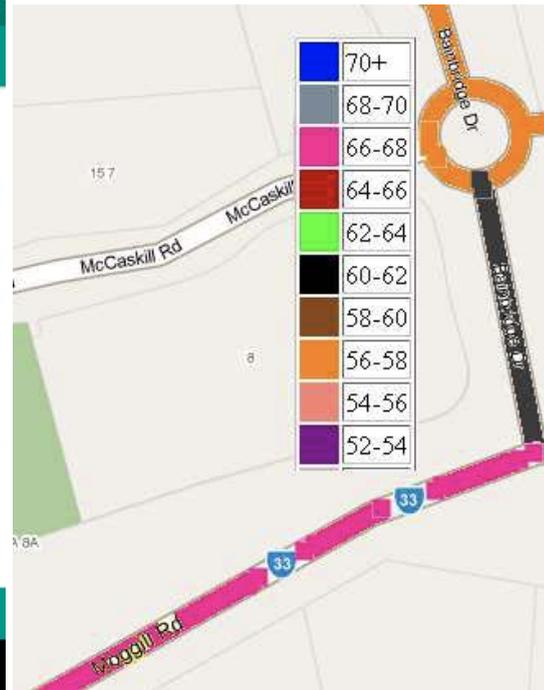
**Fig 23.** Radio-watch, aplicación de sensado participativo para recopilar datos de radiación ambiental.

En [95] y [96] se presentan Ear-Phone y NoiseTube, dos iniciativas para el monitoreo del ruido ambiental utilizando los micrófonos incorporados en dispositivos móviles.

Estos proyectos de sensado participativo -figura 24- presentan una arquitectura cuyos dos componentes principales son: una aplicación de software que es ejecutada en los teléfonos celulares y un servidor central. El primer componente es el encargado de procesar las mediciones del micrófono para obtener un valor del nivel de ruido en la zona donde se encuentra la persona. Este dato se envía por internet al servidor central junto con información del GPS para la reconstrucción del mapa de ruido. Por su parte, NoiseTube permite además agregar diferentes etiquetas a partir de la observación de la persona que genera una nueva muestra de sonido.



(a)



(b)

**Fig 24.** a) Noise tube. b) earphone

## Capítulo 4. Diseño de sistema de sensado móvil

Los ejemplos comentados anteriormente evidencian la utilidad del sensado participativo para la recolección de grandes cantidades de datos ambientales, convirtiendo a las personas en sensores capaces de observar y monitorear diferentes fenómenos.

El sensado participativo permite visibilizar y alertar sobre situaciones ambientales que antes requerían del despliegue de redes de sensores estáticas, que como se mencionó anteriormente son costosas de mantener y escalar.

En el contexto de este trabajo final integrador y con el objetivo de ejemplificar de manera práctica el sensado con dispositivos móviles, se propuso y diseñó un sistema de sensado participativo para el monitoreo del estado y calidad del agua de red domiciliaria. En este sistema, los usuarios participantes utilizan sus dispositivos móviles para crear y enviar reportes a partir de la observación del agua proveniente de la red de distribución pública, utilizando la cámara y el GPS.

Algunos de los ejemplos presentados en la sección anterior muestran aplicaciones para evaluar el estado del agua en una zona determinada como puede ser en ríos y lagunas. Sin embargo, no se han encontrado trabajos en los cuales se presente un sistema de sensado participativo para el monitoreo de la calidad de agua de la red domiciliaria.

En las siguientes secciones se describe el sistema de sensado móvil propuesto, junto con la implementación y desarrollo de la aplicación de software correspondiente que satisface los requerimientos de dicho sistema. Del primero se plantea el escenario de aplicación, requerimientos funcionales y se propone una arquitectura para el sistema. Por otra parte, del lado de la app se discuten diferentes aspectos técnicos y se presenta un primer prototipo a través de maquetas que detallan la interfaz de usuario.

### 4.1 Descripción y alcance del sistema de sensado móvil propuesto

La red de distribución de agua es la responsable de llevar agua potable a los domicilios de las personas cumpliendo condiciones de calidad y cantidad. Esta agua es empleada por los usuarios de la red para uso doméstico, de higiene personal, consumo

humano y animal. Diferentes factores pueden influir en la degradación de la calidad de esta agua, como por ejemplo la presencia de metales pesados, microbios y sedimentos, impactando directamente en la salud pública, exponiendo a la comunidad a brotes de enfermedades intestinales y otras infecciones [97].

Ante la presencia de alguna de estas características, es importante alertar a las autoridades o empresas que se encargan de proveer el servicio de agua potable para que puedan mejorar su infraestructura de abastecimiento, saneamiento e higiene.

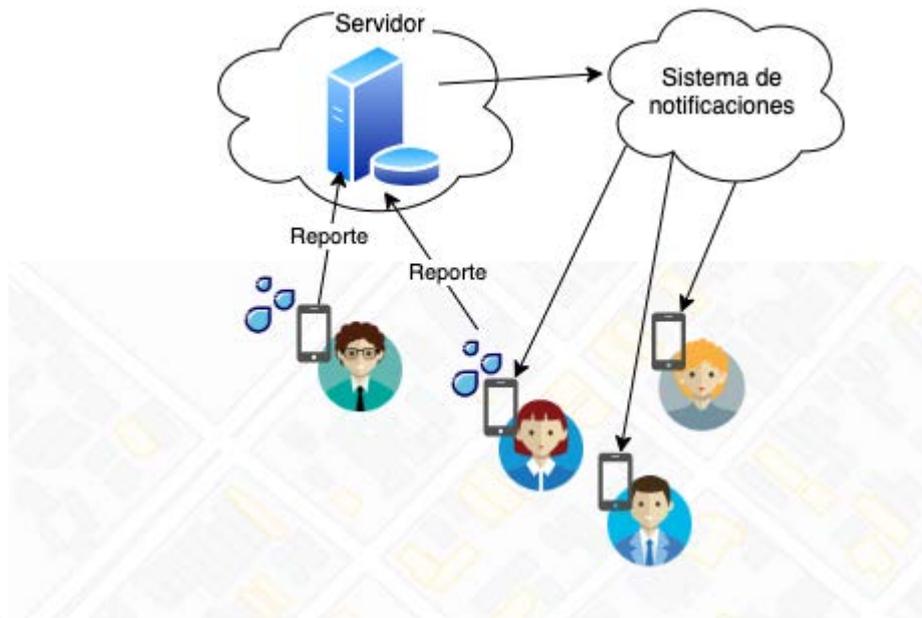
Sobre este escenario, se plantea el desarrollo de un sistema de sensado participativo que empodera a las personas a utilizar sus dispositivos móviles para reportar anomalías tales como color, presión y cantidad del agua en sus domicilios. El conjunto de reportes contribuirá a la construcción de un mapa de la calidad del agua, exponiendo zonas en donde el servicio no es el adecuado.

