

Universidad Siglo 21



Trabajo final de grado. Trabajo de investigación en tecnologías informáticas

Carrera: Ingeniería en Software

Plataformas de Posicionamiento Interno para

Hogares Inteligentes

Indoor Positioning Platforms for Smart Homes

Autor: Matías Sebastián Flores

Legajo: SOF01144

Tutor: Jorge Humberto Cassi

Córdoba, julio de 2021

## Índice

<b>Resumen</b>	<b>2</b>
<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>Introducción</b>	<b>4</b>
<b>Métodos</b>	<b>7</b>
Diseño	7
Participantes	8
Instrumentos	9
Análisis de datos	9
<b>Resultados</b>	<b>10</b>
<b>Discusión</b>	<b>12</b>
<b>Referencias</b>	<b>15</b>

## Resumen

Un Hogar Inteligente permite a sus ocupantes monitorear y controlar electrodomésticos de manera remota. Dado que la tecnología del GPS exige una línea directa de visión con los satélites, no es posible utilizarla dentro del hogar. Esta investigación se orientó en la búsqueda de tecnologías alternativas para uso en entornos cerrados. Mediante el análisis de documentación bibliográfica se evaluó el estado de madurez de soluciones de Posicionamiento Interno disponibles en el mercado; las plataformas elegidas fueron Navigine Tracking, Indoors, Insoft, RedPin y Find. Se tuvo como objetivo averiguar la posibilidad de utilizarlas para detectar dispositivos a nivel de habitación en Hogares Inteligentes. Se profundizó en aspectos como las tecnologías de medición soportadas, algoritmos de estimación utilizados, diferencias entre la exactitud teórica y la anunciada, funcionamiento en condiciones adversas y viabilidad técnica de integración con asistentes de Hogar Inteligente como Google Assistant o Apple HomeKit. Finalmente, se concluyó que la implementación es tecnológicamente factible desde el punto de vista de las plataformas analizadas.

**Palabras clave:** posicionamiento interno, hogar inteligente, detección de presencia.

## **Abstract**

A Smart Home allows its occupants to monitor and control appliances remotely. In addition, GPS can't be used indoors because it requires a direct line of sight with satellites. This research was oriented in search of alternative technologies for use in closed environments. Through the analysis of bibliographic documentation, the maturity of Indoor Positioning solutions was evaluated; the chosen platforms were Navigine Tracking, Indoors, Insoft, RedPin and Find. The objective was to find out the possibility of using these platforms to detect devices at room-level accuracy in Smart Homes. It delved into aspects such as the supported measurement technologies, estimation algorithms used, differences between theoretical and announced accuracy, operation in adverse conditions and technical feasibility of integration with Smart Home assistants such as Google Assistant or Apple HomeKit. Finally, it was concluded that the implementation is technologically feasible from the point of view of the platforms analyzed.

**Keywords:** indoor positioning, smart homes, presence detection.

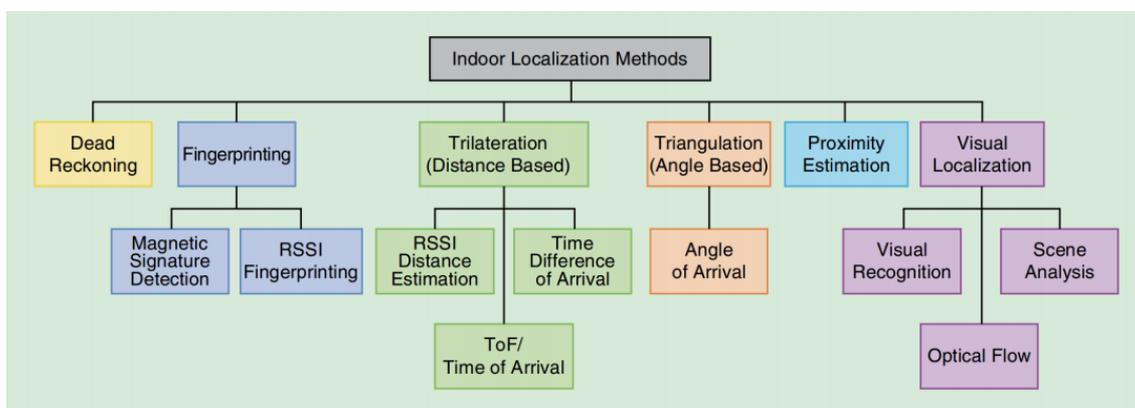
## Introducción

Según Geeng y Roesner (2019) usamos el término Hogar Inteligente (HI) para referirnos a un hogar que contiene dispositivos informáticos que ayudan con la automatización, uso remoto y detección. Este término a menudo se superpone con el de Internet de las cosas (IoT), que se refiere en términos generales a los dispositivos conectados a Internet, aunque algunos dispositivos domésticos inteligentes pueden solo funcionar dentro de una red local.

