



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS

ANÁLISIS DE LAS TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN SISTEMAS DE  
POSICIONAMIENTO EN INTERIORES

AUTOR

Jaime Andrés Mier Naranjo

AÑO

2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ANÁLISIS DE LAS TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN SISTEMAS DE  
POSICIONAMIENTO EN INTERIORES

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de  
Ingeniero en Electrónica y Redes de Información

Profesor Guía

MSc. Ángel Gabriel Jaramillo Alcázar

Autor

Jaime Andrés Mier Naranjo

Año

2018

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber revisado el trabajo, análisis de las tecnologías utilizadas en sistemas de posicionamiento en interiores, a través de reuniones periódicas con el estudiante Jaime Andrés Mier Naranjo, en el semestre 2018-2, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

---

Ángel Gabriel Jaramillo Alcázar

Master en Gerencia de Sistemas y en  
Tecnologías de la Información

C.I. 1715891964

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, análisis de las tecnologías utilizadas en sistemas de posicionamiento en interiores, en el semestre 2018-2, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

---

José Julio Freire Cabrera  
Master en Gerencia Empresarial  
C.I. 1709731457

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

---

Jaime Andrés Mier Naranjo

C.I.: 1719314633

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermana quienes,  
siempre me apoyaron y supieron  
darme ánimos para lograr el  
objetivo de graduarme de la  
carrera.

A mi coordinador Ángel Jaramillo  
y a mi profesor guía por toda su  
colaboración en el desarrollo de  
este proyecto

## DEDICATORIA

Quisiera dedicar el presente proyecto a mis padres que con mucho sacrificio me han ayudado con su apoyo.

A mi hermana por su apoyo incondicional para lograr este objetivo de vida

## RESUMEN

La localización de usuarios mediante dispositivos electrónicos se encuentra en una creciente demanda debido a las facilidades que ha otorgado el Internet de las Cosas (IoT).

En la búsqueda por tomar una decisión correcta se ha redactado el presente estudio el cual tiene como objetivo la utilización de los conocimientos adquiridos de referencias bibliográficas, documentos técnicos e investigación empírica para desarrollar un estudio comparativo de las tecnologías existentes en cuanto a Sistemas de Posicionamiento en Interiores se refiere.

Los Sistemas de Posicionamiento en Interiores permiten desarrollar varias aplicaciones relacionadas entre otras con el control de accesos, la seguridad en redes, la gestión de información, la optimización de los servicios de emergencia, o el manejo de mercadería. Obtener datos en tiempo real brinda una significativa ventaja sobre lo que clientes o administradores necesitan. Esta ventaja puede ser bien aprovechada en entornos interiores como fábricas, hospitales, almacenes (para el control en la cadena de suministros) y lugares comerciales.

La elección correcta de una tecnología de conexión para Sistemas de Posicionamiento en Interiores proveerá soluciones innovadoras a las necesidades de los usuarios para mejorar su calidad de vida y brindará una oportunidad de impulsar aplicaciones de uso diario.



## **ABSTRACT**

The location of users by electronic devices is in great demand due to the facilities provided by the Internet of Things (IoT).

In the search to make a correct decision the present study has been written which aims to use the knowledge acquired from bibliographies, technical documents and empirical research to develop a comparative study of the existing technologies in terms of Indoor Positioning Systems refers.

The Indoor Positioning Systems allow to develop diverse applications among others with the control of accesses, the security in networks, the management of information, and optimization of the services of emergency, among others. Obtaining data in real time provides an important advantage over what clients or administrators need. This advantage can be well exploited in indoor environments such as factories, hospitals, warehouses (for the control of the supply chain) and commercial places.

The correct choice of a connection technology for Interior Positioning Systems offers innovative solutions to the needs of users to improve their quality of life and provide an opportunity to use daily applications.

# ÍNDICE

<b>1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Alcance .....	4
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos .....	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos .....	4
<b>2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b> .....	5
2.1 Tecnologías inalámbricas y el posicionamiento..... en interiores.....	5
2.2 Tecnologías de localización en interiores .....	6
2.2.1 Wi-Fi .....	6
2.2.2 Basados en Redes Celulares .....	10
2.2.3 Bluetooth .....	14
2.2.4 Radiofrecuencia (RFID) .....	16
2.2.5 Infrarrojos (IR).....	20
2.2.6 Ultrasonidos.....	21
2.2.7 Ultra Wideband (UWB) .....	23
2.3 Métodos de estimación de localización .....	26
2.3.1 Triangulación .....	26
2.3.2 Tiempo de Llegada (TOA) .....	27
2.3.3 Trilateración.....	28
2.3.4 Ángulo de Llegada (AOA) .....	29
2.3.5 Multilateración.....	30
2.4 Áreas de aplicación de sistemas IPS .....	31
2.4.1 Hogares o Consumo.....	31
2.4.2 Cuidado Médico.....	32
2.4.3 Monitoreo ambiental .....	32
2.4.4 Servicios de emergencia .....	32

2.4.5	Industria.....	33
2.4.6	Logística y Optimización.....	33
<b>3.</b>	<b>CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DESARROLLO.....</b>	<b>33</b>
3.1	Parámetros de análisis.....	33
3.1.1	Exactitud.....	35
3.1.2	Precisión.....	35
3.1.3	Seguridad.....	36
3.1.4	Escalabilidad.....	36
3.1.5	Capacidad.....	37
3.1.6	Costo.....	37
3.1.7	Topología.....	38
3.2	Análisis de las soluciones tecnológicas existentes.....	38
3.2.1	Active Badge.....	38
3.2.2	Active Bat.....	40
3.2.3	Cricket.....	41
3.2.4	NaviFloor.....	42
3.2.5	Radar.....	43
3.2.6	Parctab.....	43
3.2.7	Locust Swarm.....	44
3.2.8	IRIS-LPS.....	45
3.2.9	Ekahau.....	45
3.2.10	Cordis Radio Eye.....	47
3.2.11	Sistemas basados en Bluetooth.....	47
3.2.12	Sistemas UWB.....	49
3.2.13	Dolphin.....	51
3.2.14	Bristol IPS.....	53
3.3	Análisis comparativo de IPS por tecnología en relación..... a sus parámetros de funcionamiento.....	54
3.3.1	Análisis en función de la Exactitud.....	55
3.3.2	Análisis en función de la Precisión.....	56
3.3.3	Análisis en función de la Escalabilidad.....	57
3.3.4	Análisis en función de la Seguridad.....	58
3.3.5	Análisis en función del Costo.....	59

3.3.6	Análisis en función de la Topología .....	60
3.4	Tabla comparativa de Tecnologías IPS y.....	
	Áreas de Aplicación .....	61
3.5	Tabla comparativa de Soluciones IPS y.....	
	Áreas de Aplicación .....	62
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>63</b>
4.1	Conclusiones.....	63
4.2	Recomendaciones.....	64
	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>65</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>70</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. IoT como solución comercial.....	6
Figura 2. Ubicación GPS vs IPS .....	9
Figura 3. Enlace en interiores vía Wi-Fi .....	12
Figura 4. Red de Infraestructura .....	15
Figura 5.Red Wi-Fi en Ad-Hoc .....	16
Figura 6. Proceso de autenticación GSM.....	19
Figura 7. Enlace de dispositivos Bluetooth .....	20
Figura 8. Composición del etiquetado EPC .....	25
Figura 9. Frecuencias infrarrojas dentro del espectro radioeléctrico .....	26
Figura 10. Espectro regulado para UWB .....	30
Figura 11. Estimación de posicionamiento por método de triangulación ....	32
Figura 12. Cálculo de distancia entre receptor y emisor en DTOA .....	33
Figura 13. DTOA con hipérbolas en una red celular .....	34
Figura 14. Ubicación de un objeto mediante Trilateración .....	35
Figura 15. Técnica de posicionamiento en base al AOA .....	33
Figura 16. Técnica de posicionamiento en base a Multilateración .....	36
Figura 17. Parámetros generales de análisis .....	40
Figura 18. Resultado de extrapolación de parámetros .....	41
Figura 19. Primer equipo “Active Badge” .....	45
Figura 20. Dispositivo “Active Bat” .....	46
Figura 21. Dispositivo “Cricket” .....	48
Figura 22. Lámina “NaviFloor” .....	49
Figura 23. Dispositivo “PARCTAB” .....	50
Figura 24. Sistema “Ekahau” .....	52
Figura 25. Arquitectura del sistema “Topaz” .....	54
Figura 26. Beacon de “Zonith” PoE .....	55
Figura 27. Beacon de “Ubisense” .....	56
Figura 28. Beacon “DartWand” de Zebra .....	57
Figura 29. Arquitectura del sistema “Dolphin” .....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Claves GS1 en base al uso .....	25
Tabla 2. Parámetros para sistemas IPS .....	60
Tabla 3. Resultados en función de la Exactitud .....	62
Tabla 4. Resultados en función de la Precisión .....	63
Tabla 5. Resultados en función de la Escalabilidad .....	64
Tabla 6. Resultados en función de la Seguridad.....	65
Tabla 7. Resultados en función del Costo.....	66
Tabla 8. Resultados en función de la Topología .....	66
Tabla 9. Resumen de parámetros de análisis para soluciones IPS .....	67
Tabla 10. Tecnologías IPS vs. Áreas de Aplicación .....	68
Tabla 11. Soluciones IPS en Áreas de Aplicación .....	69