Los reportes serán enviados a través de internet a un servidor central y se conforman por los siguientes datos:

- A. una imagen obtenida con la cámara del dispositivo móvil del participante la cual debe exponer el problema o anomalía detectada.
- B. una evaluación de la calidad del agua a partir de la observación. La misma puede ser buena, regular o mala. Este dato ayuda en la sistematización de la información y en la visualización de los reportes en el mapa.
- C. una descripción en formato texto que ayuda a explicar la situación con más detalle
- D. información georeferenciada del dispositivo que permite ubicar el reporte en un mapa y también enviar un mensaje de alerta a otros participantes cercanos, quienes a su vez podrán realimentar al sistema con nuevos reportes sobre la situación del agua en sus domicilios.

El sistema está formado por dos componentes principales: una aplicación de software para dispositivos móviles y un servidor central, ilustrados en la figura 25. El aplicativo les permite a los usuarios interactuar con el sistema enviando reportes y consultando el detalle de otros. El servidor central se encargará de procesar y almacenar

los reportes enviados y enviar notificaciones de alerta para aquellos usuarios cercanos a un nuevo reporte.



**Fig 25.** Componentes del sistema de sensado participativo propuesto

#### **4.1.1 Selección de participantes e incentivos**

Para esta primera experiencia no se requiere implementar un tipo de mecanismo de reclutamiento explícito, más bien está enfocado a que toda persona que desee participar en el sistema pueda hacerlo al descargar y ejecutar la app. En el caso que se desee examinar una zona en particular, como puede ser el barrio de una ciudad, el mecanismo de reclutamiento tendría que tener en cuenta este requerimiento.

Por otra parte, el tipo de incentivo empleado será no monetario, en donde cada usuario es recompensado recibiendo una alerta en caso que exista un nuevo reporte cerca suyo. La recompensa se habilitará una vez que el usuario envíe un reporte, ya que éste es acompañado con su ubicación, la cual se almacenará para este fin.

#### **4.1.2 Alcance del prototipo de software**

El alcance del prototipo presentado en este trabajo se limitará al desarrollo del primer componente, la aplicación móvil. Este cuenta con el maquetado de las interfaces

de usuario y la implementación de aquellos requerimientos o funcionalidades referidas al acceso a los sensores y del GPS. Queda fuera del alcance la interacción de la app con el servidor y el comportamiento de este último.

#### 4.1.3 Requerimientos funcionales

A continuación se listan los requerimientos funcionales que deberá contemplar la versión final del aplicativo. Para este prototipo, se implementarán las funcionalidades 1, 2 y 3 que son aquellas referidas al acceso y uso de los sensores (cámara fotográfica y GPS):

1. Generar un reporte
  - los reportes se deben realizar a través de un formulario en la aplicación móvil
  - cada reporte debe incluir una fotografía, la categorización de la situación a partir de los indicadores y una descripción opcional en formato texto
  - el reporte se debe enviar por internet a un servidor
  - al momento de enviar el reporte, el mismo será acompañado por datos provistos por el GPS del dispositivo para ubicar el lugar de la incidencia
  - los reportes deben almacenarse en una base de datos en el servidor
2. Visualización de un mapa de reportes
  - la aplicación debe permitir mostrar en un mapa diferentes reportes que se hayan hecho por parte de los participantes del sistema participativo
3. Visualización del detalle de un reporte
  - desde el mapa, al seleccionar un reporte se debe mostrar un detalle del mismo
  - del reporte se debe visualizar la foto, descripción, fecha y hora.
4. Alerta de incidencias cercanas
  - a partir de los datos de la ubicación de un nuevo reporte, el sistema debe enviar una notificación push a aquellos usuarios cercanos a dicha ubicación.
5. Agregar una ubicación a monitorear
  - la aplicación debe permitir a los usuarios almacenar hasta 3 ubicaciones
  - las ubicaciones deben obtenerse de reportes anteriores y se le debe dar la posibilidad al usuario de elegir otras en un mapa

6. Eliminar una ubicación
  - la aplicación debe permitir eliminar una ubicación desde el listado de ubicaciones del usuario.
7. Listar ubicaciones guardadas
  - la aplicación debe permitir listar hasta tres ubicaciones almacenadas por los usuarios
8. Registrarse
  - la aplicación debe permitir el registro de usuarios a partir de un nombre de usuario y una contraseña
  - al momento del registro, el sistema debe verificar que el nombre de usuario sea único
9. Inicio de sesión
  - los usuarios deben poder iniciar una nueva sesión en la aplicación al ingresar en un formulario sus credenciales de acceso: nombre de usuario y contraseña
10. Cerrar sesión
  - la aplicación destruirá la sesión activa del usuario y redirigirá a la pantalla de inicio

#### 4.1.4 Roles y características de los usuarios

La aplicación permitirá tres tipos de usuarios: logueado, registrado y no registrado. En la Tabla 2 se especifica para cada tipo aquellas funcionalidades que deberán habilitarse en la aplicación. En esta primera versión, todos los usuarios pueden realizar las mismas operaciones que un “usuario logueado”.

**Tabla 2.** Actividades de los diferentes tipos de usuarios de la aplicación móvil.

Tipo de usuario	Actividades
Usuario Logueado	Generar un reporte. Visualización de un mapa de reportes. Visualización del detalle de un reporte. Alerta de incidencias cercanas. Agregar una ubicación a monitorear. Eliminar una ubicación. Listar ubicaciones guardadas. Cerrar sesión.

Usuario Registrado	Visualización de un mapa de reportes. Visualización del detalle de un reporte. Iniciar sesión.
Usuario No Registrado	Visualización de un mapa de reportes. Visualización del detalle de un reporte. Registrarse.

