

# LOCALIZACIÓN EN ESPACIOS INTERIORES DE DISPOSITIVOS MÓVILES POR MEDIO DE TECNOLOGÍAS WIFI, BASE PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES SOCIALES

**Carlos Andrés Gómez Ruiz**

**Universitaria Agustiniana  
Bogotá, Colombia**

## **Resumen**

Este artículo presenta el desarrollo de la investigación sobre localización de dispositivos en redes WiFi, para el desarrollo de aplicaciones sociales. Se parte del estudio de la naturaleza de los errores en la radiación de señales WiFi en interiores y su afectación en la localización de dispositivos WiFi, el desarrollo de una metodología de mitigación del error, el aprovechamiento de las redes WiFi ampliamente difundidas y la presentación de posibles aplicaciones TIC sociales cuya base es la localización del usuario, como lo son la guía de personas en condición de discapacidad visual.

**Palabras clave:** localización; WiFi; aplicaciones TIC

## **Abstract**

*This paper presents the research on locating devices in WiFi networks, for the development of social applications. It is part of the study of the nature of the errors in indoor radiation of WiFi signals and its effect on the location of WiFi devices, the development of a mitigation of the error, the widespread use of WiFi networks and the presentation of possible ICT social applications whose base is the location of the user, such as guide people living in visual impairment.*

**Keywords:** location; WiFi; ICT applications

## 1. Introducción

La localización de dispositivos y por medio de estos, de personas, ha sido un área de gran desarrollo en las últimas décadas ya que ha brindado herramientas a una gran cantidad de labores que antes dependían de complejos métodos para ubicarse en el espacio. Sin embargo los desarrollos se han basado en grandes tecnologías aplicables a escala mundial y de uso en espacios exteriores exclusivamente, como es el caso del Sistema de Posicionamiento Global 'GPS'.

La localización en ambientes de interiores basada en dispositivos modernos de uso masivo, como los dispositivos móviles, es un área actual de investigación y desarrollo que ha empezado a generar productos para diferentes aplicaciones, sin embargo la estimación del error en estas mediciones, sus fuentes y la forma como se propaga, que evita tener mayor exactitud en la localización, aún presenta un área pendiente de estudio.

Con la reducción del error en la localización de dispositivos móviles masivos mediante tecnologías Wi-Fi será posible el desarrollo de productos que puedan acoplarse a la gran cantidad de variables presentes en los ambientes de interiores (ausentes en los espacios exteriores abiertos) tan complejos y masivos como hospitales públicos, centros educativos, centros comerciales, etc.

Es necesario diseñar una solución que aproveche las redes WiFi masivamente desplegadas en entornos urbanos, y no dependa del desarrollo de nuevas redes o la instalación de nuevos dispositivos; esto generará una alternativa sustentable y de fácil implementación.

Por otro lado, la localización del usuario es una de las grandes necesidades para el desarrollo de aplicaciones que solucionen problemas de los ciudadanos, debido a ello el desarrollo de sistemas que aprovechan la localización en exteriores guiada por servicios universales como GPS, ha crecido de forma importante brindando miles de aplicaciones disponibles. Sin embargo no existen dichos sistemas para el entorno de interiores donde la ubicación exterior no es viable. Además existen poblaciones que requieren de forma urgente estas soluciones tecnológicas para ganar autonomía en los quehaceres normales del ciudadano, el caso particular lo representan las personas con discapacidad visual. También existen necesidades de tipo humanitario que necesitan la localización de personas en interiores para casos de emergencias como los derrumbes en minas e instalaciones subterráneas. El desarrollo de un medio confiable y preciso de ubicación de dispositivos WiFi usando las infraestructuras de redes inalámbricas ya desplegadas, dará la base para estas y muchas más aplicaciones sociales.

## 2. Localización en interiores usando redes wifi

El estudio del estado del arte de investigaciones respecto a la localización de dispositivos por redes WiFi, permitió identificar los retos que implica esta localización y algunas de las metodologías planteadas para afrontarlos.

