

Aplicación móvil para la monitorización de la contaminación acústica en entornos urbanos a través de técnicas de Gamification

Irene Garcia, Luis E. Rodríguez, Mauricia Benedito, Sergi Trilles,
Arturo Beltrán, Laura Díaz, Joaquín Huerta

Institute of New Imaging Technologies (INIT)
Universitat Jaume I (UJI), Castelló

{irene.garcia, pupo, mauri.benedito, sergi.trilles,
arturo.beltran, laura.diaz, huerta}@uji.es

Resumen

La cobertura completa de datos en entornos urbanos es crucial para monitorizar el estado del área de estudio y detectar, por ejemplo, tendencias y cambios medioambientales. Recoger observaciones de factores ambientales, como la contaminación acústica, a través de aproximaciones clásicas implica el despliegue de Redes de Sensores, cuyo coste de implantación y mantenimiento, podría ser muy alto para las administraciones locales y regionales. Por otro lado, los dispositivos móviles como los *smartphones* incorporan numerosos sensores, por lo que, por ejemplo, pueden tomar muestras de ruido ambiental a través de su micrófono. De esta forma, cada *smartphone* se convierte en un dispositivo de medición de ruido ambiental que cualquier ciudadano puede llevar en su bolsillo. En este artículo presentamos una aproximación para recoger ruido ambiental a través de aplicaciones móviles. Esta aplicación móvil se ha diseñado siguiendo técnicas de *Gamification* para animar al usuario a participar utilizando sus propios *smartphones* personales. De esta forma, se involucra al usuario en la toma y la difusión de mediciones de ruido en sus ciudades que posteriormente, otras partes interesadas pueden usar en su análisis y sus procesos de toma de decisiones.

Palabras clave: *Gamification*, aplicación móvil, monitorización ambiental, contaminación acústica, ruido ambiental, PPGIS, VGI.

1 Introducción

Más de la mitad de la población en la Tierra vive en ciudades y se espera que aproximadamente el 70% lo haga alrededor del año 2050 [1]. Este hecho influye en el crecimiento continuado de la actividad industrial y áreas urbanas, incluyendo tráfico y otras actividades humanas que afectan a las condiciones ambientales, como la contaminación acústica.

Para garantizar un desarrollo sostenible de nuestras ciudades existen políticas Europeas que intentan regular la evolución de estas condiciones ambientales. Entre otras, destaca la European Noise Directive (END) [2] que, adoptada en 2002, establece un marco legal para la evaluación del ruido ambiental. En el artículo 3, se define “ruido ambiental” como “sonido no deseado o perjudicial creado por la actividad humana, incluyendo el ruido emitido por el transporte, tráfico por carretera, tráfico ferroviario, tráfico aéreo y desde sitios con actividad industrial”. En el mismo artículo, también se definen otros conceptos como “molestia” o “efectos perjudiciales para la salud”. Hay autores que afirman que el ruido ambiental puede afectar seriamente a la salud humana. En [12, 13] se discute el conjunto de problemas que podría acarrear una exposición prolongada al ruido ambiental, que, de menor a mayor gravedad, pueden provocar trastornos del sueño, discapacidades auditivas o incluso problemas cardiovasculares o inestabilidad mental.

No se puede detener la actividad diaria de las ciudades, pero es importante determinar el ruido ambiental existente. La contaminación acústica puede ser medida a través de redes de sensores, pero es un fenómeno que ocurre en toda la ciudad con diferente intensidad espaciotemporal. Por tanto, los datos adquiridos podrían no ser suficientes para representar la situación de la ciudad. En este contexto, es importante considerar una forma diferente para la recolección de datos con una resolución temporal y espacial alta y con un bajo coste de despliegue: la participación ciudadana. Involucrar a los ciudadanos en la monitorización del ruido ambiental es un método de adquirir datos en tiempo real muy barato para las administraciones, que podría ayudar a identificar problemas.

En este artículo se describe una aproximación para recoger datos de ruido ambiental en áreas urbanas a través de aplicaciones móviles *gamificadas*. Uno de los problemas que surgen cuando se desarrolla una aplicación para la monitorización ambiental basado en *crowdsourcing*, es el hecho de que el sistema se basa en las medidas tomadas por los usuarios, pero, ¿cómo hacemos para comprometer a los ciudadanos a utilizar esta aplicación? La idea principal es lograr este compromiso mediante la *gamification* del proceso de adquisición de datos para obtener un mapa de contaminación acústica. Uno de los problemas que identificamos en la adquisición tradicional de ruido ambiental a través del móvil es que es necesario convencer al usuario de que tiene que empezar a tomar muestras de sonido y mantener esta práctica a través del tiempo.