## 4.2 Aspectos técnicos

En el desarrollo de aplicaciones de software para dispositivos móviles, pueden emplearse diferentes estrategias [98] [99]: la nativa y la multiplataforma. La estrategia denominada “nativa” consiste en el desarrollo de una aplicación específica para cada una de las plataformas (sistemas operativos) en las que se desea distribuir el aplicativo. En contraposición, la estrategia “multiplataforma” consiste en desarrollar un solo proyecto, utilizando el mismo código fuente para ser ejecutado en las diferentes plataformas. Mientras que en el enfoque nativo se utilizan las herramientas de desarrollo -SDK- provistos por cada una de las plataformas, en el enfoque multiplataforma los aplicativos pueden ser desarrollados empleando una gran diversidad de tecnologías.

La app para este sistema de sensado móvil se desarrolló empleando una estrategia multiplataforma, de modo de construir un sólo código fuente, el cual puede ser compilado tanto para Android como para iOS, plataformas destino de la misma. La tecnología utilizada para este desarrollo fue Ionic [100], un framework que permite la construcción de apps utilizando tecnologías web (HTML, CSS, JS). Dicho framework brinda acceso a diferentes características de los dispositivos a partir de diferentes *plugins* de código abierto creados por la comunidad [101].

En este caso se emplearon los siguientes plugins y librerías:

- *Camera* [102]: plugin especializado para la captura de imágenes o videos. Se utilizará para tomar fotografías del estado del agua domiciliaria para generar un reporte nuevo
- *Geolocation* [103]: este plugin permite obtener la ubicación del dispositivo, en términos de latitud y longitud. La app se valdrá de este plugin para anexar al reporte dicha información lo que permitirá ubicarlo en un mapa para su posterior

visualización. Además este dato se utilizará para conocer qué usuarios cercanos existen y así enviar una alerta en caso de ser necesario.

- *API de Javascript de Google Maps* [104] para la visualización y personalización del mapa con los diferentes reportes enviados por los participantes del sistema de sensado.

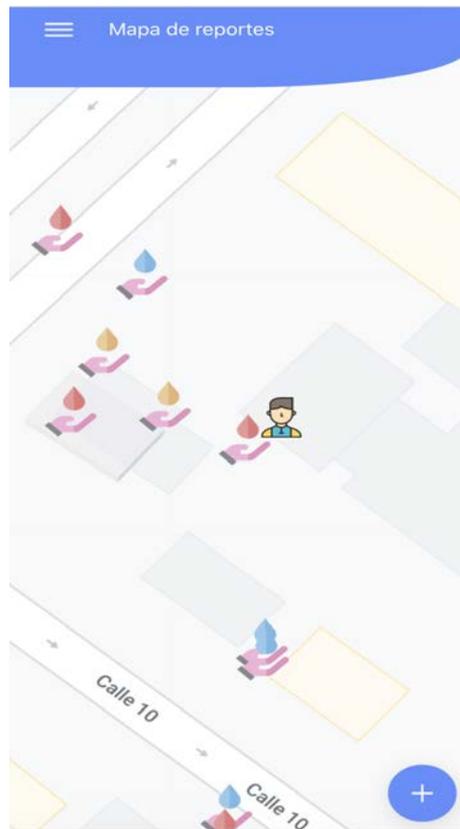
### 4.3 Interfaces gráficas

La aplicación móvil presenta una interfaz simple y amigable de modo que cualquier usuario, independientemente de su expertise, pueda utilizarla. La aplicación se desarrolla en dos pantallas:

- **pantalla principal**, mostrada en la figura 26. Se puede observar un mapa con el que los usuarios pueden interactuar, visualizando diferentes reportes. En dicha pantalla se centra el mapa en la ubicación del usuario a partir de los datos obtenidos por el GPS.

Los diferentes íconos y su significado se encuentran detallados en la tabla 3. La ubicación del usuario se encuentra representada por el ícono I1, mientras que los diferentes reportes, en sus variantes en función a la evaluación de los participantes, se encuentran representados por los íconos I2, I3 e I4.

Para el prototipo, los reportes fueron generados de manera automática tomando en cuenta la ubicación real del usuario.



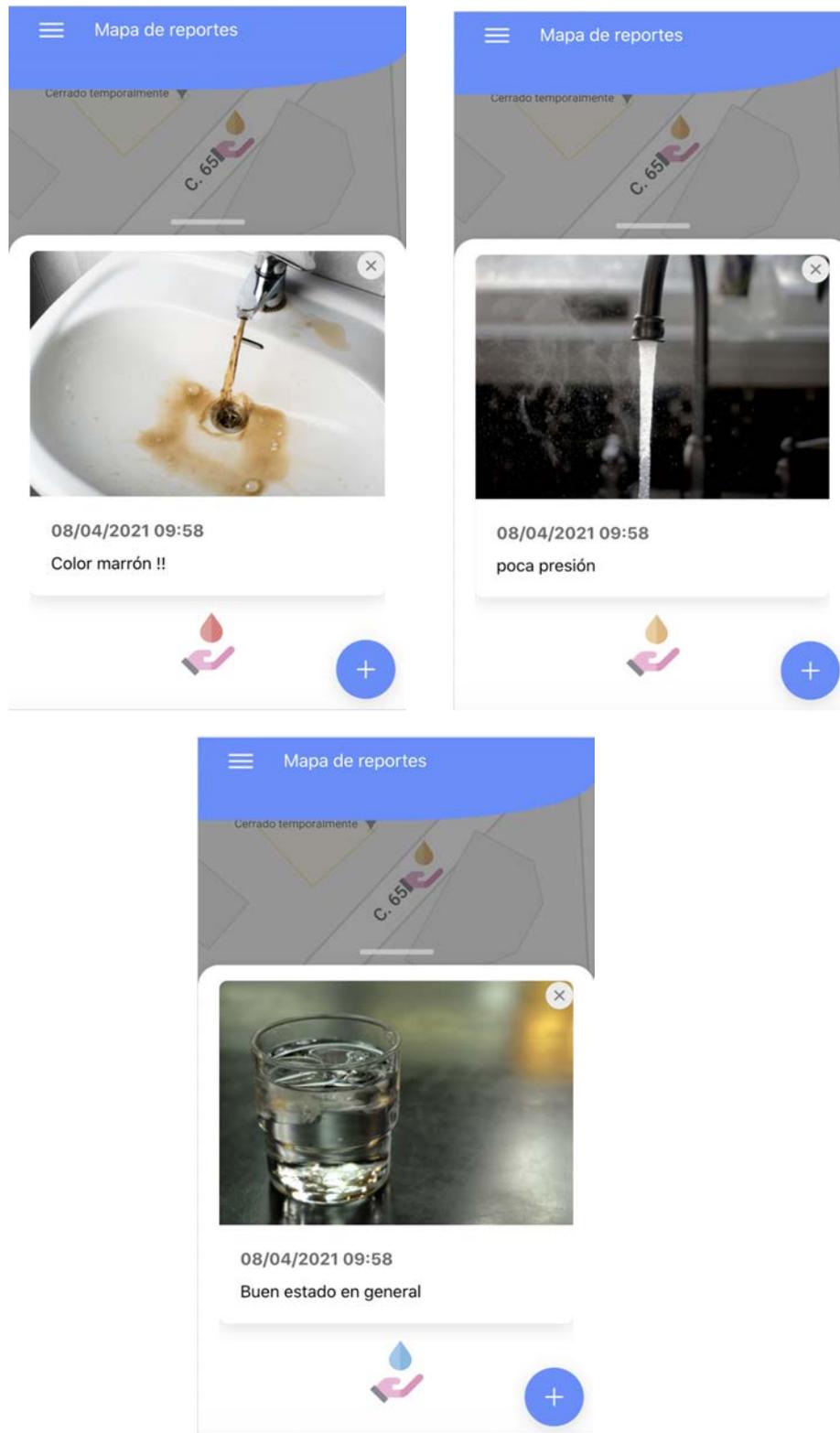
**Fig 26.** Pantalla principal de la aplicación propuesta, se visualiza la ubicación del usuario junto con diferentes reportes en su cercanía.