Los ambientes de interiores se caracterizan porque las ondas de radiofrecuencia se propagan por múltiples caminos debido a los fenómenos físicos asociados a éstas y a la tecnología WiFi, como la difracción, absorción y reflexión de ondas electromagnéticas, la disposición y cantidad de antenas en los equipos activos, etc. Por otro lado, los cambios en las condiciones atmosféricas como la temperatura también puede afectar la propagación de las ondas de radio y su correspondiente potencia con la que la señal es recibida (RSSI - Received Signal Strength Indication) . Además, la frecuencia de 2.4GHz que ha sido ampliamente usada para el desarrollo de redes WiFi, es la frecuencia de resonancia del agua, así que las personas absorben ondas electromagnéticas en la banda de 2.4GHz (Ladd, et al., 2002). Lo anterior implica una gran incertidumbre en las posibles predicciones de radiación en interiores y en una fuente de errores.

Los ambientes de interiores se caracterizan por tener gran cantidad de obstáculos para la comunicación directa entre los equipos, constituyendo escenarios de no línea de vista NLOS -Non Line Of Sight- (Kaemarungsi, 2004). Esta condición vuelve mucho más difícil e imprecisa la interpretación de los datos relativos a la localización, que llegan al dispositivo móvil WiFi, por lo anterior, la mayoría de esfuerzos se orientan a trabajar escenarios de obstrucción de la línea de vista. Muchas de las técnicas de identificación, mitigación y localización en escenarios NLOS han sido diseñadas basándose en la variable de RSSI (Zekavat, et al., 2011).

Otro aspecto importante que ha orientado las investigaciones de sistemas de localización de dispositivos móviles, es la necesidad de reutilizar la infraestructura existente y ampliamente difundida en espacios de interiores, como lo son las redes WiFi. Los puntos de acceso (AP Access Points) de las redes WiFi, como indicadores de localización, eliminan la necesidad de costos de infraestructura adicional (Lee, et al., 2013).

Debido a la compleja naturaleza y comportamiento de la propagación de ondas de radiofrecuencia en espacios interiores, su difícil predicción y su comportamiento inestable, no es posible confiar que el nivel de potencia RSSI corresponda directamente con la distancia de separación entre los dispositivos de la red WiFi, condición necesaria para aplicar técnicas de localización como la triangulación; así que la técnica más ampliamente usada es la basada en el estudio de la recepción de la potencia de señal RSSI en el espacio interno que desea ser usado para la localización, proceso llamado 'fingerprinting'. En la mayoría de los trabajos presentes en la literatura de localización WiFi según Lee, et al. (2013), Nuaimi, et al. (2011), Bahl, et al. (2000), Kaemarungsi, et al. (2004), Descamps-vila, et al. (2014), Moura (2007), el proceso de localización se hace en dos etapas. En la primera etapa, o de calibración, se construye una base de datos que almacena la información de las mediciones de RSSI de las señales provenientes de los diferentes AP que se encuentran en el ambiente a estudiar. Estas mediciones se hacen con un dispositivo móvil que realiza observaciones en las diferentes ubicaciones físicas del ambiente. Esta base de datos se suele llamar radio-map o mapa de RSSI. En la segunda etapa, o de localización, el dispositivo a ser localizado toma medidas de RSSI de su posición y son comparadas con las posiciones grabadas en la base de datos de RSSI. A partir de esa comparación se realiza la

localización del dispositivo (Moura, 2007). El método que se usa para hacer la comparación de los datos en la estimativa de localización es lo que diferencia cada método desarrollado.

Descamps-vila (2014) realiza un trabajo experimental en el que se parte del análisis de distancia euclidiana expuesto por el proyecto RADAR (Bahl, et al., 2000), para aplicarle técnicas de filtrado probabilístico a las mediciones de RSSI en la etapa de calibración del fingerprinting. Se propone el uso de filtrado de mediciones que no satisfagan un umbral dado de desviaciones estándar, con lo cual se logra medir la dispersión estadística de las muestras, descartando mediciones inestables que son las fuentes comunes de error.