Aquí es dónde las técnicas de *gamification* [8] término en inglés para identificar la adopción de técnicas de juego, adquieren una mayor importancia, porque proveen de un mecanismo para motivar a los usuarios a utilizar la aplicación y proporcionar información a la vez que usan una aplicación gamificada. En este artículo proponemos una aproximación general para la recolección de datos de ruido ambiental basada en técnicas de *gamification*. La idea principal al aplicar estas técnicas de monitorización ambiental es animar a los usuarios a participar en el proceso de recolección de datos utilizando sus propios dispositivos *smartphones*. El resultado de esta participación pública es un conjunto de datos de ruido ambiental georeferenciado que podrá ser utilizado posteriormente en otros análisis. Demostramos la aplicación de estas técnicas de *gamification* implementando un prototipo de aplicación móvil, NoiseBattle, como prueba de concepto de esta nueva forma participativa de adquisición de datos

El resto de este documento se estructura de la siguiente forma: En la sección 2 se introduce y discute la problemática general para la monitorización ambiental y se incluye como el trabajo relacionado con este tema. En la sección 3 describimos cómo se han aplicado a este proyecto los conceptos de *gamification*. En la sección 4 comentamos la arquitectura general aplicada durante el desarrollo de este Proyecto. En la sección 5 se exponen los detalles de la implementación del prototipo. En la sección 6 se presenta el prototipo de aplicación móvil en desarrollo y finalmente, en la sección 7, presentamos las conclusiones y algunas líneas de trabajo futuro.

2 Conceptos generales y trabajo relacionado

En esta sección describiremos, en primer lugar, el contexto teórico de nuestro proyecto, relacionado con la monitorización de la contaminación acústica y, a continuación, un análisis del trabajo relacionado con *gamificación* de tareas.

2.1 Monitorización ambiental de contaminación acústica

La monitorización del entorno que nos rodea es una tarea muy importante para controlar el estado del planeta y sus tendencias de desarrollo. Con la tecnología y herramientas adecuadas es posible monitorizar prácticamente cualquier parámetro cuantificable, en nuestro caso, el nivel de ruido en ciudades.

En [3] se describe y aplica el concepto de crear un GIS con Volunteered Geographic Information (VGI), llamado Public Participatory GIS. Los autores definen un PPGIS como el resultado de utilizar técnicas y capacidades GIS por el público en general. Además, en ése artículo, se anima a la comunidad científica a romper las estrategias top-down de distribución de datos geográficos. Los autores afirman que es importante crear nuevas producciones de datos estilo bottom-up, para diseñar sistemas GIS que realmente se adapten a las necesidades de los

usuarios. Un ejemplo de aplicación PPGIS se encuentra en [3], en la ciudad de Canela (Brasil), donde los usuarios pueden escribir comentarios sobre POIs relacionados a salud o educación, como quejas por un menú escolar o preguntar información sobre el patrimonio cultural local.

En [5] podemos encontrar una buena descripción del concepto *Citizens as Voluntary Sensors*. El autor afirma que la humanidad como colectivo, posee una cantidad enorme de conocimiento sobre la superficie de la Tierra y sus propiedades, como nombres de sitios o el estado de una red de transporte. Si hacemos posible que estas personas digitalicen esta información con dispositivos electrónicos, se obtiene una colección de datos en bruto de gran volumen, recogidas por voluntarios, que se puede utilizar en el análisis científico. Siguiendo las guías de PPGIS y de los *Citizens as Voluntary Sensors*, pensamos que sería interesante unir ambos conceptos para aplicarlos en la monitorización de la polución ambiental. En este campo, ya existen algunos intentos:

Según [6] existen tres aproximaciones para evaluar el ruido ambiental: la primera de ellas consiste en aplicar leyes físicas de propagación de ruido considerando fuentes de ruido bien conocidas para así obtener mapas de afección de ruido, mientras que la segunda aproximación se basa en adquirir los datos utilizando redes distribuidas de sensores. Finalmente, el tercer método está basado en la participación directa mediante VGI. En este documento, vamos a extender la idea descrita en [6] desarrollando una aplicación móvil para recoger datos de ruido ambiental en áreas urbanas aplicando durante su desarrollo conceptos de *gamification*. Además, al ser publicados los datos en una plataforma para el mapeo de ruido, estamos contribuyendo al crecimiento de un PPGIS.