Zeng, Mare y Roesner (2017) exponen que un HI es aquel que permite a sus ocupantes monitorear y controlar un amplio rango de electrodomésticos de manera remota e inteligente. Con la aparición de plataformas como Samsung SmartThings y Apple Homekit, o de dispositivos conectados como Amazon Echo, Google Home y lámparas Philips Hue, los usuarios cuentan con herramientas para configurar su propio HI conectado y automatizado.

Para Majumder, et al. (2017) a medida que el mundo avanza rápidamente hacia la nueva era de IoT, un HI completamente funcional está más cerca de la realidad que nunca. Integrar tecnología de salud electrónica y vida asistida sería un ejemplo de una aplicación que potencialmente puede desempeñar un papel fundamental en la revolución del sistema de atención médica para las personas mayores.

En la actualidad existe una gran cantidad de métodos de localización interna; esta investigación se basó particularmente en las tecnologías que están disponibles en los teléfonos inteligentes, la figura 1 muestra todos aquellos métodos que pueden implementarse gracias a la complejidad de los sensores encontrados en ellos.



**Figura 1.** Fuente: Li Puma, Rodriguez Nicastro y de Rochebouët (2019)

Para Acosta, Toloza y Kornuta (2013) calcular la posición relativa de un Dispositivo Móvil (DM) consiste en obtener información acerca de la posición de dicho dispositivo con respecto a distintos puntos ubicados en un espacio predeterminado. Las técnicas de cálculo de posición se clasifican según la tecnología del sensor utilizado en Tiempo de Arribo (ToA), Ángulo de Arribo (AoA) e Indicador de Potencia de Señal Recibida (RSSI). En el caso de RSSI existen dos modelos de estimación de posición, el Modelo de Propagación de la Señal que se basa en la aplicación de modelos matemáticos que determinan el comportamiento de la señal y el Modelo Empírico que consiste en la comparación de parámetros preestablecidos mediante una lectura patrón almacenada y una lectura actual del sensor. Según Cheng, Chawathe, LaMarca y Krumm (2005), dentro del modelo empírico, la técnica de Huella Dactilar (HD) es la más utilizada dado que puede tener una precisión de hasta 2 metros en espacios cerrados y hasta 10 metros en espacios abiertos.

Según Kornuta, Acosta y Toloza (2013) los servicios basados en localización utilizando la tecnología Wi-Fi han tomado protagonismo debido a que permiten calcular la posición de un DM utilizando la infraestructura existente.

Una rápida investigación sobre las plataformas de HI actuales arrojó que sólo son capaces de detectar presencia a nivel de hogar, es decir si un dispositivo está en casa o no. A su vez, se identificó que un rasgo compartido entre las distintas plataformas es la configuración de habitaciones que posteriormente se utilizan para agrupar los dispositivos conectados. De esta manera, localizar un DM dentro de una habitación permite personalizar la experiencia de usuario a tal punto de hacer posible el encendido de las luces de un cuarto simplemente ingresando a él con un móvil en el bolsillo.

La idea de investigación es entonces analizar la posibilidad de mejorar la experiencia de uso de las soluciones de HI mediante la inclusión de una plataforma de PI que permita detectar la presencia de un DM dentro de una habitación. Delimitando el problema de investigación a soluciones de PI que no requieren hardware adicional.

Lo expuesto anteriormente llevó al planteo de la siguiente pregunta de investigación: ¿En la actualidad es posible una solución que integre detección de presencia de dispositivos móviles a nivel de habitación para Hogares Inteligentes?

Como principal beneficio de esta investigación se puede destacar que ayudó a la generación de conocimiento sobre las soluciones de PI y HI. A su vez, contribuyó al entendimiento de teorías y tecnologías de posicionamiento.

Se establece entonces como objetivo principal de esta investigación, analizar la aplicación de plataformas de Posicionamiento Interno a fin de conocer el estado de madurez de las soluciones disponibles en el mercado y la posibilidad de utilizarlas para detección de presencia a nivel de habitación en Hogares Inteligentes.

A su vez, se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Identificar plataformas de PI disponibles en el mercado mediante análisis de documentos para entender su grado de madurez.

- Examinar las características particulares de cada plataforma identificada para evaluar su posible implementación técnica y operativa.
- Valorar el aporte potencial de cada plataforma identificada para determinar su utilidad dentro de una solución de HI.