### 3. Errores en la localización de dispositivos móviles por redes wifi

Luego de identificar la metodología de localización de dispositivos por redes WiFi, se realizó su implementación en un ambiente de interiores con el fin de medir nuevamente sus resultados, poder identificar fuentes de error y proponer mejoras a esa propuesta.

Se aplicó la metodología diseñada por Descamps-vila (2014) en un espacio de interiores según la figura 1.

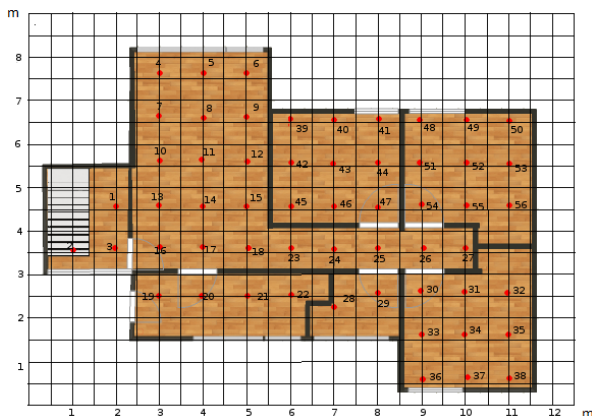


Fig 1. Plano de espacio estudiado y ubicación de los puntos de medición aplicados.

Para la toma de muestras de potencias de RSSI se realizó un aplicativo para teléfonos móviles con sistema operativo Android 4.0 que realiza escaneo de las redes WiFi durante 20 segundos; fueron tomadas 10 muestras de las redes WiFi, es decir, una muestra cada 2 segundos. Esta información es almacenada en una base de datos local. Las mediciones se realizaron colocando el teléfono en posición horizontal, siempre con la misma orientación y sobre una superficie de plástico de 1.2 metros de altura.

Se aplicó la metodología propuesta por Descamps-vila (2014) a la construcción del mapa de RSSI y a la localización de muestras de usuario tomadas en 10 ubicaciones diferentes dentro del espacio. Se obtienen los resultados resumidos en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados de localización según metodología propuesta por Descamps-vila (2014)

Ubicación	Posición Real		Posición Calculada con Desviación estándar		Precisión (m)		Distancia de Error (de)	
	X	Y	X	Y	X	Y	Metros	
1	4,5	5,2	3,43	5,99	1,07	0,79	1,33	
2	5,5	2,5	6,17	2,68	0,67	0,18	0,70	
3	7	3,7	5,71	3,66	1,29	0,04	1,29	
4	6,5	5,7	5,41	3,28	1,09	2,42	2,66	
5	8	4,7	7,32	4,98	0,68	0,28	0,74	
6	8	2,5	7,01	4,23	0,99	1,73	1,99	
7	9,5	5,2	7,30	5,00	2,20	0,20	2,21	
8	10,5	4,7	10,00	5,69	0,50	0,99	1,11	
9	10,5	2,2	10,04	1,24	0,46	0,96	1,06	
10	9	1,7	9,66	1,06	0,66	0,64	0,92	

La medición de la *distancia de error (de)* se halla mediante el cálculo de la distancia euclidiana entre la posición calculada y la posición real:

$$de(P) = \sqrt{(X_p - X_k)^2 + (Y_p - Y_k)^2} \quad (1)$$

Y la precisión en la medición es la diferencia entre la posición calculada y la real.

$$Precision_x = (X_p - X_k) \quad (2)$$

$$Precision_y = (Y_p - Y_k)$$

donde  $P$  hace referencia a cada una de las 10 posiciones estudiadas,  $X_p$  y  $Y_p$  indican las coordenadas calculadas del dispositivo, y  $X_k$  y  $Y_k$  son las coordenadas reales de la ubicación del dispositivo.