Para acceder al detalle de un reporte, el usuario debe presionar sobre los íconos que representan a cada uno de ellos. Esto desplegará una ventana desde abajo con la información solicitada, que consta de una fotografía, descripción en formato texto e información sobre la fecha y hora de realización del reporte. En la figura 27 se puede ver el detalle de tres reportes con indicadores de calidad diferentes.

Por último desde la pantalla principal, si se presiona en el botón que se encuentra en el margen inferior derecho se accede a la siguiente pantalla que corresponde al formulario para la generación de un nuevo reporte.

**Tabla 3.** Representación de los íconos que se encuentran en la pantalla principal del prototipo

ID	Ícono	Significado
I1		Representa la posición actual del usuario.
I2		Representa un reporte informando calidad de agua mala
I3		Representa un reporte informando calidad de agua regular
I4		Representa un reporte informando calidad de agua buena

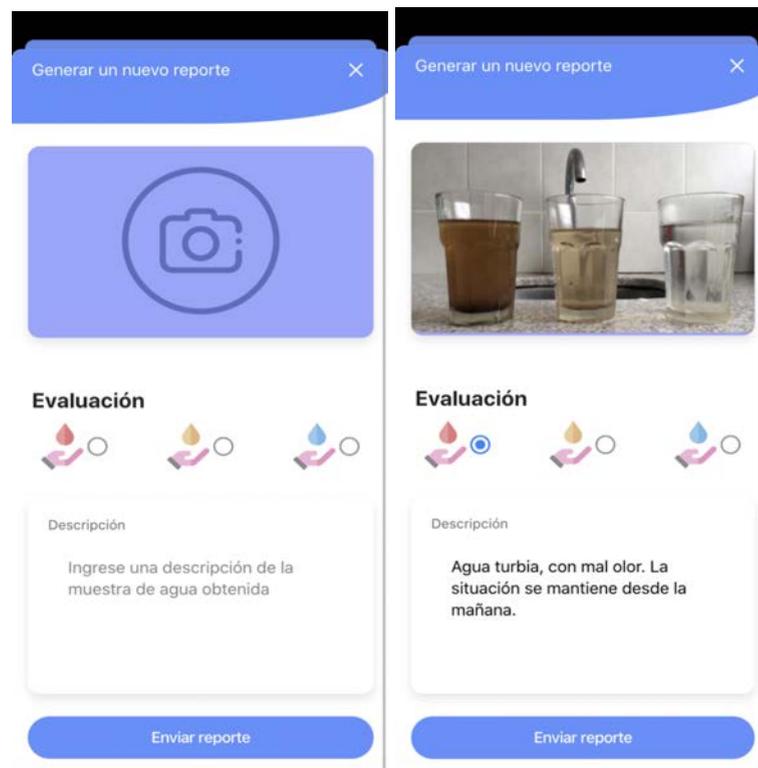


**Fig 27.** Detalle de los reportes que se encuentran en el mapa.

- **formulario de reporte:** En esta pantalla se produce la participación de los usuarios en la red de sensado. Cómo se puede ver en la figura 28, a fin de satisfacer el requerimiento 1, los participantes pueden crear un reporte para alertar sobre alguna condición anómala en su suministro de agua domiciliaria.

Esta pantalla se compone de tres secciones principales, la primera representada por una tarjeta con la imagen de una cámara fotográfica para que los usuarios accedan a la cámara de su dispositivo para tomar una fotografía. La siguiente sección del formulario corresponde con la evaluación que realizan los usuarios sobre el fenómeno, seleccionando uno de los tres estados posibles (malo, regular o bueno). Por último se requiere completar un campo de texto exponiendo con más detalle la situación observada por la persona.

Al presionar el botón con la leyenda “Enviar Reporte” se enviará a un servidor esta información junto con la ubicación GPS del dispositivo para generar un nuevo reporte.



**Fig 28.** Formulario para la generación de un nuevo reporte sobre el estado del agua de red domiciliaria.

Como se mencionó anteriormente, el sistema de sensado móvil propuesto presenta dos componentes: una aplicación de software para dispositivos móviles y un servidor central. En este informe se optó por incluir el diseño y desarrollo del prototipo de software correspondiente a la app, ya que resulta de interés conocer la forma en la que se interactúa con los sensores en los dispositivos móviles (GPS y cámara fotográfica). En un trabajo futuro se planea continuar con la implementación del sistema de sensado, desarrollando la parte del servidor el cual se encargará de recibir los diferentes reportes, armar el mapa con los mismos, entre otras funcionalidades.

El código fuente del prototipo de software presentado se encuentra accesible en un repositorio de GitLab en [105].

## Capítulo 5. Conclusiones y trabajo futuro

Los teléfonos celulares fueron pensados en sus inicios como dispositivos capaces de permitir la comunicación por voz de manera inalámbrica. Las formas y tecnologías que se empleaban para este fin fueron transformándose de manera constante en el tiempo, logrando comunicaciones de mayor calidad y rapidez. La digitalización de estas comunicaciones significó el comienzo de una nueva era para estos dispositivos, en la cual se incrementaron la cantidad de servicios ofrecidos, entre ellos la conexión y comunicación a Internet.