## **Métodos**

### *Diseño*

Esta investigación tuvo un alcance descriptivo dado que apuntó a visibilizar el estado actual de las plataformas de PI. Los estudios descriptivos miden y evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar. Desde el punto de vista científico, describir es medir. Esto es, en un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se miden independientemente para describir lo que se investiga. (Sampieri, Collado y Baptista Lucio, 2010).

La investigación se abordó con un enfoque cualitativo ya que se analizó la información disponible de las plataformas de PI en relación con la posibilidad de vincularlas a una solución de HI. El enfoque cualitativo utiliza la recolección de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación. (Sampieri, Collado y Baptista Lucio, 2010).

Se utilizó un diseño no experimental del tipo transversal o transeccional. La investigación no experimental es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente las variables. Es decir, es investigación donde no hacemos variar intencionalmente las variables independientes. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos.

(Sampieri, Collado y Baptista Lucio, 2010). A su vez, un diseño transversal se realiza en un momento determinado.

### *Participantes*

La población se definió como la totalidad de plataformas de PI que se encuentran en el mercado y que pueden ser integradas a una solución de HI.

Luego, se realizó un muestreo no probabilístico intencional seleccionando 3 plataformas que ofrecen servicios de posicionamiento interno y 2 proyectos de código abierto que se encuentran en desarrollo activo:

- **Navigine Tracking:** es una plataforma de seguimiento de activos y monitoreo de empleados, orientada a la seguridad y optimización de espacios de trabajo. (Navigine, 2021).
- **Indoors:** es una plataforma que ofrece servicios de seguimiento, estadísticas, instalación y monitoreo de áreas. (Indoors, 2021).
- **Insoft:** brinda soluciones de localización en tiempo real, orientadas a los sistemas de geo-asistencia con funcionalidades de estadísticas y seguimiento. (Insoft, 2021).
- **Redpin:** es un sistema de PI de código abierto, desarrollado con el objetivo de proveer al menos precisión a nivel de habitación, evitando la fase de entrenamiento y configuración. (Redpin, 2021).
- **Find:** es un framework de desarrollo de aplicaciones móviles con uso de PI de código abierto para Android. (Find, 2021).

Las muestras dirigidas son válidas en cuanto a que un determinado diseño de investigación así las requiere, sin embargo, los resultados se aplican nada más a la

muestra en sí. No son generalizables a una población, ni interesa tal extrapolación. (Sampieri, Collado y Baptista Lucio, 2010).

### *Instrumentos*

Los datos de la investigación se obtuvieron mediante análisis de la documentación expuesta por cada plataforma en su sitio web.

### *Análisis de datos*

En base a los objetivos planteados, se decidió analizar cada plataforma bajo los siguientes aspectos:

- Tecnologías de medición de PI soportadas.
- Algoritmos de estimación de PI utilizado.
- Exactitud de los resultados ofrecidos.
- Robustez de la plataforma.
- Integración con plataformas HI.

Por lo expuesto anteriormente se identificaron las siguientes variables de interés para el estudio:

- Exactitud: es el error cometido en la medición, es el promedio de la distancia Euclidiana entre las coordenadas reales y las coordenadas estimadas.
- Robustez: habilidad del sistema para continuar operando en condiciones adversas.

## Resultados

Tomando en consideración los dos primeros puntos a analizar, se elaboró la siguiente tabla según la documentación ofrecida por cada plataforma:

	<b>Tecnologías soportadas</b>	<b>Algoritmos utilizados</b>
<b>Navigine Tracking</b>	Espectro Wi-Fi. Beacons Bluetooth.	Huella Dactilar
<b>Indoors</b>	Beacons Bluetooth.	Huella Dactilar
<b>Insoft</b>	Espectro Wi-Fi. Beacons Bluetooth y RF. Sensores del móvil.	Huella Dactilar Tiempo de Arribo
<b>RedPin</b>	Espectro Wi-Fi, GSM y Bluetooth.	Huella Dactilar
<b>Find</b>	Espectro Wi-Fi.	Huella Dactilar

**Tabla 1.** Fuente: elaboración propia.

Insoft destaca debido a que integra otros sensores tales como acelerómetro, brújula, campo magnético, presión de aire y giroscopio; esto le permite obtener una mejor estimación.

La exactitud de cada plataforma se basa en la exactitud inherente a la tecnología utilizada para obtener la medición inicial de la estimación de la posición del dispositivo. Las plataformas basadas en Huella Dactilar sobre Wi-Fi pueden lograr una exactitud de hasta 2 metros según fue demostrado en Cheng, Chawathe, LaMarca y Krumm (2005) o 1 metro sobre Bluetooth según Rodríguez-Damián, Vila y Rodríguez-Liñares (2019). A su vez, los beacons RF pueden lograr una exactitud de 10 centímetros según Insoft (2021).