2.2 Trabajo relacionado

Actualmente, hay muchos ejemplos de éxito de aplicaciones gamificadas y orientadas a un propósito. Es el caso de Phylo, una aplicación que explota la capacidad natural del ser humano para reconocer patrones visuales, una operación con un alto coste computacional. Phylo presenta secuencias de ADN en el dispositivo móvil en un contexto *gamificado* y engancha a los usuarios preparando una competición entre ellos para conseguir premios y reconocimiento para los ganadores. Es importante considerar las técnicas de *gamification* aplicadas para producir FourSquare, ya que es un caso de éxito de juego social orientado a propósitos empresariales que rompe la barrera entre lo virtual y lo real proporcionando premios físicos a los usuarios.

Finalmente, en cuanto a la recolección de ruido ambiental utilizando participación pública, ya existen algunos proyectos. Por ejemplo, en [15] se presenta un proyecto donde los usuarios pueden contribuir a recoger ruido de una ciudad y publicarlo en la plataforma NoiseTube. La plataforma ofrece una aplicación móvil para enviar los datos recogidos. Otro proyecto que es necesario destacar se

presenta en [14]. En este caso, los autores describen una aplicación móvil para recoger datos de ruido ambiental y añaden la posibilidad de incluir información adicional relacionada con la percepción que tienen los usuarios del ruido medido o su ubicación. En ambos casos, el incentivo para recoger datos, es la mera contribución al proyecto.

3 Aplicación de las técnicas de Gamification

En el paradigma de 'citizens as sensors' descrito en [5] se implementa la idea de recolección de datos de sensores a través de crowdsourcing. Ésta es una forma muy directa de recoger grandes cantidades de datos a un coste muy bajo. No obstante, los usuarios necesitan un incentivo para hacer que los voluntarios recojan los datos de buena gana. En este punto es donde la metodología de *gamification* cumple con su función. En [7] se discute cómo el público en general puede motivarse a participar mostrando los datos de ruido adquiridos públicamente en una plataforma WebGIS a través de mapas o permitiendo el etiquetado de los ruidos medidos para enriquecer esta información de forma subjetiva.

Sin embargo, las aplicaciones sin incentivos atraerán probablemente a usuarios altamente motivados para la colaboración con esta plataforma, simplemente para su satisfacción personal o para contribuir a la ciencia. Estos usuarios cargarán de buena gana la información que recojan a largo término, pero este conjunto de datos, aunque grande, no representará la situación de toda la ciudad en cualquier instante. Gamificar una tarea o problema repetitivo o complejo rompe la barrera entre un problema científico y la ciudadanía y permite a cualquier persona contribuir a la ciencia de forma inconsciente.

Como se puede ver en [8], el compromiso es algo crucial para animar a la ciudadanía a colaborar con un proyecto. Esto puede ser conseguido motivando a los potenciales usuarios, por lo que es importante crear aplicaciones agradables y sencillas de usar que fomenten el uso de las mismas. Según [8], para hacer un buen proceso de *gamification* es importante considerar cuatro conceptos clave: *User Status*, *Access*, *Power* y *Stuff*.

Status: A los usuarios les gusta comparar o compartir su progreso y logros con otros usuarios. Para hacer esto, es necesario dividir el progreso del juego en etapas o niveles. En NoiseBattle, conforme el usuario vaya recogiendo más observaciones de ruido, obtiene más puntos que aumentan nivel en el juego.

Access: Este concepto motiva a los usuarios a desbloquear nuevos atributos del juego, dependiendo de su contribución. Es importante hacer que estos nuevos rasgos sean suficientemente exclusivos para que el hecho de conseguirlos, enganche al usuario más a la aplicación. En el prototipo en desarrollo el concepto

de acceso se garantiza permitiendo al usuario poseer áreas de la ciudad hasta que alguien se las arrebate.