En los últimos 40 años el avance y evolución en materia de hardware, software y tecnologías de comunicación inalámbricas empleadas en estos dispositivos, hizo posible dotarlos con mayor capacidad de procesamiento, almacenamiento y comunicación, convirtiéndolos en lo que comúnmente se conoce con el nombre de “smartphone”. Asimismo, se amplió la capacidad de percepción del entorno de estos dispositivos con la incorporación de más y mejores sensores. Dichos sensores fueron utilizados en principio para mejorar la experiencia del usuario. Sin embargo, en los últimos años se han estudiado nuevos usos a partir de la heterogeneidad de datos que éstos pueden recolectar. Algunos ejemplos son aplicaciones capaces de inferir conductas humanas, monitoreo de la salud de las personas, obtención de información espacio-temporal, entre otras.

En este trabajo se detallaron diferentes sensores que hacen al común en los smartphones actuales, mostrando el uso que justificó su incorporación en estos dispositivos y su potencialidad en otros. Estos sensores son capaces de generar datos estructurados y no estructurados, que pueden ser aprovechados en una gran variedad de dominios, uno de ellos son las aplicaciones dentro del Internet de las Cosas.

Los sistemas de IoT están formados por varios elementos o componentes, algunos de ellos son los del sensado o percepción, cómputo, comunicación y servicios. Los smartphones satisfacen estos elementos en un mismo dispositivo, colocándolos en el centro de la escena de este paradigma. Su uso puede estar limitado a comunicación y procesamiento, dejando que otros dispositivos electrónicos lleven a cabo la tarea de

sensado, o también pueden ser responsables de digitalizar el mundo físico haciendo uso de la gran cantidad de sensores que fueron incorporando en los últimos años.

En este trabajo se describió un área de investigación de creciente interés llamada “mobile sensing”. La misma comprende al estudio de los smartphones como dispositivos sensores abriendo el abanico de oportunidades y soluciones en áreas tales como la salud, comercio, estudio del comportamiento humano, monitoreo del tránsito, del ambiente, entre otros.

Los sistemas de sensado con dispositivos móviles cuentan con tres componentes principales: los usuarios, una aplicación de software para dispositivos móviles y una plataforma de sensado desplegada en la nube. Los usuarios instalan un aplicativo en sus dispositivos y éste se encarga de acceder a los diferentes datos captados por los sensores. El sensado puede enfocarse en las personas o en el ambiente en función del fenómeno que se quiere estudiar o a quien se busque beneficiar. Un ejemplo del primero son aplicaciones con las que se puede documentar actividades de una persona, monitorear su bienestar y salud, control de precios, etc. Dentro de esta categoría existen diferentes niveles o escalas de sensado: personal, grupal o comunitario.

Por su parte, aquellas que se centran en el ambiente son aplicaciones para el monitoreo de condiciones ambientales tales como contaminación del agua, aire y sonora, las cuales pueden emplear sensores internos al dispositivo o también, en caso de requerir, anexar otros externos más específicos como por ejemplo un dosímetro para la construcción de un mapa de radiactividad en un determinado área.

Se ha mencionado que en el universo de aplicaciones de sensado con dispositivos móviles la recolección de datos puede ser participativa u oportunista dependiendo del grado de involucramiento de las personas en la tarea de sensado. En el sensado participativo, las personas tienen un rol activo determinando de manera consciente qué datos recopilar, cómo, dónde, etc. En contraposición, en el sensado oportunista es el propio dispositivo que de manera autónoma recolecta y envía los datos de sus sensores.

Al delegar la tarea de sensado en personas, es necesario pensar estrategias de selección de participantes e incentivos para garantizar calidad en los datos recopilados. Se han estudiado diferentes mecanismos de reclutamiento que responden a diferentes

requerimientos impuestos por el sistema de sensado y el dominio de aplicación. Estos pueden ser abiertos, o restringidos a un grupo de usuarios que cumplan con diferentes condiciones como por ejemplo la disponibilidad espacio-temporal, experiencias anteriores o expertise en el dominio de la aplicación.

Por otra parte, para sostener la motivación de las personas a participar por un tiempo prolongado, se utilizan diferentes incentivos los cuales pueden clasificarse en monetarios o no monetarios, dependiendo de la forma y tipo de recompensa obtenida por los usuarios.

Finalmente, a modo de prueba conceptual, se ha ideado un prototipo de sistema de sensado móvil enmarcado en el paradigma participativo. Dicho prototipo tiene como objetivo monitorear y crear un mapa de la calidad del agua de red que llega a los domicilios de las personas. Para esto, se desarrolló un prototipo de aplicación de software multiplataforma que utiliza la cámara del dispositivo y el GPS para la generación de reportes. El sistema de sensado emplea un mecanismo de reclutamiento abierto e incentivos no monetarios.

Del sistema de sensado móvil propuesto se han especificado alcances, requerimientos funcionales, tipos de usuario y tecnología de implementación.

El trabajo futuro se desprende del alcance del prototipo, el mismo consiste en desarrollar de manera completa el aplicativo, satisfaciendo los requerimientos funcionales planteados. Por otra parte se plantea el desarrollo del servidor central, el cual se comunica con la app para procesar los reportes y atender solicitudes. Finalmente se buscará llevar el uso del prototipo a un escenario real.