# 1 CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

Internet de las cosas o como sus siglas indican (IoT), ha mostrado una apertura (hasta ahora) sin límites para la utilización de tecnologías de interconexión entre distintos dispositivos. Dicha apertura, de este modelo tecnológico, brinda la oportunidad de que los objetos de uso cotidiano se adhieran al internet para así ser reconocidos y administrados por otros equipos o sistemas específicos.

El concepto de IoT, nace de investigaciones realizadas sobre tecnologías de identificación por radiofrecuencia mismas que demostraron la necesidad de manejar una convergencia de tecnologías para la recopilación y tratamiento de los datos facilitando así la gestión de los datos no estructurados permitiendo impulsar soluciones y aplicaciones en el hogar, en el área comercial y en la industria.

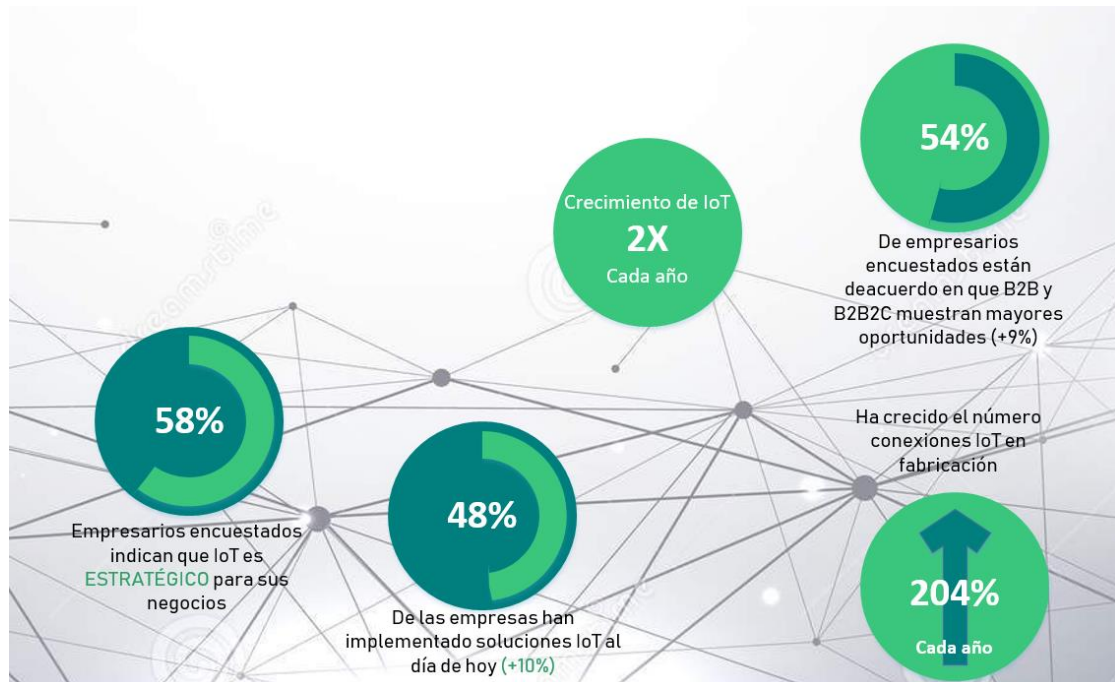


Figura 1. IoT como solución comercial.

Tomado de (Gartner Inc., 2015)

Como se puede observar en la Figura 1, se prevé que para el año 2020 más de la mitad de los procesos de negocio incorporen al menos un elemento de IoT ya que, en base a cifras de cierre de 2016 este modelo tecnológico ha representado más de \$240 mil millones en gastos por servicio. Según un estudio IDC (Estudio de Inteligencia del Mercadeo) realizado a 2300 ejecutivos de 15 diferentes países, el 58% piensa que es crítico para sus estrategias de negocio y que cerca del 93% de ellos piensa implementarlo en sus procesos dentro de los próximos 3 años. Los resultados obtenidos demuestran una creciente exigencia de nuevos y mejores métodos de recopilación de información.

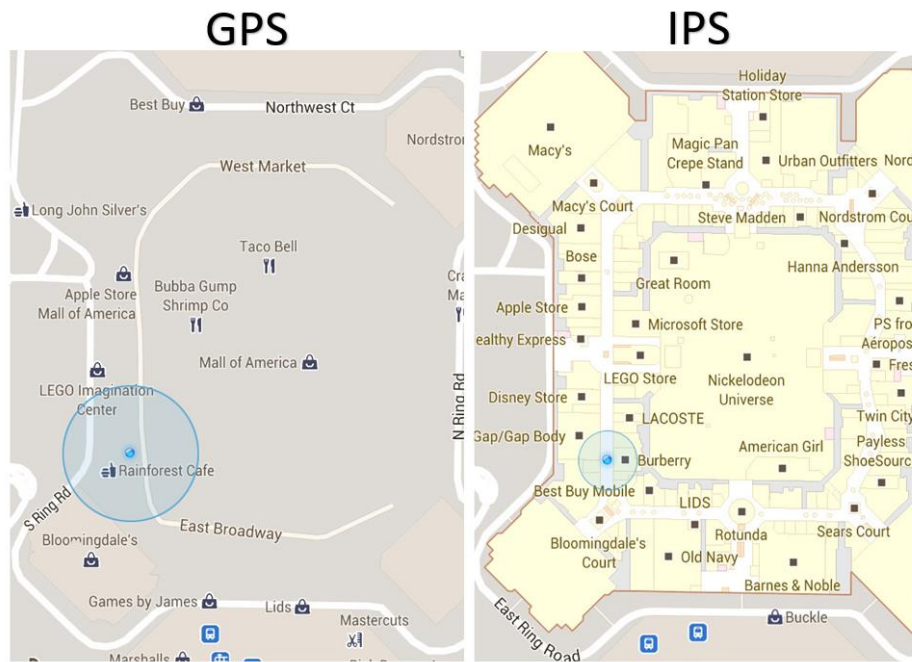
La localización en interiores pretende ser tendencia en cuanto a tecnologías móviles se trata. Los diferentes servicios de información y comunicación basados en la localización, actualmente requieren una innovación determinante que facilite catapultar nuevos modelos de negocio y a la vez rentabilizar la infraestructura de comunicaciones.

Los Sistemas de Posicionamiento en Interiores (IPS) son un conjunto de soluciones entre hardware y software que permiten realizar la localización de objetos o personas de forma inalámbrica dentro de edificios. Los IPS son sistemas integrados que, queriendo ser parte de las tecnologías de convergencia se han propuesto estar diseñados para trabajar en sinergia. Estos sistemas se encargan de recopilar datos sin procesar mediante sensores para posteriormente y, con el uso de software y aplicación de métodos de estimación de localización, convertir esta información en representaciones de ubicación física que sean entendibles para el usuario final.