Power: El poder se puede representar dejando a algunos usuarios hacer acciones que sin embargo, no les están permitidas a usuarios menos activos. En NoiseBattle se otorga poder a algunos jugadores dándoles la capacidad de enviar ruidos (o sonidos) a un enemigo durante la batalla. Este tipo de acciones son importantes para mejorar la competición, de forma que se sientan motivados a continuar progresando en el juego para obtener el poder que otro usuario ya tiene.

Stuff: También es importante proveer un conjunto de premios para los usuarios como incentivo. Estos ítems resultan atractivos porque marcan la diferencia entre ellos. Para esta aplicación se ha creado un conjunto básico de avatares y premios.

También resulta importante considerar el análisis de los usuarios objetivo. En este caso, se ha seguido la clasificación encontrada en [9] en el que el autor los divide en 4 tipos diferentes: *Killers*, *Achievers*, *Socializers* & *Explorers*. En nuestro prototipo, el perfil de usuario objetivo es, principalmente, *Achiever*. En esta aplicación la idea es proporcionar un entorno donde el jugador puede ganar puntos y conquistar áreas con el objeto de que el jugador se sienta recompensado por ganar y poder enviar sonidos a otros jugadores. El factor de competición es muy importante para hacer que sus logros sean más satisfactorios.

4 Arquitectura general

Esta sección describe la arquitectura conceptual que hemos usado. La Figura 1 representa la arquitectura general del proyecto. Los prototipos en desarrollo para este proyecto siguen ambos el mismo esquema. Como se puede ver, los módulos están divididos en tres partes: *Mobile Client-side application*, *Middleware Layer* y *Remote Server Side* que se describen a continuación.

La *Mobile application* provee la funcionalidad que permite al usuario tomar medidas, enviarlas al *middleware* y comprobar el progreso general de la batalla en curso. Sugerimos que la aplicación esté dividida en los siguientes módulos: *User Interface*, *Measurement*, *Mapping* y *Connection & Encoding*. El módulo de *User Interface* permite la interacción del usuario con la aplicación de forma que pueda tomar medidas y comprobar su estado en el juego. El módulo de *Measurement* es el encargado de tomar las mediciones de ruido ambiental. El módulo de *Mapping* se encarga de representar las mediciones en el mapa, así como los regalos y áreas conquistadas por los usuarios. Finalmente, el módulo de *Connection & Encoding* se encarga de comunicarse con la capa de *middleware* para enviarle las muestras tomadas y recibir el estado del jugador actualizado.

La capa de *Middleware* tiene como objetivo principal atender todas las peticiones entrantes de muestras de ruido, guardarlas en una base de datos de ruido ambiental y enviar las mediciones al servidor remoto. Esta capa, que debería estar en un servidor intermedio, se encarga también de mantener el estado del usuario actualizado y tiempo real, escribiendo en la base de datos los nuevos datos y enviando a los usuarios de vuelta su estado, mientras que se notifica a los otros usuarios los cambios que se han producido en la partida. Se ha dividido la funcionalidad de esta capa en tres módulos diferentes: *Client Communication*, *Transactional* y *Remote Server Connection*. El primer módulo se encarga de recibir las observaciones tomadas por los diferentes usuarios y pasarlas al módulo *Transactional*, que se encargará de actualizar la base de datos y recalculer el estado de los usuarios en base a la nueva información insertada. El módulo *Remote Server Connection* codificará la información entrante en un formato que acepte el servidor remoto y se la enviará para su almacenamiento.

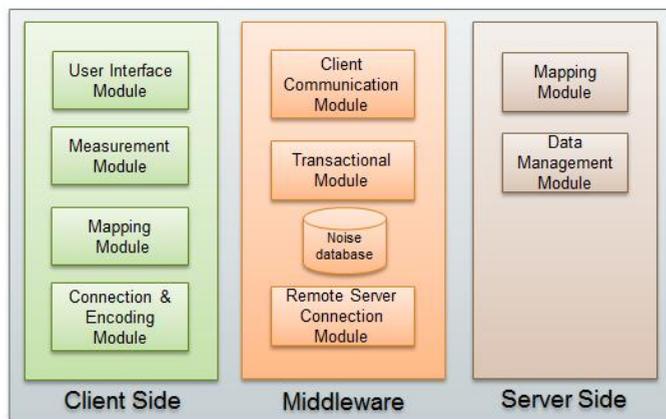


Figura 1. Arquitectura general de la solución propuesta

Finalmente, el *Remote Server Side* es la capa que contendrá todo los datos de ruido ambiental VGI recogidos por los usuarios y que permitirá el análisis por el público en general proporcionando capas de mapas. La funcionalidad de este servidor debería estar estructurada en, al menos, estos módulos: *Mapping* y *Data management*, es decir, un módulo que represente la información que contiene la base de datos y otro para poder realizar operaciones más complejas con los datos.