## Referencias

- [1] Ashton, K. (2009). That 'internet of things' thing. *RFID journal*, 22(7), 97-114.
- [2] Lueth, K. L. (2015). *IoT basics: Getting started with the Internet of Things*. White paper.
- [3] Tan, L., & Wang, N. (2010, August). Future internet: The internet of things. In 2010 3rd international conference on advanced computer theory and engineering (ICACTE) (Vol. 5, pp. V5-376). IEEE.
- [4] Burhan, M., Rehman, R., Khan, B., & Kim, B. S. (2018). IoT elements, layered architectures and security issues: A comprehensive survey. *Sensors*, 18(9), 2796.
- [5] Statista. Internet de Las Cosas, número de dispositivos conectados en todo el mundo. [Internet] Disponible en <https://es.statista.com/estadisticas/638100/internet-de-las-cosas-numero-de-dispositivos-conectados-en-todo-el-mundo--2020/>
- [6] Mukherjee P. The Smartphone and the Internet of Things [Internet]. 2015. Disponible en: <http://praxis.ac.in/the-smartphone-and-the-internet-of-things/>
- [7] El Khaddar, M. A., & Boulmalf, M. (2017). Smartphone: the ultimate IoT and IoE device. *Smartphones from an Applied Research Perspective*, 137.
- [8] Rehman, H. U., Asif, M., & Ahmad, M. (2017, December). Future applications and research challenges of IOT. In 2017 International Conference on Information and Communication Technologies (ICICT) (pp. 68-74). IEEE
- [9] Ahmed, E., Yaqoob, I., Gani, A., Imran, M., & Guizani, M. (2016). Internet-of-things-based smart environments: state of the art, taxonomy, and open research challenges. *IEEE Wireless Communications*, 23(5), 10-16.
- [10] Malche, T., & Maheshwary, P. (2017, February). Internet of Things (IoT) for building smart home system. In 2017 International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)(I-SMAC) (pp. 65-70). IEEE.
- [11] Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things journal*, 1(1), 22-32.
- [12] Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE communications surveys & tutorials*, 17(4), 2347-2376

- [13] Sabir, M. R., Fahiem, M. A., & Mian, M. S. (2009, January). An overview of IPv4 to IPv6 transition and security issues. In 2009 WRI International Conference on Communications and Mobile Computing (Vol. 3, pp. 636-639). IEEE.
- [14] Mohammed, F. H., & Esmail, R. (2015). Survey on iot services: classifications and applications. *Int J Sci Res*, 4, 2124-7.
- [15] Gigli, M., & Koo, S. G. (2011). Internet of Things: Services and Applications Categorization. *Adv. Internet of Things*, 1(2), 27-31
- [16] Barnaghi, P., Wang, W., Henson, C., & Taylor, K. (2012). Semantics for the Internet of Things: early progress and back to the future. *International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS)*, 8(1), 1-21.
- [17] Mashal, I., Alsaryrah, O., Chung, T. Y., Yang, C. Z., Kuo, W. H., & Agrawal, D. P. (2015). Choices for interaction with things on Internet and underlying issues. *Ad Hoc Networks*, 28, 68-90.
- [18] Yang, Z., Yue, Y., Yang, Y., Peng, Y., Wang, X., & Liu, W. (2011, July). Study and application on the architecture and key technologies for IOT. In 2011 International Conference on Multimedia Technology (pp. 747-751). IEEE.
- [19] Swamy, S. N., Jadhav, D., & Kulkarni, N. (2017, February). Security threats in the application layer in IOT applications. In 2017 International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)(I-SMAC) (pp. 477-480). IEEE.
- [20] Marques, G., Garcia, N., & Pombo, N. (2017). A survey on IoT: architectures, elements, applications, QoS, platforms and security concepts. In *Advances in Mobile Cloud Computing and Big Data in the 5G Era* (pp. 115-130). Springer, Cham.
- [21] Said, O., & Masud, M. (2013). Towards internet of things: Survey and future vision. *International Journal of Computer Networks*, 5(1), 1-17.
- [22] Florea, B. C. (2017, November). Smartphone input/output interface for IoT applications. In 2017 25th Telecommunication Forum (TELFOR) (pp. 1-4). IEEE.
- [23] Muycanal (2016). El smartphone como centro del IoT. [Internet] Disponible en <https://www.muycanal.com/2016/02/22/smartphone-iot>
- [24] Sitio web lámparas inteligentes Philips Hue. Disponible en <https://www.philips-hue.com/es-ar>
- [25] Sitio web cerraduras inteligentes Glue Lock. Disponible en <https://en.gluehome.com/>

- [26] Uddin, M. A., Mansour, A., Le Jeune, D., & Aggoune, E. H. M. (2017, November). Agriculture internet of things: AG-IoT. In 2017 27th International Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC) (pp. 1-6). IEEE.
- [27] Luna, R. M. C., Vaca, K. H. A., & Vásquez, D. A. P. (2017). Observaciones acerca de los dispositivos móviles. *Dominio de las Ciencias*, 3(4), 89-103.
- [28] Statista (2019). Number of smartphone users from 2016 to 2021. Disponible en internet en  
<https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide/>
- [29] Vargas-Patiño, D., & Cardona-Gutiérrez, J. C. (2016). Telefonía móvil: una utopía nacida con el DynaTAC 8000X. *Ventana informática*, (34).
- [30] Farley, T. (2005). Mobile telephone history. *Teletronikk*, 101(3/4), 22.
- [31] Bhalla, M. R., & Bhalla, A. V. (2010). Generations of mobile wireless technology: A survey. *International Journal of Computer Applications*, 5(4), 26-32.
- [32] Mondal, S., Sinha, A., & Routh, J. (2015). A Survey on Evolution of Wireless Generations 0G to 7G. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering-IJARSE*, 1(2), 5-10.
- [33] Mehta, H., Patel, D., Joshi, B., & Modi, H. (2014). 0G to 5G mobile technology: a survey. *J. of Basic and Applied Engineering Research*, 1(6), 56-60.
- [34] Khan, A. H., Qadeer, M. A., Ansari, J. A., & Waheed, S. (2009, April). 4G as a next generation wireless network. In 2009 International Conference on Future Computer and Communication (pp. 334-338). IEEE.
- [35] Morgado, A., Huq, K. M. S., Mumtaz, S., & Rodriguez, J. (2018). A survey of 5G technologies: regulatory, standardization and industrial perspectives. *Digital Communications and Networks*, 4(2), 87-97.
- [36] Okediran, O. O., Arulogun, O. T., Ganiyu, R. A., & Oyeleye, C. A. (2014). Mobile operating systems and application development platforms: A survey. *International journal of advanced networking and applications*, 6(1), 2195
- [37] Esponda, M. (2004). Trends in hardware architecture for mobile devices
- [38] Daponte, P., De Vito, L., Picariello, F., & Riccio, M. (2013). State of the art and future developments of measurement applications on smartphones. *Measurement*, 46(9), 3291-3307.
- [39] Goggin, G. (2006). *Cell phone culture: Mobile technology in everyday life*. Routledge.