La utilización de diferentes sensores o puntos calientes llamados beacons se usan dentro del edificio para ubicar dispositivos y usuarios. Los beacons son dispositivos activos o pasivos (dependiendo el sistema en que sean aplicados) que emiten una señal de única que es interpretada por otros dispositivos para facilitar la identificación de distancia. Estos sensores brindan un rastreo posicional excepcionalmente preciso.



Fundamentados en los métodos de rastreo por medio de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), los IPS detectan la ubicación de un dispositivo, su desplazamiento y hasta predecir posibles rutas sobre la base de esta información. Este se puede apreciar de forma más clara en la Figura 2, en la cual, gracias a la ayuda de sistemas IPS y la reutilización de mapas, un área conocida brinda mayor detalle para el usuario.



*Figura 2. Ubicación GPS vs. IPS*

Según un informe publicado por la empresa de investigación de mercado TechNavio, se espera que el mercado de servicios de posicionamiento en interiores crezca a una tasa de crecimiento anual compuesto del 29,7% en el período de 2014 a 2019 y se utilizará para diversas aplicaciones en hospitales, centros comerciales, aeropuertos, museos, entrenamiento de atletas y otros. Debido al aumento de la demanda, las empresas comienzan a explorar nuevas oportunidades en este nuevo mercado para aprovechar las ventajas de la tecnología Ultra Wideband (UWB) al proporcionar soluciones más innovadoras.

## **1.2 Alcance**

A través del presente trabajo de titulación se pretende realizar una exhaustiva recopilación de información a través de los diferentes fabricantes tecnológicos, investigación empírica y artículos científicos dedicados a las tecnologías aplicadas a los Sistemas de Posicionamiento en Interiores.

Realizar un análisis específico y comparativo de dichas tecnologías e identificar las diferentes áreas de aplicación. En base al análisis comparativo propuesto se realizará la evaluación de la tecnología idónea a utilizar según los requerimientos, necesidades y recursos de las áreas de aplicación anteriormente definidas.

## **1.3 Justificación**

El propósito de realizar el presente estudio es brindar una solución a la problemática que conlleva la localización en interiores. Esta problemática está basada en la diversidad de tecnologías inalámbricas existentes y el hecho de que no todas son aplicables para un funcionamiento óptimo en todos los campos (industria, medicina, comercio, hogar, militar) debido a que se requieren resultados diferentes.

La elección correcta de una tecnología de conexión para Sistemas de Posicionamiento en Interiores proveerá soluciones innovadoras a las necesidades de los usuarios para mejorar su calidad de vida y brindarán una oportunidad de impulsar aplicaciones de uso diario.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

- Analizar las diferentes tecnologías existentes para Sistemas de Posicionamiento en Interiores.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Realizar una investigación y levantamiento de información sobre estas tecnologías de comunicación.

- Realizar una comparación entre las diferentes tecnologías existentes.
- Identificar sus diferentes aplicaciones en el hogar, en la industria y en área comercial.
- Evaluar cada tecnología idónea para las diferentes áreas de aplicación.

## **2 CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Tecnologías inalámbricas y el posicionamiento en interiores**

A través del presente punto se pretende realizar una introducción a la problemática de la localización en interiores a través del uso de tecnologías inalámbricas.

A partir de la regularización de la transmisión inalámbrica de datos en 1997 por parte de la IEEE, el estándar 802.1x, marcó un punto de inflexión entre las limitaciones y las posibilidades que se encontraban en la interconexión de dispositivos. La evolución de este estándar implicó la conexión de múltiples dispositivos de forma inalámbrica a equipos de acceso, desde equipos laptop hasta PDA's y teléfonos móviles inteligentes.

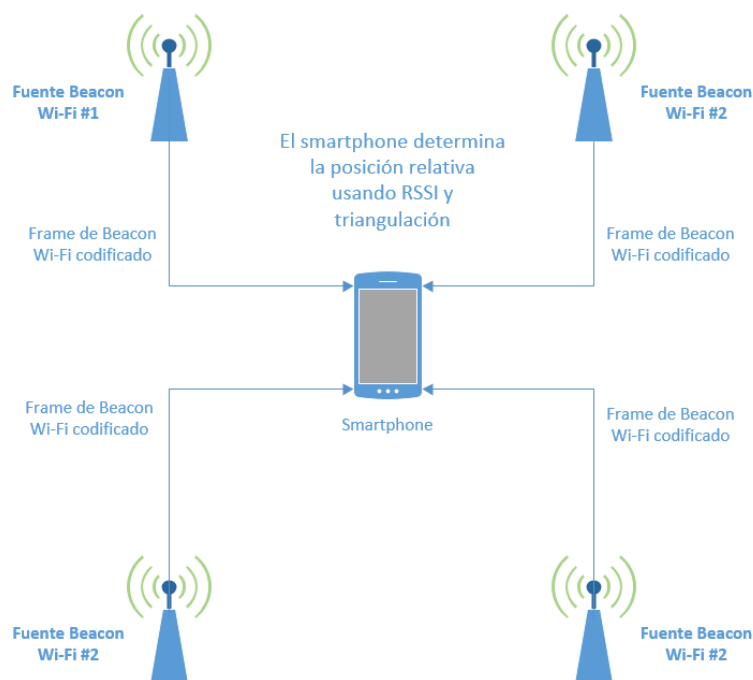
En la actualidad, todos los dispositivos de gama móvil incluyen una tarjeta de red inalámbrica como parte de su arquitectura. Sin embargo, el estándar 802.1x no se puede considerar como el único posible para ser utilizado por los terminales ya que estos pueden aprovechar infraestructura existente para la creación de un servicio de posicionamiento de interiores.

Los sistemas IPS en un intento de realizar localización en interiores han marcado una nueva tendencia que aplica el uso de diversas tecnologías para cumplir este propósito de forma adecuada. Esta directriz pretende que una persona utilice múltiples dispositivos en su vida cotidiana no únicamente con la finalidad de ubicar un dispositivo sin necesariamente, darse cuenta de lo que está haciendo sino también enviar y recopilar información.

## 2.2 Tecnologías de localización en interiores

### 2.2.1 Wi-Fi

La comunicación por protocolo 802.1x sigue un modelo centralizado, por lo tanto, una red consta de uno o varios puntos de acceso y multitud de clientes conectados a estos. Cada punto de acceso de la red emite periódicamente una baliza o beacon para hacer notar su presencia a los usuarios, los cuales de este modo pueden saber en todo momento las redes inalámbricas disponibles.



*Figura 3.* Enlace en interiores vía Wi-Fi

Las redes emitidas por este protocolo y sus diferentes variaciones trabajan en la banda de los 2.4GHz entre 14 canales solapados entre sí (no todos de ellos son válidos en todos los países). El canal de emisión de la red es normalmente configurable por el usuario, pero no se puede establecer una forma automática dependiendo de la distinta carga de los canales. En la Figura 3, se muestra como en los sistemas IPS basados en Wi-Fi se hace uso del Indicador de Intensidad de la Señal Recibida (RSSI), que es una escala de referencia medida en milivatios (mW) con el fin de medir la potencia de señal recibida por un dispositivo y triangular su ubicación.

### **2.2.1.1 Ventajas**

- Acceso basado en cobertura y soporte dependiendo de la arquitectura de la red.
- Requiere únicamente de la conexión de un punto de acceso inalámbrico para que sea escalable.
- Ahorro considerable al reducir considerablemente de redes cableadas.
- Debido a la estandarización de la tecnología Wi-Fi, se puede decir que tiene compatibilidad total.

### **2.2.1.2 Desventajas**

- Vulnerabilidad de ataques al tener apertura de señal indirecta hacia los dispositivos.
- Distancia limitada en relación a la ubicación geográfica.
- Reducción de velocidad de acceso en comparación a redes cableadas debido a pérdidas de señal.
- Alto consumo de potencia sobre dispositivos activos dependiendo de la carga de usuarios.

### **2.2.1.3 Seguridad**

Los protocolos de seguridad para redes Wi-Fi han ido teniendo diferentes cambios desde sus inicios y aunque todos cumplen con un mismo propósito, estos no son iguales. No sólo los protocolos impiden que las partes no deseadas se adhieran a su red inalámbrica, sino que también los protocolos de seguridad inalámbrica cifran sus datos privados enviados a través de las señales.