Para reutilizar recursos disponibles, decidimos contribuir a la Open Noise Map Platform (ONMP) desarrollada por el IFGI (Institute for Geoinformatics, University of Münster) que provee una interfaz Web GIS, dónde es posible ver las mediciones de ruido de forma cómoda a través de mapas

5 Implementación

En esta sección se describe con más detalle qué tecnologías han sido utilizadas para implementar las diferentes capas del proyecto. También se incluye la presentación del prototipo desarrollado, así como imágenes que muestran su funcionamiento.

5.1 Middleware layer

Esta capa ha sido desarrollada utilizando las herramientas de Eclipse para crear Servicios Web basados en SOAP y publicar métodos que pueden ser utilizados desde ese mismo instante. Por tanto, en función de la información que queremos que la aplicación móvil cliente envíe o reciba de esta capa, se deberán crear un conjunto de métodos que pasan la información entre los extremos.

Para el módulo de *Client Communication*, hemos decidido desarrollar nuestro propio conjunto de clases en Java. El módulo *Transactional* está programado también con Java pero usamos Hibernate Tools para la comunicación con la base de datos. Para hacer esto lo más general posible, lo hemos hecho utilizando Data Access Objects, así que podemos proveer una interfaz abstracta sin exponer los detalles de la base de datos. Finalmente, en el caso del módulo de *Remote Server Connection*, utilizamos la API proveída por el servidor para codificar y enviar los datos de ruido.

5.2 Cliente móvil

El cliente móvil es la capa que tiene un desarrollo más avanzado de las partes a realizar de este proyecto ya que la comunicación con el servidor ha sido desarrollada y testeada y también se ha implementado la funcionalidad del cliente necesaria para acceder y ejecutar los servicios web a través de operaciones asíncronas. Además, se ha desarrollado la mayor parte de la interfaz de usuario de la aplicación, de forma que se pueden realizar operaciones como registrar un usuario en un juego, acceder a los juegos disponibles o interactuar con el mapa.

Para la implementación de la *User Interface*, hemos utilizado el SDK de Android, ya que es gratuito y una plataforma en constante crecimiento que ofrece una buena integración con Google Maps, el motor que hemos usado para nuestro módulo de *Mapping*. En cuando al módulo de *Connection & Encoding*, decidimos implementar nuestras propias clases en Java para conectar y enviar los datos al middleware. Para el módulo de *Measurement*, utilizamos parte de la aplicación móvil para la monitorización del ruido ambiental desarrollada por el IFGI llamada NoiseDroid. NoiseDroid es una aplicación móvil de código abierto que permite al usuario tomar muestras de ruido. Esta aplicación tiene su propio sistema de

evaluación de calidad del ruido que proporciona información sobre cómo de útil ha sido el dato de ruido tomado [10, 11]. Debido a su carácter de software libre, reutilizamos código fuente relacionado con la captación y evaluación de muestras de ruido y las incluimos en nuestro módulo de *Measurement*.

6 Prototipo NoiseBattle

Noise Battle es una aplicación móvil gamificada desarrollada para la plataforma Android donde los usuarios tienen que moverse por una ciudad o área urbana tomando muestras de ruido. Actualmente el juego está en desarrollo y no es completamente funcional ni está disponible para la descarga. El objetivo final de este juego desde el punto de vista del usuario es conquistar la ciudad tomando muestras de ruido ambiental.

La ciudad ha sido dividida en celdas que conforman una rejilla, de forma que los usuarios pueden conquistar cada una de las celdas tomando más y mejores medidas que otros usuarios en el área. Durante el juego, los usuarios son recompensados de diferentes maneras: bien midiendo en los alrededores de los premios situados en la rejilla o bien conquistando alguna celda del juego. Las recompensas pueden incluir la posibilidad de enviar ruidos o sonidos a los enemigos, con la intención de mostrar el poder adquirido a otros jugadores. Los rivales tienen la opción de reconquistar las celdas previamente conquistadas realizando mejores o más recientes medidas. Estos mecanismos deberían animar a los jugadores a proporcionar datos de contaminación acústica más precisos y actuales. En cuando a las recompensas, hemos considerado premiar la dispersión de los datos y la calidad de los mismos con la intención de asegurar un número regular de observaciones tomadas en el área de la ciudad.