- [40] Islam, R., Islam, R., & Mazumder, T. (2010). Mobile application and its global impact. *International Journal of Engineering & Technology (IJEST)*, 10(6), 72-78.
- [41] Wasserman, A. I. (2010, November). Software engineering issues for mobile application development. In *Proceedings of the FSE/SDP workshop on Future of software engineering research* (pp. 397-400).
- [42] Li, X. F., Wang, Y., Wu, J., Jiang, K., & Liu, B. W. (2012). MOBILE OS ARCHITECTURE TRENDS. *Intel Technology Journal*, 16(4).
- [43] Pires, I. M., Garcia, N. M., Pombo, N., Flórez-Revuelta, F., & Spinsante, S. (2018). Approach for the development of a framework for the identification of activities of daily living using sensors in mobile devices. *Sensors*, 18(2), 640.
- [44] Majumder, S., & Deen, M. J. (2019). Smartphone sensors for health monitoring and diagnosis. *Sensors*, 19(9), 2164.
- [45] Lane, N. D., Georgiev, P., & Qendro, L. (2015, September). DeepEar: robust smartphone audio sensing in unconstrained acoustic environments using deep learning. In *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing* (pp. 283-294).
- [45] Ali, S., Khusro, S., Rauf, A., & Mahfooz, S. (2014). Sensors and mobile phones: evolution and state-of-the-art. *Pakistan journal of science*, 66(4), 385.
- [46] Steiniger, S., Neun, M., & Edwardes, A. (2006). Foundations of location based services. *Lecture notes on LBS*, 1(272), 2.
- [47] Nield, D. (2018). All the Ways Smartphone Cameras Have Improved Over the Years. Accedido en Enero 2021. Disponible en internet en <https://gizmodo.com/all-the-ways-smartphone-cameras-have-improved-over-the-1823831802>
- [48] SKAFISK, S. (2017). This is How Smartphone Cameras Have Improved Over Time. Accedido en Enero 2021. Disponible en internet en <https://petapixel.com/2017/06/16/smartphone-cameras-improved-time/>
- [49] Wang, E. J., Zhu, J., Jain, M., Lee, T. J., Saba, E., Nachman, L., & Patel, S. N. (2018, April). Seismo: Blood pressure monitoring using built-in smartphone accelerometer and camera. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-9).
- [50] Miluzzo, E., Wang, T., & Campbell, A. T. (2010, August). EyePhone: activating mobile phones with your eyes. In *Proceedings of the second ACM SIGCOMM workshop on Networking, systems, and applications on mobile handhelds* (pp. 15-20).

- [51] Kitano, K., & Kobayashi, A. (2017, October). Implementation of DFF using a smartphone camera. In 2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) (pp. 1-3). IEEE.
- [52] Hwang, S., & Yu, D. (2012). GPS localization improvement of smartphones using built-in sensors. *International Journal of Smart Home*, 6(3), 1-8.
- [53] Rakhman, A. Z., & Nugroho, L. E. (2014, November). Fall detection system using accelerometer and gyroscope based on smartphone. In 2014 The 1st International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (pp. 99-104). IEEE.
- [54] Su, X., Tong, H., & Ji, P. (2014). Activity recognition with smartphone sensors. *Tsinghua science and technology*, 19(3), 235-249.
- [55] Lane, N. D., Miluzzo, E., Lu, H., Peebles, D., Choudhury, T., & Campbell, A. T. (2010). A survey of mobile phone sensing. *IEEE Communications magazine*, 48(9), 140-150.
- [56] Muralidharan, K., Khan, A. J., Misra, A., Balan, R. K., & Agarwal, S. (2014, February). Barometric phone sensors: More hype than hope!. In *Proceedings of the 15th Workshop on Mobile Computing Systems and Applications* (pp. 1-6).
- [57] Guzik, P., & Malik, M. (2016). ECG by mobile technologies. *Journal of electrocardiology*, 49(6), 894-901.
- [58] Predić, B., Yan, Z., Eberle, J., Stojanovic, D., & Aberer, K. (2013, March). ExposureSense: Integrating daily activities with air quality using mobile participatory sensing. In 2013 IEEE international conference on pervasive computing and communications workshops (PERCOM workshops) (pp. 303-305). IEEE.
- [59] Hasenfratz, D., Saukh, O., Sturzenegger, S., & Thiele, L. (2012). Participatory air pollution monitoring using smartphones. *Mobile Sensing*, 1, 1-5.
- [60] Aram, S., Troiano, A., & Pasero, E. (2012, February). Environment sensing using smartphone. In 2012 IEEE Sensors Applications Symposium Proceedings (pp. 1-4). IEEE.
- [61] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. *Computer networks*, 38(4), 393-422.
- [62] Rueda, J. S., & Portocarrero, J. M. T. (2017). Similitudes y diferencias entre Redes de Sensores Inalámbricas e Internet de las Cosas: Hacia una postura clarificadora. *Revista Colombiana de Computación*, 18(2), 58-74.

- [63] Gilbert, E. P. K., Kaliaperumal, B., & Rajsingh, E. B. (2012). Research Issues in Wireless Sensor Network Applications: A Survey. *International Journal of information and electronics engineering*, 2(5), 702.
- [64] Ganti, R. K., Ye, F., & Lei, H. (2011). Mobile crowdsensing: current state and future challenges. *IEEE communications Magazine*, 49(11), 32-39.
- [65] Du, R., Santi, P., Xiao, M., Vasilakos, A. V., & Fischione, C. (2018). The sensible city: A survey on the deployment and management for smart city monitoring. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(2), 1533-1560.
- [66] Mizouni, R., & El Barachi, M. (2013, September). Mobile phone sensing as a service: Business model and use cases. In *2013 Seventh International Conference on Next Generation Mobile Apps, Services and Technologies* (pp. 116-121). IEEE.
- [67] Ma, H., Zhao, D., & Yuan, P. (2014). Opportunities in mobile crowd sensing. *IEEE Communications Magazine*, 52(8), 29-35.
- [68] Statista (Sept, 2020). Usuarios de teléfonos inteligentes a nivel mundial 2016-2021. Disponible en internet en <https://es.statista.com/estadisticas/636569/usuarios-de-telefonos-inteligentes-a-nivel-mundial/>
- [69] Khan, W. Z., Xiang, Y., Aalsalem, M. Y., & Arshad, Q. (2012). Mobile phone sensing systems: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 15(1), 402-427.
- [70] Restuccia, F., Das, S. K., & Payton, J. (2016). Incentive mechanisms for participatory sensing: Survey and research challenges. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, 12(2), 1-40.
- [71] Laport-López, F., Serrano, E., Bajo, J., & Campbell, A. T. (2020). A review of mobile sensing systems, applications, and opportunities. *Knowledge and Information Systems*, 62(1), 145-174.
- [72] Kanhere, S. S. (2013, February). Participatory sensing: Crowdsourcing data from mobile smartphones in urban spaces. In *International Conference on Distributed Computing and Internet Technology* (pp. 19-26). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [73] Yang, D., Xue, G., Fang, X., & Tang, J. (2012, August). Crowdsourcing to smartphones: Incentive mechanism design for mobile phone sensing. In *Proceedings of the 18th annual international conference on Mobile computing and networking* (pp. 173-184).
- [74] Srivastava, M., Abdelzaher, T., & Szymanski, B. (2012). Human-centric sensing. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 370(1958), 176-197.