A continuación, realizaremos una breve revisión de los protocolos que actualmente existen para seguridad inalámbrica que son: WEP, WPA, WPA2 y WPA3.

#### **2.2.1.3.1 WEP (Wired Equivalent Privacy)**

Fue desarrollado en 1999 y cumplía con el objetivo de ofrecer el nivel de seguridad de las redes cableadas existentes, sin embargo, con el paso del tiempo salieron a luz varios inconvenientes de seguridad lo que implicó que todos los sistemas que dependían de este protocolo requiriera ser continuamente actualizados. Finalmente, WEP fue abandonado por la Alianza Wi-Fi en 2004.

#### **2.2.1.3.2 WPA (Wi-Fi Protected Access)**

Mientras se estandarizaba el protocolo 802.11, WPA fue adoptado como una solución temporal a WEP hasta un año antes de abandonar formalmente WEP. WPA utiliza una clave PSK (Clave Previamente Compartida) para que solo los dispositivos que contengan la clave configurada puedan conectarse a la red. WPA representaba una mejora significativa sobre WEP, pero seguía necesitando de continuas actualizaciones de firmware sobre los dispositivos.

#### **2.2.1.3.3 WPA2 (Wi-Fi Protected Access 2)**

Ya desde 2004 WPA2 se encaminó como protocolo estandarizado sobre el 802.11i con la importante incorporación del Estándar de Cifrado Avanzado (AES) que es un cifrado aprobado por el gobierno de EE.UU. para encriptar información clasificada de alto secreto utilizando cifrado de 128 bits. Pese a haberse ganado la estandarización, uno de los problemas de WPA2 es la potencia de procesamiento necesaria para proteger la red, es decir, requiere de hardware más potente para no experimentar una caída de rendimiento.

#### **2.2.1.3.4 WPA3 (Wi-Fi Protected Access 3)**

WPA3 llega a principios de 2018 como una solución a los aún existentes problemas de vulnerabilidad de WPA, principalmente con la incorporación de un cifrado de 192 bits con afán de cumplir el principio de que en cuanto mayor es la clave de cifrado, más difícil es de romper. Aunque se discute la necesidad de

aumentar el cifrado muchos expertos indican que este estándar deberá soportar el pase del tiempo y los continuos ataques.

#### 2.2.1.4 Tipos de redes Wi-Fi

Las redes inalámbricas WI-FI se pueden conectar, básicamente, de 2 maneras muy diferentes:

##### 2.2.1.4.1 Red Wi-Fi de Infraestructura

Esta arquitectura se basa en 2 elementos: uno, o más Puntos de Acceso y Estaciones Cliente (fijas o móviles) que se conectan al servidor a través del Punto de Acceso. Estos elementos centrales u orquestadores se encargan de la coordinación de las interconexiones mismas que son basadas en un SSID (Service Set Identifier). Estas conexiones pueden diferenciarse fácilmente en la Figura 4.

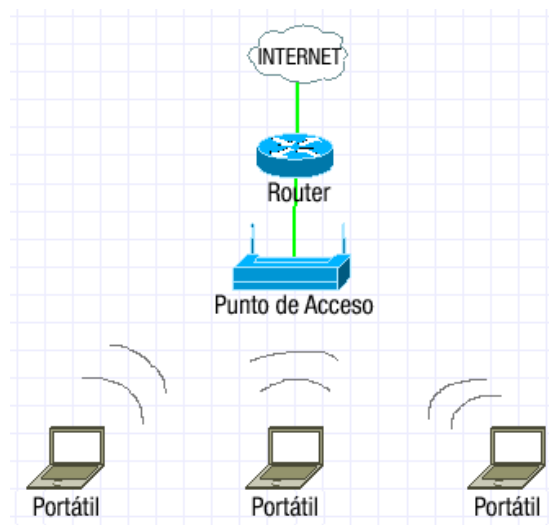


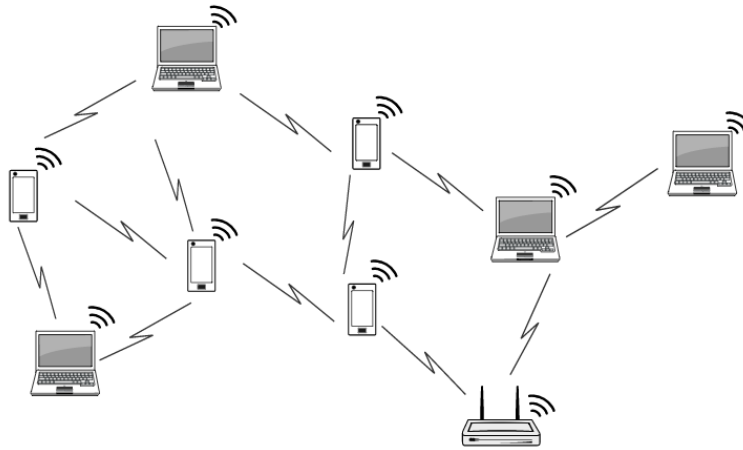
Figura 4. Red Wi-Fi de Infraestructura

Tomado de (Obasoft,2016)

##### 2.2.1.4.2 Red Wi-Fi Ad-Hoc

Esta arquitectura se basa en 1 sólo elemento: Estaciones cliente (fijas o móviles). Estas se conectan entre sí para intercambiar información de manera inalámbrica.

Se caracterizan por poseer una conexión punto a punto y no requieren de elementos auxiliares como los AP (Access Point) para la interconexión como se aprecia en la Figura 5. El modo Ad-Hoc puede soportar hasta 256 usuarios.



*Figura 5. Red Wi-Fi en Ad-Hoc*

Tomado de (UPV Comm)

### **2.2.2 Basados en Redes Celulares**

El Sistema Global para comunicaciones móviles (GSM) es una tecnología celular digital abierta que se utiliza para transmitir servicios móviles de voz y datos.

GSM opera en las bandas de 900 MHz y 1.8 GHz en Europa y las bandas de 1.9 GHz y 850 MHz en los Estados Unidos. Los servicios GSM también se transmiten a través del espectro de 850 MHz en Australia, Canadá y muchos países de América Latina.

El uso del espectro armonizado en la mayor parte del mundo, combinado con la capacidad de roaming internacional de GSM, permite a los viajeros acceder a los mismos servicios móviles en el hogar y en el extranjero.

Las redes terrestres GSM ahora cubren más del 90% de la población mundial. El servicio de roaming por satélite GSM también ha ampliado el acceso a servicios en áreas donde la cobertura terrestre no está disponible.



La localización basada en el Sistema Global para Comunicaciones Móviles, por definición, está disponible en todos los teléfonos celulares basados en GSM, que está presente en 80-85% de los teléfonos celulares actuales que funcionan en todo el mundo y consume un mínimo energía además de la operación estándar del teléfono celular.

Varias investigaciones científicas han abordado los inconvenientes de la localización GSM, incluidos los sistemas basados en el tiempo, el Ángulo de Llegada (AOA) que es un método de estimación para determinar la propagación de una señal de radiofrecuencia en redes celulares a través de RSSI.

#### **2.2.2.1 Ventajas**

- Cobertura generalizada alrededor del mundo con el uso de distintas bandas de frecuencia.
- Identificación de usuarios móviles mediante uso de Simcard. Importante para administración de servicios (voz, datos y video).
- Facilidad en cuanto a la portabilidad entre operadores.

#### **2.2.2.2 Desventajas**

- Causante de interferencias con componentes electrónicos determinados.
- Una de las principales desventajas de GSM es que gran cantidad de usuarios comparten el mismo ancho de banda, y con una cantidad suficiente de estos la transmisión puede encontrar interferencias.
- Se requiere un número considerado de radio bases para garantizar el crecimiento de cobertura.