Se elaboró la siguiente tabla comparando la exactitud máxima teórica según la tecnología utiliza y la exactitud máxima anunciada por cada plataforma:

	<b>Exactitud teórica máxima</b>	<b>Exactitud máxima anunciada</b>
<b>Navigine Tracking</b>	1 m	0.5 m
<b>Indoors</b>	1 m	2 m
<b>Insoft</b>	0.1 m	0.1 m
<b>RedPin</b>	2 m	2 m
<b>Find</b>	2 m	A nivel de habitación

**Tabla 2.** Fuente: elaboración propia.

Como se determinó dentro del objetivo principal de esta investigación, Find posee la mínima exactitud deseada para permanecer dentro de la muestra. Otro detalle a destacar fue la exactitud anunciada por Navigine Tracking ya que según las investigaciones antes mencionadas no podría alcanzar una exactitud superior a 1m.

Las plataformas cloud como Navigine Tracking, Indoors e Insoft no requieren despliegue sobre infraestructura propia lo cual mejora su robustez, dado que estas empresas garantizan su funcionamiento, aunque se genera una dependencia crítica sobre la calidad del servicio de acceso a internet. En cuanto a RedPin y Find, obligan a incorporar equipamiento para ser desplegados, como así también encargarse del mantenimiento de la infraestructura adicional; pero tienen la ventaja de continuar en funcionamiento aún cuando aparecen problemas de conectividad a internet.

En cuanto a las plataformas que utilizan beacons, la robustez depende de la implementación del algoritmo utilizado dado que la desaparición de uno o más puntos de referencia pueden comprometer la exactitud de las estimaciones. Algunas plataformas permiten el uso de múltiples tecnologías en paralelo, lo cual disminuye la dependencia técnica y permite continuar en operación aún cuando alguna tecnología se encuentra afectada por un problema.

Profundizando sobre cómo incorporar estas plataformas a soluciones de HI se analizó la documentación disponible y pudo determinarse que ninguna de las plataformas posee integración directa con los asistentes Google Assistant o Apple HomeKit. Alternativamente se identificó que Navigine Tracking, Indoors e Insoft ponen a disposición herramientas de software que permiten desarrollar estas integraciones. RedPin y Find son proyectos de código abierto y por ende pueden ser modificados para lograr esta integración.

## **Discusión**

Esta investigación plantea como objetivo principal la necesidad de analizar el estado de madurez de las plataformas de Posicionamiento Interno disponibles en el mercado y la factibilidad de utilizarlas como parte de una solución de Hogar Inteligente.

Con respecto a la madurez de las plataformas que conforman la muestra, puede destacarse que Insoft es la más completa ya que soporta múltiples tecnologías de rastreo, además de mejorar las estimaciones usando un algoritmo de tiempo de arribo apoyado en los sensores adicionales del dispositivo móvil. Navigine Tracking e Indoors pueden categorizarse como soluciones aceptables ya que hacen uso de tecnologías ampliamente utilizadas como las redes WiFi y los beacons Bluetooth. Se ubican también entre las aceptables a RedPin y Find, aunque solo utilizan RSSI para estimar las posiciones. Esta brecha de madurez entre la oferta de plataformas propietarias y la oferta de plataformas de código abierto deja en evidencia que la demanda de soluciones de PI para uso doméstico aún es baja. Mientras tanto, puede verse en la documentación analizada que las soluciones cloud están orientadas al uso industrial, empresarial o en grandes espacios de entretenimiento como museos y shoppings.

No se detectan impedimentos técnicos u operativos a la hora de evaluar una posible implementación de estas plataformas. Claro está que el uso de beacons Bluetooth y RF no es tan común como el uso de redes WiFi, sin embargo una búsqueda en sitios de ecommerce locales arroja disponibilidad de estos accesorios. En cuanto a la implementación inicial, RedPin destaca debido a la facilidad de configuración, en contraposición de las plataformas cloud donde es necesario generar mapas y referencias del área de seguimiento. Find por su parte no puede desplegarse directamente, ya que, como su nombre lo indica, es un marco de trabajo para la generación de aplicaciones móviles con soporte de PI; es decir, es necesario desarrollar una aplicación.

RedPin y Find poseen lo mínimo indispensable para detectar la presencia de un dispositivo en una habitación; sin embargo, las plataformas cloud disponen de múltiples características adicionales, como ser:

- Seguimiento en tiempo real.
- Estadísticas y análisis de datos.
- Detección de ingreso o egreso a un área determinada (Geofencing).
- Marketing de proximidad.
- Mejora en la experiencia de los visitantes.
- Optimización de procesos.