La distancia de error ( $de$ ) mínima, la distancia máxima y la desviación estándar de los resultados de la tabla 1 se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Análisis de resultados de la tabla 1

Desv Est $\sigma$	0,66
Max	2,66
Min	0,70
Promedio	1,40

Lo anterior muestra que los resultados según la metodología propuesta por Descamps-vila (2014) es más o menos alta, con errores poco estables.

Se detectaron errores asociados a la interpretación de los fenómenos de radiación y su redundancia en el muestreo estadístico de potencias RSSI propuestos. Se implementaron laboratorios de prueba de la metodología estudiada que permitió corroborar los altos errores obtenidos en la localización.

#### 4. Metodología propuesta

Se propuso una metodología mejorada, basada en la corrección de los errores encontrados en la metodología propuesta por Descamps-vila (2014).

En la mayoría de los puntos hay una gran cantidad de redes que son visibles solo unas pocas veces de entre todas las posibles, es decir, tienen un porcentaje de aparición bajo.

Las redes de bajo porcentaje de aparición corresponden a las redes distantes, que se perciben con baja potencia y comportamiento inestable. Por otro lado, las redes con porcentaje de aparición alto corresponden a las redes WiFi relativamente estables, cuya potencia de recepción no está en los umbrales bajos, y que presentan un escenario confiable de medición. Así se implementó un primer criterio de filtrado, mostrado en la figura 2a, en el cual se omiten todas las redes cuyo porcentaje de aparición sea menor o igual al 60%.

Con este primer criterio de filtrado se evita el uso de señales WiFi altamente inestables y poco confiables, en la etapa de calibración y en la etapa de localización.

Luego se propone un análisis estadístico para detectar las medidas atípicas en aquellas redes que han superado el filtro. Se realizó análisis de boxplot a cada una de las redes de alto porcentaje de aparición en todos los puntos de medición de la calibración.

El análisis de boxplot muestra que las redes analizadas son susceptibles de tener mediciones atípicas fruto de las variaciones en el ambiente, los múltiples caminos en las propagaciones, y hasta la metodología de recopilación de las muestras. Sin embargo si se omiten esos valores atípicos, se obtienen muestras de gran información y que sí permiten caracterizar cada nodo de medición. El análisis de boxplot también permite entender la simetría de las muestras y la dispersión de las ellas. Se ejemplifica esta situación en la figura 2b.

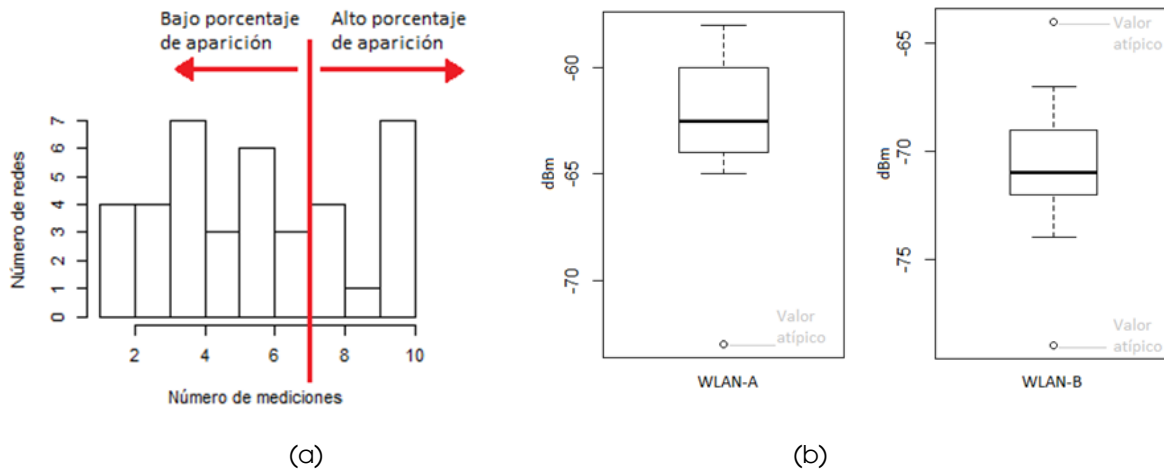


Fig 2. (a) Definición de redes de bajo y alto porcentaje de aparición, según histograma. (b) Ejemplo de análisis de *boxplot* para una red WiFi.