#### **2.2.2.3 Seguridad**

La mayor parte de la seguridad en redes GSM está centrada en los Sistemas de Soporte al Negocio (BSS) y se limita al control de acceso y la encriptación del

enlace de radio. GSM utiliza los siguientes algoritmos de seguridad dentro de la interconexión:

- A3 es el algoritmo de autenticación. Es el que hace que cada teléfono móvil sea único. Identifica al móvil y con la base de datos de la operadora se puede asociar al usuario propietario. Permite, entre otras cosas, saber a quién hay que cobrar la llamada.
- A5 es el algoritmo de cifrado de voz. Gracias a él, la conversación va encriptada. Se trata de un algoritmo de flujo con una clave de 64 bits. Hay dos versiones, denominadas A5/1, y A5/2; esta última es la versión autorizada para la exportación, y en consecuencia resulta más fácil de atacar. En la actualidad hay otra versión la A5/3 o KASUMI, que se usa en la tecnología 3G.
- A8 es el algoritmo que genera claves tanto para autenticación, el A3, como para encriptación, el A5. Básicamente, se trata de una función unidireccional parecida a las funciones hash, del tipo MD5 o SHA-1, que permiten la firma digital en los documentos electrónicos.
- COMP128, es un algoritmo que permite funcionar a los A3 y A8. Las especificaciones GSM permiten el uso de varios tipos de algoritmos como “corazón” del A3 y A8. COMP128 es uno de ellos. No es el único posible, pero sí uno de los más usados.

Un equipo GSM al realizar una operación de conexión ejecuta los siguientes pasos que se pueden ver ilustrados en la Figura 6:

Toma de la tarjeta SIM una clave que está almacenada en su interior. Llamaremos Ki a dicha clave.

A continuación, el teléfono toma ciertos datos aleatorios que se intercambian entre éste y la estación base más cercana. A este paquete de datos se le suele llamar semilla aleatoria, en inglés random seed.

El conjunto clave+semilla son transformados mediante el algoritmo de autenticación A3. El resultado de dicha transformación es enviado a la estación base.

La operadora, con su base de datos y este  $K_i$ , autentifica la identidad del llamante. Es decir, toma los datos de semilla aleatoria y la clave del teléfono  $K_i$  (que están almacenados a disposición de dicha operadora) y realiza la comprobación del propietario y los servicios contratados por éste.

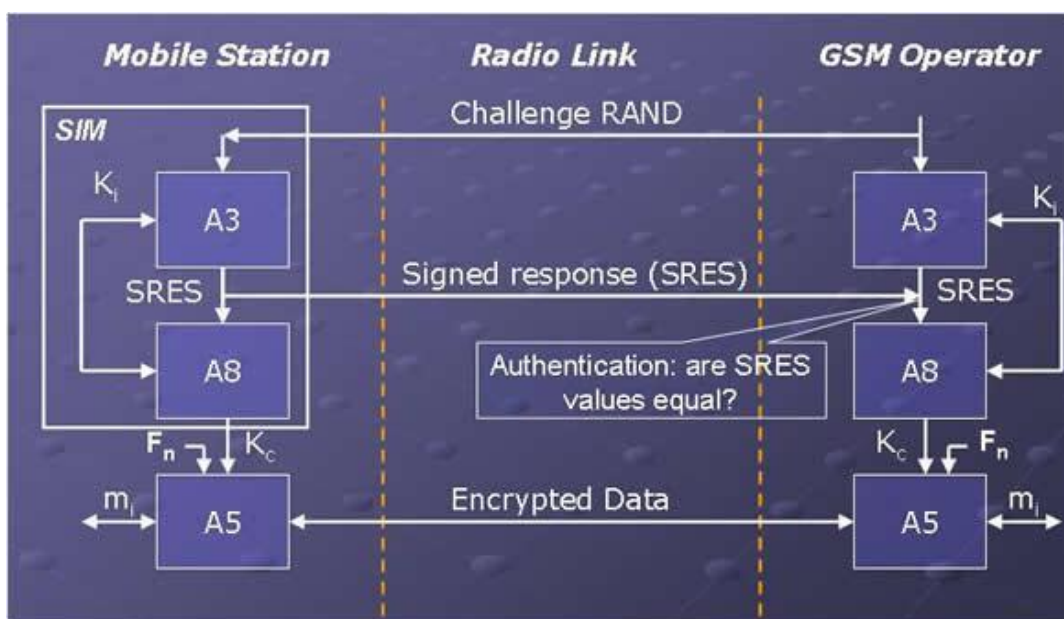


Figura 6. Proceso de autenticación GSM

Tomado de (Huji, 2010)

Si la estación base ha quedado satisfecha con los resultados de la comprobación, da vía libre a la comunicación. Toma la clave del teléfono  $K_i$  y otra semilla aleatoria para crear una clave de sesión  $K_c$ , de 64 bits de longitud. Esa clave es usada para encriptar la comunicación, gracias al algoritmo A5.

### 2.2.3 Bluetooth



*Figura 7.* Enlace de dispositivos Bluetooth

Tomado de (Sony, 2012)

La tecnología Bluetooth es un estándar de comunicación inalámbrica que se utiliza para intercambiar datos a corta distancia. Fue desarrollado en 1994 por Ericsson, y en 1998 Ericsson, IBM, Intel, Nokia y Toshiba establecieron una autoridad competente especial, el "Bluetooth Special Interest Group" (BSIG). La función de la autoridad competente es mejorar los estándares, la implementación adecuada y las licencias de la tecnología Bluetooth.

Tal como se puede ver en la imagen anterior el estándar bluetooth se basa en el modo de operación maestro/esclavo. El término piconet se utiliza para hacer referencia a la red formada por un dispositivo y todos los dispositivos que se encuentran dentro de su rango. Pueden coexistir hasta 10 piconets dentro de una sola área de cobertura.

Un dispositivo maestro se puede conectar simultáneamente con hasta 7 dispositivos esclavos activos (255 cuando se encuentran en modo "en espera"). Los dispositivos en una piconet poseen una dirección lógica de 3 bits, para un máximo de 8 dispositivos. Los dispositivos que se encuentran en el modo "en espera" se sincronizan, pero no tienen su propia dirección física en la piconet.

Las características principales de la tecnología Bluetooth son dispositivos Bluetooth de bajo costo, bajo consumo de energía, rango pequeño, robustez y uso global. Bluetooth proporciona una velocidad de transferencia de 1 Mbps y

usa una banda de frecuencia sin licencia de 2.4 a 2.485 GHz, es decir, utiliza el área ISM (Industrial, Scientific and Medical) donde la frecuencia está armonizada a nivel mundial. Además, el Bluetooth ofrece una conexión de radio con otros sistemas.

El desarrollo constante de investigaciones ha permitido la evolución de los sistemas Bluetooth mismo que ha sido continuamente incluido en dispositivos portátiles. Esta necesidad de mantener un uso constante de terminales móviles ha dado cabida a que, sin salir del estándar de transmisión y brindando un amplio alcance de hasta 100 metros, el Bluetooth Low Energy (BLE) sea necesario en unidades inalámbricas.

BLE se caracteriza por un tamaño muy pequeño, bajo costo, bajo consumo de energía con la posibilidad de varios años de trabajo en una fuente de alimentación pequeña (baterías AAA) y compatibilidad con dispositivos móviles, tabletas y computadoras.

Para instalar la tecnología BLE en dispositivos, Bluetooth 4.0 presenta dos modos de operación: monomodo y modo dual. La primera operación solo incluye la integración de la funcionalidad BLE en el controlador, mientras que la segunda operación permite la integración de la funcionalidad BLE y Bluetooth en el controlador estándar. Los fabricantes de dispositivos tienen estas dos opciones a su disposición y es importante señalar que los dispositivos con operación monomodo no pueden comunicarse con dispositivos que usan el protocolo clásico Bluetooth.

#### **2.2.3.1 Ventajas**

- Facilidad de creación de red una red inalámbrica AD-HOC entre dispositivos.
- Altas tasas de transferencia en relación a tecnologías anteriores, hasta los 24 Mbps.
- Alto nivel de control al manejar emparejamiento de equipos, se acepta o rechaza la conexión desde el host.

### **2.2.3.2 Desventajas**

- Conexión relativamente insegura debido a la libre propagación de la señal.
- Alcance reducido para el intercambio de información. El alcance varía dependiendo de la clase, por ejemplo, en clase 3 hasta 1 metro y en clase 1 hasta 30 metros.
- Velocidad de transferencia variable dependiendo de la versión, en versiones 1.2 y 2.0, de 1 Mbps hasta 3 Mbps.