La investigación realizada demuestra un grado de madurez aceptable para el uso de plataformas de posicionamiento interno dentro de soluciones de hogar inteligente; es decir, es tecnológicamente factible detectar la presencia de un dispositivo móvil dentro de una habitación. Cabe destacar que estos resultados no son generalizables para plataformas que no conformaron la muestra estudiada.

Esta investigación está limitada al punto de vista de las plataformas de PI como parte de una solución de HI; sin embargo, queda pendiente analizar la madurez de los asistentes disponibles al momento. Asistentes como Google Assistant y Apple HomeKit permiten centralizar la administración de los dispositivos inteligentes que se encuentran en el hogar, como así también controlar su funcionamiento. (Google, 2021).

Como fortaleza de esta investigación se identifica un posible nicho de mercado desatendido en referencia a las plataformas de PI de uso doméstico. Frente a la creciente oferta de dispositivos inteligentes para uso no comercial, es esperable que la demanda de soluciones que integren PI se incremente.

Respecto de líneas de investigación para estudios futuros, se espera para 2024 el lanzamiento del nuevo estándar IEEE 802.11bf que promete dotar las redes WiFi con capacidades de detección; de esta manera no será necesario hardware adicional para el monitoreo remoto. Esta tecnología permitirá medir velocidad e información angular, detectar movimientos, presencia y proximidad, distinguir objetos, personas y animales, además de ser utilizada en hogares, autos y entornos empresariales. (IEEE, 2020).

El presente estudio fue de gran interés personal y académico debido a que aborda una temática disruptiva que afecta la rutina diaria de las personas que hacen uso de estas tecnologías.

## Referencias

Geeng y Roesner (2019). Who's In Control?: Interactions In Multi-User Smart Homes.

Recuperado de <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3290605.3300498>

Zeng, Mare, y Roesner (2017). End User Security and Privacy Concerns with Smart Homes. Recuperado de

<https://www.usenix.org/system/files/conference/soups2017/soups2017-zeng.pdf>

Majumder, Aghayi, Noferesti, Memarzadeh-Tehran, Mondal, Zhibo Pang y Deen (2017). Smart Homes for Elderly Healthcare—Recent Advances and Research

Challenges. Recuperado de <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/11/2496/htm>

Yu-Chung Cheng, Yatin Chawathe, Anthony LaMarca y John Krumm (2005). Accuracy Characterization for Metropolitan-scale Wi-Fi Localization. Recuperado de

[https://www.usenix.org/legacy/event/mobisys05/tech/full\\_papers/cheng/cheng.pdf](https://www.usenix.org/legacy/event/mobisys05/tech/full_papers/cheng/cheng.pdf)

Nelson Acosta, Juan Toloza y Carlos Kornuta (2013). Fingerprint Database Variations for WiFi Positioning. Recuperado de

[https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/7035/CONICET\\_Digital\\_Nro.9556\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/7035/CONICET_Digital_Nro.9556_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Carlos Kornuta, Nelson Acosta y Juan Toloza (2013). Indoor Positioning Using the Modified Fingerprint Technique. Recuperado de

[https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/7034/CONICET\\_Digital\\_Nro.9557\\_D.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/7034/CONICET_Digital_Nro.9557_D.pdf?sequence=5&isAllowed=y)

- María Rodríguez-Damián, Xosé A. Vila y Leandro Rodríguez-Liñares (2019). Accuracy of Bluetooth based Indoor Positioning using different Pattern Recognition Techniques. Journal of Computer Science & Technology, Volume 19, Number 1, April 2019. Recuperado de [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/74418/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/74418/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Di He, Taha Bouras, Xin Chen, Wenxian Yu, Yi Zhang y Yueming Yang (2018). 3-D Spatial Spectrum Fusion Indoor Localization Algorithm Based on CSI-UCA Smoothing Technique. 4 de octubre, 2018. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8481341>
- Charo Vela (2005). Principales aplicaciones de las soluciones de localización en interiores. 5 de agosto, 2014. Recuperado de <https://empresas.blogthinkbig.com/principales-aplicaciones-de-las-soluciones-de-localizacion-en-interiores/>
- Tony Xiao Han, Assaf Kasher y Claudio da Silva (2020). IEEE 802.11bf Aims to Enable a New Application of WLAN Technology: WLAN Sensing. 5 de diciembre, 2020. Recuperado de <https://beyondstandards.ieee.org/ieee-802-11bf-aims-to-enable-a-new-application-of-wlan-technology-wlan-sensing/>