- [75] Truong, N. B., Lee, G. M., Um, T. W., & Mackay, M. (2019). Trust evaluation mechanism for user recruitment in mobile crowd-sensing in the Internet of Things. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 14(10), 2705-2719.
- [76] Huang, K. L., Kanhere, S. S., & Hu, W. (2010, October). Are you contributing trustworthy data? The case for a reputation system in participatory sensing. In *Proceedings of the 13th ACM international conference on Modeling, analysis, and simulation of wireless and mobile systems* (pp. 14-22).
- [77] Davari, M., & Amintoosi, H. (2016, October). A survey on participant recruitment in crowdsensing systems. In *2016 6th International Conference on Computer and Knowledge Engineering (ICCKE)* (pp. 286-291). IEEE.
- [78] Khoi, N. M., Casteleyn, S., Moradi, M. M., & Pebesma, E. (2018). Do monetary incentives influence users' behavior in participatory sensing?. *Sensors*, 18(5), 1426.
- [79] Omokaro, O. (2012, September). A framework to promote user engagement in participatory sensing applications. In *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing* (pp. 548-551).
- [80] Krontiris, I., & Albers, A. (2012). Monetary incentives in participatory sensing using multi-attributive auctions. *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*, 27(4), 317-336.
- [81] Gao, H., Liu, C. H., Wang, W., Zhao, J., Song, Z., Su, X., ... & Leung, K. K. (2015). A survey of incentive mechanisms for participatory sensing. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(2), 918-943.
- [82] Reddy, S., Estrin, D., Hansen, M., & Srivastava, M. (2010, September). Examining micro-payments for participatory sensing data collections. In *Proceedings of the 12th ACM international conference on Ubiquitous computing* (pp. 33-36).
- [83] Lee, J. S., & Hoh, B. (2010). Dynamic pricing incentive for participatory sensing. *Pervasive and Mobile Computing*, 6(6), 693-708.
- [84] Jaimes, L. G., Vergara, I. J., & Raij, A. (2016). A location-based incentive algorithm for consecutive crowd sensing tasks. *IEEE Latin America Transactions*, 14(2), 811-817.
- [85] Kantarci, B., & Mouftah, H. T. (2014). Trustworthy sensing for public safety in cloud-centric internet of things. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(4), 360-368.
- [86] Jaimes, L. G., Vergara, I. J., & Raij, A. (2016). A location-based incentive algorithm for consecutive crowd sensing tasks. *IEEE Latin America Transactions*, 14(2), 811-817.
- [87] Anawar, S., & Yahya, S. (2013, November). Empowering health behaviour intervention through computational approach for intrinsic incentives in participatory

sensing application. In 2013 International Conference on Research and Innovation in Information Systems (ICRIIS) (pp. 281-285). IEEE.

[88] Deng, L., & Cox, L. P. (2009, February). Livecompare: grocery bargain hunting through participatory sensing. In Proceedings of the 10th workshop on Mobile Computing Systems and Applications (pp. 1-6).

[89] Boulos, M. N. K., Wheeler, S., Tavares, C., & Jones, R. (2011). How smartphones are changing the face of mobile and participatory healthcare: an overview, with example from eCAALYX. *Biomedical engineering online*, 10(1), 24.

[90] Lane, N. D., Mohammad, M., Lin, M., Yang, X., Lu, H., Ali, S., ... & Campbell, A. (2011, May). Bewell: A smartphone application to monitor, model and promote wellbeing. In 5th international ICST conference on pervasive computing technologies for healthcare (pp. 23-26).

[91] Ahmed, A. A. N., Haque, H. F., Rahman, A., Ashraf, M. S., Saha, S., & Shatabda, S. (2017). A participatory sensing framework for environment pollution monitoring and management. arXiv preprint arXiv:1701.06429.

[92] <https://www.biomonitoreo.com.ar/>

[93] Cochero, J., Di Battista, C. M., & Campos, R. (2017). " AppEAR" y" Caza mosquitos": dos herramientas de ciencia ciudadana para dispositivos móviles que ayudan a contribuir con proyectos científicos a gran escala. In XV Congreso de la RedPOP, "Conexiones, nuevas maneras de popularizar la ciencia"(Buenos Aires, 21 al 25 de agosto de 2017).

[94] <http://www.radiation-watch.org/>

[95] Rana, R. K., Chou, C. T., Kanhere, S. S., Bulusu, N., & Hu, W. (2010, Abril). Ear-phone: an end-to-end participatory urban noise mapping system. In Proceedings of the 9th ACM/IEEE international conference on information processing in sensor networks (pp. 105-116).

[96] Maisonneuve, N., Stevens, M., Niessen, M. E., & Steels, L. (2009). NoiseTube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones. In *Information technologies in environmental engineering* (pp. 215-228). Springer, Berlin, Heidelberg.

[97] Edition, F. (2011). Guidelines for drinking-water quality. *WHO chronicle*, 38(4), 104-108.

[98] Delia, L., Galdamez, N., Thomas, P., Corbalan, L., & Pesado, P. (2015, Mayo). Multi-platform mobile application development analysis. In 2015 IEEE 9th International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS) (pp. 181-186). IEEE.

[99] Delia, L., Thomas, P., Corbalan, L., Sosa, J. F., Cuitiño, A., Cáseres, G., & Pesado, P. (2018, Julio). Development approaches for mobile applications: comparative analysis of features. In Science and Information Conference (pp. 470-484). Springer, Cham.

[100] <https://ionicframework.com/>

[101] <https://ionicframework.com/docs/native/community>

[102] <https://ionicframework.com/docs/native/camera>

[103] <https://ionicframework.com/docs/native/geolocation>

[104] <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/overview?hl=es>

[105] <https://gitlab.com/jffs/trabajoespecialista-sensadomovil.git>