### **2.2.3.3 Seguridad**

La comunicación Bluetooth no se valida por defecto. La autenticación normalmente se realiza utilizando códigos PIN, que son cadenas ASCII de hasta 16 caracteres. Los usuarios deben introducir el mismo PIN en los dispositivos para posteriormente generar una clave de enlace. La clave de enlace se almacena en los dispositivos y la siguiente vez que se comuniquen será reutilizada. Si la clave de enlace se pierde, se debe volver a ejecutar el procedimiento de emparejamiento.

Existe la posibilidad de cifrar el canal de comunicaciones a través de una clave a largo plazo Long Term Key (LTK). La LTK es una clave generada tras el emparejamiento y ha de ser conocida tanto por el maestro como por el esclavo en el momento de activación del cifrado. El uso de LTK permite cifrar las comunicaciones entre el maestro y el esclavo desde el primer momento. Todos los dispositivos de una red de control que utilicen Bluetooth deberían hacer uso del cifrado.

### **2.2.4 Radiofrecuencia (RFID)**

La identificación por radiofrecuencia (RFID) es un término genérico que se usa para describir un sistema que transmite la identidad de un objeto o persona de forma inalámbrica utilizando ondas de radio.

Se agrupa bajo la amplia categoría de tecnologías de identificación automática.

La tecnología RFID se usa con más frecuencia para identificar automáticamente objetos en sistemas grandes.

Las etiquetas RFID se adjuntan a todos los objetos de un sistema del que los propietarios desean guardar cierta información, de modo que esta información se pueda recuperar y usar fácilmente más adelante. Las etiquetas RFID consisten en un microchip que, por lo general, puede almacenar hasta 2 KBytes de datos y una antena de radio. Se utiliza un dispositivo lector para recuperar información de las etiquetas y, dependiendo de las etiquetas utilizadas, se pueden leer entre 20 y 1.000 etiquetas cada segundo. Las mejores etiquetas también funcionan de manera efectiva incluso cuando están situadas a media pulgada una de la otra.

Los sistemas RFID usan frecuencias bajas, altas, ultra altas o de microondas. Las etiquetas activas usualmente operan a 455 MHz, 2.45 GHz o 5.8 GHz, y las etiquetas pasivas usan 124, 125, 135 KHz, 13.56 MHz, 860-960 MHz y 2.45 GHz. Las diferentes propiedades de estas frecuencias las hacen útiles para diferentes aplicaciones. Una frecuencia más alta proporciona un mejor alcance, pero es más difícil de controlar porque la energía se envía a largas distancias y se refleja más fácilmente.

Las etiquetas RFID pasivas solo se pueden ubicar al asociarlas con el lector que las lee. Si se requiere una gran precisión y los lectores no son cargados por una persona, el sistema necesita una gran cantidad de lectores, lo que encarece el sistema. Las etiquetas activas pueden actuar como transpondedores que se transmiten solo cuando están cerca de un lector, o pueden actuar como balizas que se transmiten a intervalos de tiempo preestablecidos. La funcionalidad de la baliza hace posible el uso de RFID en sistemas en tiempo real donde se necesita rastrear la ubicación precisa de los objetos. Los lectores se colocan en posiciones conocidas, leen las etiquetas y transmiten la identificación de la etiqueta, su propia identificación y una marca de tiempo a un sistema de computadora host que puede rastrear los objetos. Las aplicaciones de RFID más comunes son el seguimiento de activos, la fabricación, la gestión de la cadena

de suministro, la venta minorista, los sistemas de pago (por ejemplo, los peajes) y la seguridad en el control de accesos.

#### **2.2.4.1 Ventajas**

- Alta variedad de aplicaciones, utilizado sobre todo para la distribución de productos.
- Posibilita la disposición de un mayor control en diferentes procesos de aplicación.
- Menor vulnerabilidad al daño debido a que su fabricación está destinada a soportar ambientes hostiles.
- Ha mostrado un alto Retorno de Inversión (ROI) debido a las ventajas en cuanto a la diversidad de aplicaciones.

#### **2.2.4.2 Desventajas**

- Costo elevado en relación a otros sistemas de lectura pasiva (por ejemplo, código de barras).
- Inconvenientes de solapamiento entre señales de activación y lectura lo que puede producir “colisión de etiqueta”.
- Ya que el sistema no se limita a la línea de vista, se podría escanear tags sensibles mediante antenas direccionales de alta intensidad.

#### **2.2.4.3 Seguridad**

El Código de Producto Electrónico (EPC) es un identificador universal que provee una identidad única a un objeto físico en específico. Los EPC se encuentran codificados en etiquetas RFID que pueden utilizarse para rastrear todo tipo de objetos. Para la identificación de las clases de objetos, activos, documentos, etc. Existe una clave GS1 correspondiente, la misma que asigna y gestiona las claves y sus estructuras de datos. Las claves GS1 brindan el contexto para los datos EPC asociados con un objeto. A continuación, se puede observar las diferentes claves GS1 en relación a su uso típico.



Tabla 1.

*Claves GS1 en base al uso*

Clave GS0	Esquema EPC	Uso Típico
GTIN	sgtin	Artículo Comercial
SSCC	sscc	Unidad Logística
GLN	sgln	Localización
GRAI	grai	Activo Retornable/Reusable
GIAI	giai	Activo Fijo
GDTI	gdti	Documento
GSRN	gsrn	Relación de Servicio

El EPC es el encargado de distinguir dos productos idénticos, debido a que un único EPC puede proporcionar la fecha de fabricación, el origen o el número de lote de un producto específico.

Un EPC está formado por:

- Encabezado: Identifica la longitud, el tipo, la estructura, la versión y la generación del EPC.
- Número de Administrador EPC: Entidad responsable de mantener las particiones subsiguientes.
- Clase de Objeto.
- Número de serie: identifica la Instancia.

En la Figura 8 puede distinguirse de mejor forma la composición del EPC.

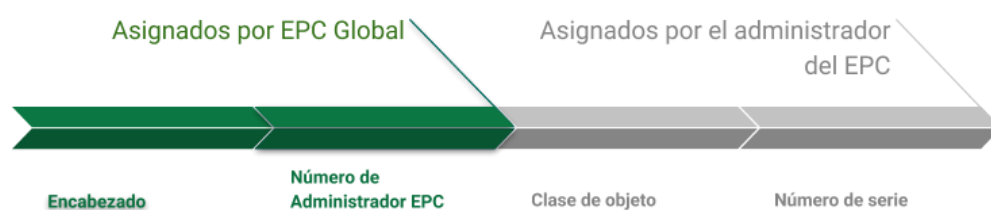


Figura 8. Composición del etiquetado EPC

### 2.2.5 Infrarrojos (IR)

La comunicación inalámbrica infrarroja hace uso del espectro invisible de luz solo debajo de rojo en el espectro visible. Esto significa que la comunicación IR está bloqueada por obstáculos que impiden el paso de la luz. Infrarrojo se puede utilizar en comunicación al aire libre con tasas de datos de Gbps, por ejemplo, para conectar redes de área local en diferentes edificios. Pero, en tales casos, el láser se usa como fuente óptica, y esto no es adecuado para la mayoría de usos en interiores debido a las posibles interrupciones de transmisión y alto costo de operación.

La fuente óptica que se usa normalmente en interiores es la emisión de luz diodos (LED), similares a los utilizados en los controles remotos de productos electrónicos de consumo, por lo tanto, los módulos IR pueden ser pequeños, de bajo costo y consumen poca energía. Desde IR las señales no pueden penetrar a través de las paredes, es adecuado para la comunicación sensible porque no será accesible fuera de la habitación o un edificio.

No hay restricciones para usar las frecuencias infrarrojas ya que estas se encuentran fuera del rango tanto de radiaciones no ionizantes (microondas, ondas de radio, etc...), como de las radiaciones ionizantes, tal como se muestra en la Figura 9.

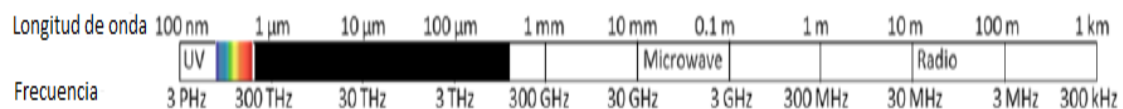


Figura 9. Frecuencias Infrarrojas dentro del espectro radioeléctrico

#### 2.2.5.1 Ventajas

- Circuito de bajo costo: \$2 - \$5 por todo el circuito de codificado/decodificado.