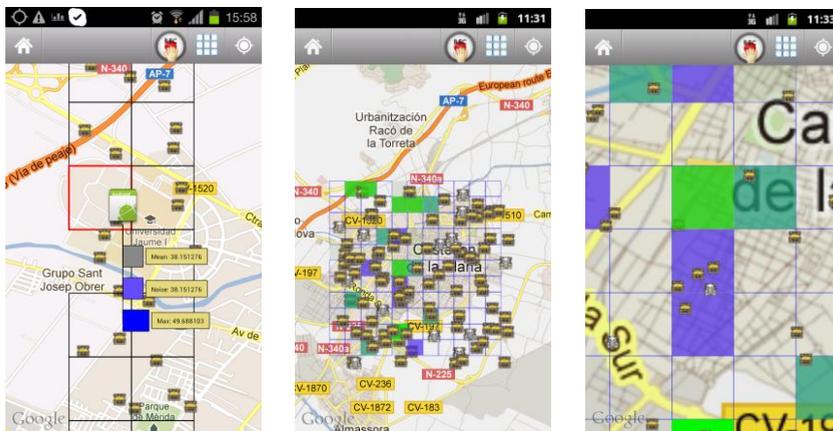


Figura 2. Algunas imágenes de NoiseBattle en funcionamiento.

A parte de esto, también se ha tenido en cuenta de ubicar los lugares de recompensas (o tener una alta densidad de ellos en la zona) en lugares donde hay más interés sobre las condiciones de la contaminación acústica. Las observaciones tomadas son enviadas inmediatamente al servidor *middleware* que las enviará a continuación a la plataforma ONMP. Esta plataforma puede almacenar los datos y hacer que estén disponibles para la visualización o procesado.

En la Figura 2 (izquierda) es posible ver una muestra del campo de batalla donde un juego está a punto de empezar. Como se puede ver, la ciudad se divide en una rejilla donde cada celda representa un área que el usuario puede conquistar a través de las mediciones de ruido ambiental. Para cada medición tomada, es posible ver el valor mínimo, máximo y medio del ruido medido. Después, el jugador puede decidir si enviar esa medición como su “movimiento” en el juego o no. En este prototipo hay algunos ítems situados en la rejilla que representan ubicaciones donde el jugador puede tomar una muestra de ruido y recibir un premio. En la Figura 2 (centro) se puede ver un estado de la batalla en esa ciudad, donde algunos usuarios han empezado a utilizar la aplicación y conquistado algunas áreas. Las áreas conquistadas pueden ser reconocidas por el color de la celda. En este escenario, hay tres jugadores, cada uno de ellos con un color y avatar diferentes compitiendo unos contra otros. En la Figura 2 (derecha) se puede ver el mismo escenario de batalla con un nivel de detalle más grande.

7 Conclusiones y trabajo futuro

En este artículo hemos presentado una aproximación para diseñar aplicaciones para la monitorización del ruido ambiental basado en *crowdsourcing* utilizando técnicas de *gamification*. Hemos presentado una arquitectura conceptual y los componentes necesarios para implementar este tipo de aplicaciones. Para demostrar este concepto, se está desarrollando una aplicación móvil *gamificada* para la monitorización de la contaminación acústica. El uso de este tipo de aplicaciones por la ciudadanía, podría contribuir a incrementar el bienestar de la sociedad urbana a través del muestreo de ruido, localizando áreas con una mayor polución ambiental y así investigar el origen del problema y ayudar a resolverlo.

Gamificar es un proceso interesante para convertir tareas repetitivas y tediosas en otras más ligeras y que comprometen más al usuario a hacer algo. Por tanto, este sistema es capaz de proveer grandes cantidades de datos a las entidades gubernamentales de todos los niveles así como a empresas o instituciones científicas.

Desarrollar aplicaciones *gamificadas* y orientadas a un propósito para plataformas móviles es muy beneficioso debido al amplio abanico de posibilidades y temas sobre los que crear aplicaciones. No obstante, pensamos que en paralelo, se recomienda proveer una aplicación GIS (web o desktop) pura donde sea posible consultar, estudiar y realizar operaciones con el conjunto de datos almacenado para hacer análisis.