Según lo anterior, el segundo filtro a aplicar es el de las muestras que son valores atípicos según la técnica de boxplot. No se omiten redes WiFi para su uso en el proceso de calibración o en el de localización, sino que se le hacen más estables.

Para la construcción del vector de mediciones RSSI se aplica el filtro de Kalman que es una poderosa herramienta para reducir el ruido en las mediciones y poder predecir una medición estable. El filtro de Kalman para un modelo estático, como es el caso de una medición individual de la potencias RSSI de una AP en una ubicación específica, es esencialmente un conjunto de ecuaciones que implementa un estimador del tipo predictor - corrector que es óptimo para minimizar la covarianza del error (Welch, 2001).

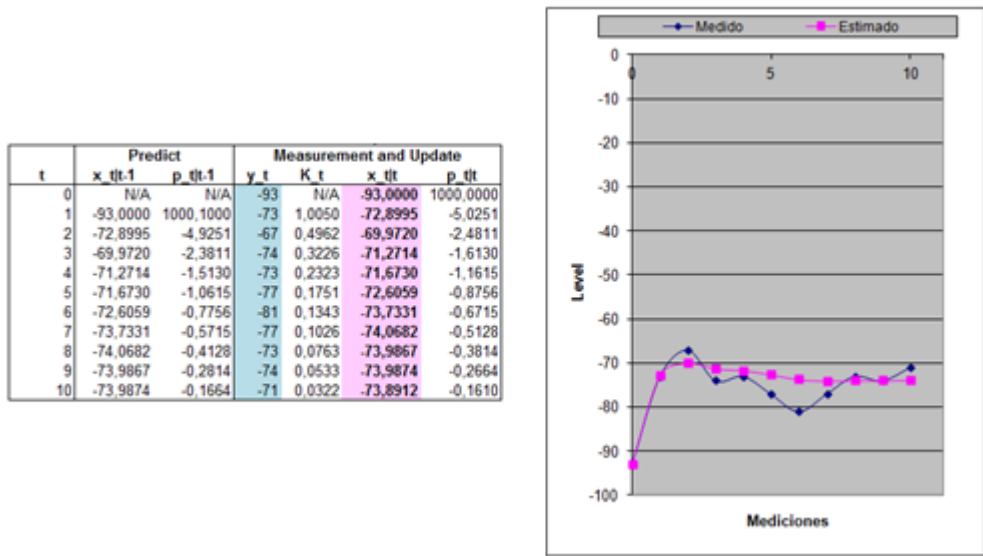


Fig. 3. Ejemplo de aplicación del filtro de Kalman para el cálculo de los valores de los vectores de RSSI en las mediciones de dos AP en un lugar específico.

En la Fig 3 la curva azul representa la gráfica de los valores medidos y la curva rosa es la estimación de valores según el Filtro de Kalman. Para construir los vectores de medidas y el mapa de RSSI se toma el último valor ( $\mu_t$  más estable) estimado por el filtro de Kalman.

Con estos vectores se construyó el Mapa de RSSI, a través de la matriz de calibración.. Para la construcción de los vectores de las muestras de los dispositivos a localizar se aplicó la misma metodología propuesta.

La tabla 3 muestra cómo, con los mismos valores de análisis de Laia Descamps-Vila (2014), la metodología propuesta permite la reducción del error absoluto (distancia de error) en la localización de dispositivos WiFi en interiores.

Tabla 3. Análisis de resultados.