- Requerimientos de bajo voltaje por lo tanto es ideal para Laptops, teléfonos, asistentes personales digitales.
- Alta seguridad: Como los dispositivos deben ser apuntados casi directamente alineados (capaces de verse mutuamente) para comunicarse.
- Circuitería simple: no requiere hardware especial, puede ser incorporado en el circuito integrado de un producto.

#### **2.2.5.2 Desventajas**

- Se bloquea la transmisión con materiales comunes: personas, paredes, plantas, etc.
- Corto alcance: la performance cae con distancias más largas.
- De requerirse trabajar a largas distancias se requiere mayor potencia de transmisión lo que implica un aumento en los costos de operación.
- La luz solar directa, las lámparas incandescentes y otras fuentes de luz brillante pueden interferir seriamente la señal.

#### **2.2.5.3 Seguridad**

Con la seguridad claramente como punto primordial, la comunicación IR gana como el medio de comunicación obvio con su alta velocidad, baja distancia de operación y campo de visión limitado, junto con una baja tasa de consumo de energía. IR tiene obvias atracciones de seguridad que Wi-Fi o Bluetooth no pueden igualar. La comunicación IR tiene alta direccionalidad y puede identificar la fuente ya que las diferentes fuentes emiten radiación de diferentes frecuencias y, por lo tanto, se elimina el riesgo de que la información se difunda.

#### **2.2.6 Ultrasonidos**

Estos sistemas de localización basados en US o ultrasonidos no penetran paredes sólidas, y no requiere línea de visión entre las etiquetas y el detector. Las ondas de ultrasonido son ondas mecánicas y no interfieren con las ondas

electromagnéticas. Las señales de ultrasonido tienen un rango de comunicaciones relativamente corto.

El posicionamiento con ultrasonido es adecuado tanto para la detección de proximidad como para la multilateración, especialmente para aplicaciones donde la precisión de la escala de la habitación es suficiente, la detección de proximidad con ultrasonido es muy efectiva ya que no penetra en las paredes. Su uso es adecuado para el personal y el seguimiento de activos y/o equipos en edificios grandes. Además, el hecho de que el ultrasonido sea elásticamente de corto alcance puede ser una ventaja en dicho sistema, ya que las salas grandes o las áreas abiertas se pueden dividir en varias zonas, proporcionando así una mayor precisión. Por otro lado, puede ser costoso cubrir un edificio grande con esta solución.

Las frecuencias utilizadas normalmente son de 40-75 KHz, lo que permite mediciones precisas de la distancia entre transmisor y receptor a intervalos de hasta 10 metros. Una ventaja del seguimiento en interiores por ultrasonido es que no requiere línea de visión, por lo que los objetos que están ocultos o ubicados en los cajones o archivadores aún pueden ser rastreados.

#### **2.2.6.1 Ventajas**

- Puede soportar métodos de seguridad / encriptación estándar de la industria.
- Puede generar tonos localmente en dispositivos y enviar datos cifrados creando una comunicación segura entre dispositivos.
- Utiliza técnicas de optimización de tono y tipo de datos para garantizar una experiencia de conectividad uniforme y consistente para cada sistema operativo, dispositivo o entorno.
- Alta eficiencia de consumo ya que muestra ventajas significativas a la hora de optimizar potencia a nivel de chipset .

### **2.2.6.2 Desventajas**

- Se bloquea la transmisión con materiales comunes: personas, paredes, plantas, etc.
- Corto alcance: la performance cae con distancias más largas.
- De requerirse trabajar a largas distancias se requiere mayor potencia de transmisión lo que implica un aumento en los costos de operación.
- Emisiones de sonido a frecuencias similares pueden causar ciertas interrupciones si las señales no se encuentran debidamente codificadas.

### **2.2.6.3 Seguridad**

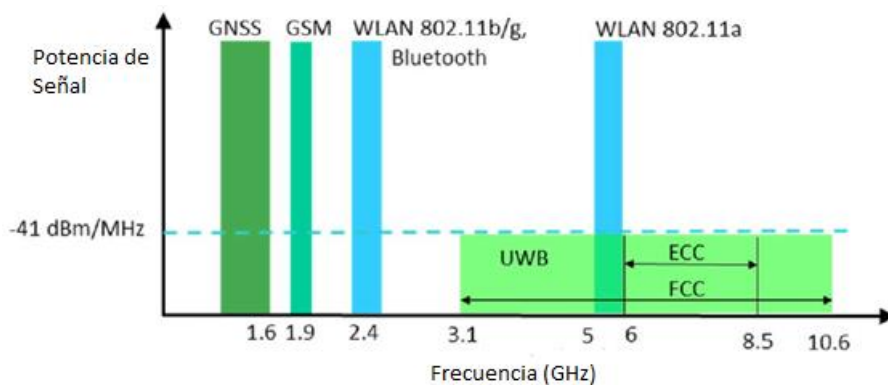
Para lograr una transmisión segura de datos estos sistemas generan una serie de tonos por encima de las frecuencias audibles a los seres humanos en los altavoces de los dispositivos transmisores, y es en ellos que se codifica la información a transmitir. Posteriormente estas ondas sonoras son captadas por el micrófono del terminal receptor y decodificadas hasta obtener los datos útiles.

Es, por así decirlo, un proceso similar al método que empleaban los módems antiguos para establecer la comunicación a través de las líneas telefónicas y que tenía aquél peculiar y característico ruido.

### **2.2.7 Ultra Wideband (UWB)**

La tecnología UWB al igual que el resto de tecnologías expuestas en el presente documento proporciona una estimación bastante precisa de las distancias e incluso en condiciones no favorables para las comunicaciones. La capacidad de proporcionar estas estimaciones debe estar fundamentada a una buena resolución temporal dedicada a las señales UWB, su robustez frente a los desvanecimientos multi-path, también conocidos como desvanecimientos de Rayleigh, y a su capacidad para atravesar obstáculos. El uso de esta tecnología facilita la localización de objetivos y especialmente en ambientes densamente poblados y puede ser empleada para inferir la ubicación de un agente en movimiento.

Los sistemas de posicionamiento UWB tienen el potencial para, en un futuro no lejano, diversificar sus aplicaciones agrupadas bajo LSB's o Servicios Basados en Localización. Según la Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos, los sistemas UWB utilizan una señal que ocupa un espectro de frecuencia mayor al 20% de la frecuencia de una portadora central, es decir tiene un ancho de banda en el rango de 500 KHz a 5 GHz. Sin embargo, según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) esta ventana de operación podría ampliarse hasta los 10.6 GHz como puede observarse en la Figura 10, pero podría afectar varios servicios de radiocomunicaciones.



*Figura 10.* Espectro regulado para UWB

Tomado de (ITU, 2009)

UWB es un canal de comunicación que distribuye información en una amplia porción del espectro de frecuencias. Esto permite a los transmisores UWB transmitir grandes cantidades de datos mientras consumen poca energía de transmisión

### 2.2.7.1 Ventajas

- Capacidad para compartir el espectro de frecuencias.
- Gran capacidad de canal.
- Capacidad para trabajar con baja SNR.
- Seguridad gracias a la baja probabilidad de detección e interceptación (LPID).

- Buen rendimiento en condiciones Multi-Path (ambientes con múltiples reflexiones).

### **2.2.7.2 Desventajas**

- Distorsión de la forma del pulso debido al amplio rango de frecuencias cubierto por la UWB.
- La estimación de canal requiere de un análisis previo de las señales adyacentes (especialmente WiFi).
- Altas velocidades de conversión Analógica – Digital requeridas.
- Los pulsos extremadamente estrechos podrían provocar un largo tiempo de sincronización con los sistemas administradores.