Como trabajo futuro, sería interesante implementar mecanismos para el filtrado y la corrección de datos VGI, ya que por su propia naturaleza, algunos de ellos podrían ser falsos o poco precisos para el análisis científico. En cuanto a la funcionalidad del prototipo, dos mejoras podrían ser llevadas a cabo: en este momento, la aplicación divide espacialmente la ciudad en una rejilla. Creemos conveniente cambiar esta cuadrícula por otra división más real que se adapte al distrito de una ciudad o de un barrio, de forma que el usuario compita en divisiones más naturales. La segunda mejora consistiría en implementar una política para la expiración de las mediciones de ruido ambiental tomada. La idea es enganchar a los usuarios a la aplicación para que continúen tomando muestras de ruido eliminando lentamente sus conquistas y puntos debido a la inactividad.

Agradecimientos. Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto GEOCLOUD ref. IPT-430000-2010-11, subprograma INNFACTO 2010 del Ministerio de Ciencia e Innovación; OSMOSIS: Open Source Mobile Sensor Information System. Instituto IMPIVA y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (ERDF), ref. IMPIVA I+D IMIDTA/2009/793 and IMIDTA/2010/24

Referencias

1. United Nations: Report about State of the World's Cities 2010/2011: Bridging the urban divide, (2011).
2. European Parliament: Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise, (2002)
3. Bugs, G., Granell, C., Fonts, O., Huerta, J., Painho, M.: An assessment of Public Participation GIS and Web 2.0 technologies in urban planning practice in Canela, Brazil. *Cities*, 27 (3), pp. 172-181 (2010).
4. Nyerges T., Barndt, M., Brooks, K.: Public participation geographic information systems. Proceedings of Auto-Carto 13, Seattle, WA, American Congress on surveying and mapping. Bethesda, MD. Pp. 224-233 (1997).
5. Goodchild, M.: Citizens as Voluntary sensors: spatial data infrastructure in the world of Web 2.0. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research* 2, 24-32 (2007).
6. Maisonneuve, N., Stevens, M., Ochab, B.: Participatory noise pollution monitoring using mobile phones. *Information Polity* 2010, 15, 51-71. (2010).

7. Maisonneuve, N., Stevens, M., Niessen, ME., Hanappe, P., Steels, L.: Citizen Noise Pollution Monitoring. Proceedings of the 10th International Digital Government Research Conference (2009).
8. Zichermann, G., Cunningham, C.: Gamification by Design. Implementing Game Mechanics in Web and Mobile Apps. O'Reilly Media, Inc (2011).
9. Bartle Richard. Hearts, clubs, diamonds, spades: Players who suits MUDs. (1996) <http://www.mud.co.uk/richard/hcnds.htm>
10. Foerster, T., Jirka, S. et al. Integrating Human Observations and Sensor Observations – the Example of a Noise Mapping Community. In Proceedings of Towards Digital Earth Workshop at Future Internet Symposium. Berlin, Germany, September 2010; CEUR-WS: Aachen, Germany, 2010; Volume 640. (2010).
11. Everding, T., Jürrens, E., Andrae, S.: In-stream Validation of Measurements with OGC SWE Web Services. Second International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications and Services. Pp. 93-98 IEEE Computer Society (2010).
12. Goines, L., Hagler, L.: Noise Pollution: A modern plague. Southern Medical Journal, Volume 100, pp 287-294 (2007).
13. Trombetta Zannin, PH., Belisário Diniz, F., Alves Barbosa, W.: Environmental noise pollution in the city of Curitiba, Brazil. Journal of Applied Acoustics 63, pp. 351-358 (2002).
14. Bilandzic, M., Banholzer, M., Peev, D., Georgiev, V., Balagtas-Fernandez, F., De Luca, A.: Laermometer – A Mobile Noise Mapping Application. Proceedings of NordiCHI2008, October 20-22. (2008).
15. Maisonneuve, N., Stevens, M., Niessen, ME.: NoiseTube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones. Information Technologies in Environmental Engineering (ITEE 2009). Proceedings of the 4th International ICSC Symposium, Thessaloniki, Greece, May 28-29. (2009).
16. D'Hondt, E., Stevens, M., Jacobs, A.: Participatory noise mapping works! An evaluation of participatory sensing as an alternative to standard techniques for environmental monitoring.