	Distancia de Error (de) con Desviación estándar	Distancia de Error (de) con Boxplot y FiltroK
Desv Est $\sigma$	0,66	0,48
Max	2,66 m	1,87 m
Min	0,70 m	0,24 m
Promedio	1,40 m	0,91 m

Reducción de la Distancia de Error (de) en Metodología propuesta vs metodología de Desviación estándar	
Desv Est $\sigma$	27,8%
Max	29,5%
Min	65,1%
Promedio	35,2%

De la tabla 3 se deduce que la metodología propuesta tiene una exactitud en la localización, representada por la distancia de error, de entre 0.2m y 1.87m, y en promedio este error está por debajo de 1m.

## 5. Desarrollo de aplicaciones para asistencia a población con discapacidad visual

Todo el sistema de localización está siendo implementado en dispositivos móviles actuales de alta difusión, particularmente dispositivos con Sistema Operativo Android e interfaz de red WiFi. Se realizaron estudios sobre el consumo de recursos que implica la ejecución de los algoritmos de localización en varios modelos de estos teléfonos móviles encontrando que no presentan problema y la solución es fácilmente usable en la amplia mayoría de dispositivos.

Se están realizando estudios de las técnicas de desarrollo de aplicaciones para uso por parte de personas con discapacidad visual y se crean métodos de uso accesible y realimentación al usuario de forma accesible (audible).

Se está realizando el desarrollo de un primer aplicativo piloto para dispositivos móviles Android que permitan automatizar los análisis necesarios para la etapa de calibración del fingerprinting, y generar la matriz de potencias RSSI sin necesitar de infraestructura externa, y que use la matriz de potencias RSSI generada, para correr los algoritmos de localización y así brindar información de la localización del usuario con y sin discapacidad visual.

Se esbozan futuros trabajos de investigación asociados a la predicción de desplazamientos y movimientos, sugerencias de rutas a destinos, y atención a otros tipos de discapacidad.

## 6. Referencias

- Bahl, P., & Padmanabhan, V. N. (2000). RADAR: an in-building RF-based user



- location and tracking system. Proceedings IEEE INFOCOM 2000. Conference on Computer Communications. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (Cat. No.00CH37064), 2, 775-784. doi:10.1109/INFCOM.2000.832252
- Descamps-vila, Perez-Navarro, & Conesa, J. (2014). RSS and sensor fusion algorithms for indoor location systems on smartphones. Connecting a Digital Europe Through Location and Place. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography 2014, pp 197-214
  - Kaemarungsi, K., & Krishnamurthy, P. (2004). Properties of Indoor Received Signal Strength for WLAN Location Fingerprinting. The First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, MOBIQUITOUS, pp 14-23
  - Ladd, A. M., Bekris, K. E., Rudys, A., Kavradi, L. E., Wallach, D. S., & Marceau, G. (2002). Robotics-based location sensing using wireless ethernet. Proceedings of the 8th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking - MobiCom '02, 227. doi:10.1145/570673.570674
  - Nuaimi, K. Al, & Kamel H. (2011). A Survey of Indoor Positioning Systems and Algorithms
  - Moura, I. (2007). WBLs: um sistema de localização de dispositivos móveis em redes Wi-Fi.
  - Prasithsangaree, P., Krishnamurthy, P., Chrysanthis, P. K., & Program, T. (2002). On indoor position location with wireless LANs. 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, vol. 2, pp. 720-724.
  - Welch, G. & Bishop, G. (2001) An Introduction to the Kalman Filter. En: Proceeding of SIGGRAPH 2001. ACM Press
  - Zekavat et al. (2011). Handbook of Position Location. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
  - Lee, J., Yoon, C., Park, H., & So, J. (2013). Analysis of Location Estimation Algorithms for Wifi Fingerprint-based Indoor Localization.

## Sobre los autores

- **Carlos Andrés Gómez Ruiz.** Magister en Software Libre, Especialista en Gerencia Estratégica de Telecomunicaciones, Ingeniero de Telecomunicaciones. Docente investigadores UniAgustiniana para el programa de Ingeniería de Telecomunicaciones. carlos.gomezr@uniagustiniana.edu.co

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2015 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)