### **2.2.7.3 Seguridad**

UWB utiliza una seguridad intrínseca puesto que es necesario conocer la secuencia de transmisión de los bits de información para poder escuchar las transmisiones. Además, la relación señal/ruido es tan baja que las transmisiones son confundidas con ruido ambiente o ruido de fondo. Asimismo, las transmisiones pueden cifrarse sin ningún tipo de limitación y se pueden excluir de la escucha aquellos terminales que se hallen más alejados de una cierta distancia específica. Tampoco se tiene que sintonizar la transmisión, ya que no existe portadora.

UWB se basa en la transmisión de secuencias de pulsos extremadamente estrechos y de baja potencia, los cuales se sitúan de forma precisa en el tiempo (desviaciones inferiores al nanosegundo). La modulación de los datos consiste básicamente en variar la posición de los pulsos empleando códigos PN (técnica de espectro ensanchado). Como resultado se obtiene un espectro de banda ancha que es mucho más resistente a interferencias, ya que éstas ocupan normalmente una fracción muy pequeña del espectro de la señal UWB.

## 2.3 Métodos de estimación de localización

Para poder entender los IPS, necesitamos saber cómo se puede realizar efectivamente ese posicionamiento. Existe una gran cantidad de IPS, pero la gran mayoría de ellos se basa en diferentes técnicas básicas que se pueden usar individualmente o en combinación para determinar la ubicación de un objeto. Esta sección brindará una descripción general de estas técnicas generales.

### 2.3.1 Triangulación

La triangulación usa mediciones de ángulos además de las mediciones de distancia para determinar la posición de un objeto. Un ejemplo se da en la Figura 11. Se requieren dos puntos de referencia (A y B) que serían los nodos satélites de la solución de posicionamiento, y se miden los ángulos entre el objeto a colocar y un vector de referencia de cero grados.

En la figura, este vector es el mismo que la línea dibujada entre A y B. Al conocer una medida de longitud, por ejemplo, entre los puntos de referencia, la ley de los senos se puede usar para calcular la posición. La triangulación bidimensional requiere dos mediciones de ángulos y una medición de longitud. Con tres dimensiones, se necesita una medición de azimut adicional.

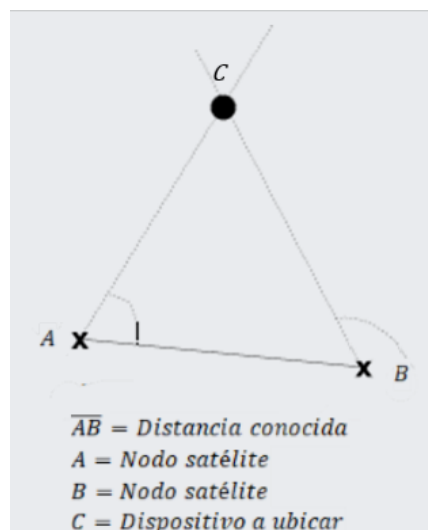


Figura 11. Estimación de posicionamiento por método de triangulación



### 2.3.2 Tiempo de Llegada (TOA)

Es el tiempo que transcurre desde que se emite la señal en el dispositivo a localizar hasta que llega al dispositivo de medida, la distancia se calcula en forma de función euclídea indicada en la Ecuación 1. Existe una relación lineal entre el tiempo de propagación y la distancia recorrida en donde  $C$  es la constante de la velocidad de la luz,  $(t_i - t)$  es el diferencial del tiempo de emisión de la señal,  $(x, y)$  y  $(x_i, y_i)$  son las coordenadas de los puntos conocidos.

$$f_i(x) = C(t_i - t) - \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \quad (\text{Ecuación 1})$$

En general, se requieren de al menos 3 puntos para una localización en dos dimensiones. Este método requiere de una gran precisión en la sincronización y en el tiempo de referencia. Para obtener esta gran precisión, se pueden utilizar técnicas como el Espectro Ensanchado (UWB) y de algoritmos como Peso Residual o Vecino más Cercano los cuales estiman la situación del usuario en relación al nodo satélite más cercano.

Adicionalmente, se puede nombrar la técnica del Tiempo de Llegada Diferenciado (TDOA), en la que se hace el uso de dos señales con velocidades de propagación diferentes. La primera ( $S_A$ ) es una señal con tiempo de propagación  $T_r$ ; la segunda ( $S_B$ ) es una señal expresada con un tiempo  $T_s$  y  $V_s$  la velocidad de propagación de  $S_A$  indicados en la Figura 12.

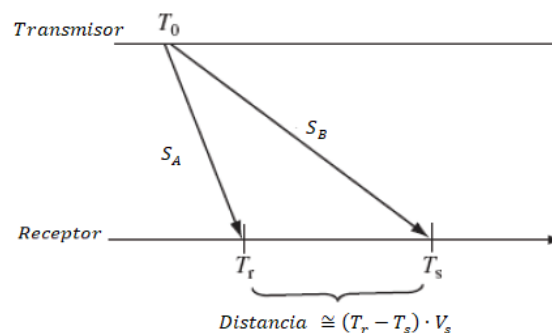


Figura 12. Cálculo de la distancia entre transmisor y receptor en TDOA

También se puede emplear un TDOA que compare los tiempos de llegada de las señales de una Estación Base (BTS), mediante el uso de hipérbolas, las que

cumplen la condición de que la distancia a cada BTS del par sea constante como se ejemplariza en la Figura 13.

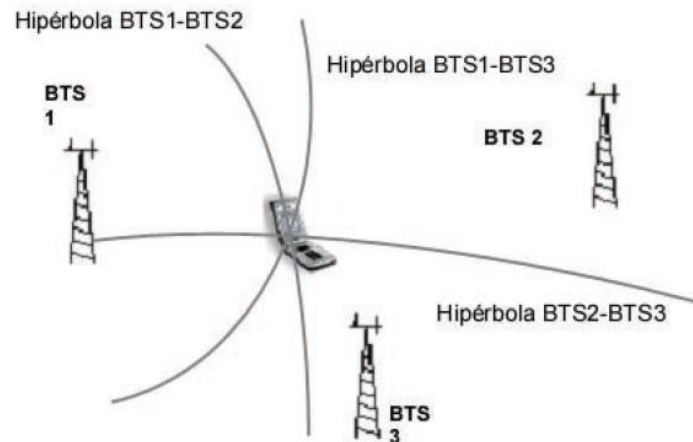


Figura 13. TDOA con hipérbolas en una red celular

### 2.3.3 Trilateración

La trilateración calcula la posición de un objeto midiendo su distancia desde puntos de referencia colocados en posiciones conocidas. Cuando conocemos la distancia entre un objeto y un punto de referencia, sabemos que la posición del objeto está en algún lugar en un círculo con el punto de referencia como centro y la distancia como radio. Si también conocemos la distancia del objeto a un segundo punto de referencia, obtenemos otro círculo. Los dos círculos se cruzan en dos puntos, y uno de estos puntos es la posición del objeto. Al medir la distancia hasta un tercer punto de referencia, obtenemos tres círculos que se cruzan en un solo punto. Esta es la posición del objeto. La *Figura 14* muestra una posición, el punto central, calculado midiendo la distancia a los tres puntos de referencia A, B y C. Lo que acabamos de describir supone que el objeto y los puntos de referencia están en el mismo plano. En el espacio tridimensional, tenemos esferas en lugar de círculos, y se requieren mediciones de distancia hasta al menos cuatro puntos de referencia. La posición del objeto ahora estará dada por la intersección de las cuatro esferas.

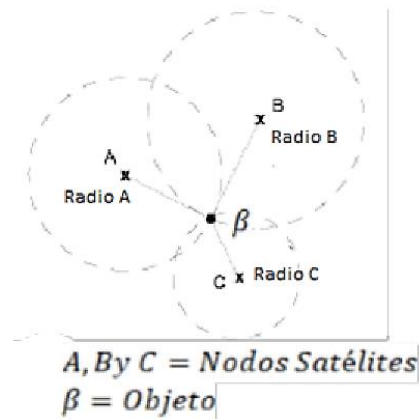


Figura 14. Ubicación de un objeto mediante Trilateración

### 2.3.4 Ángulo de Llegada (AOA)

Esta técnica es común en el procesamiento de señales con arreglos. En lugar de usar una única antena, se despliegan diferentes antenas para que, se logre inferir el ángulo de llegada de la señal. La estimación de la localización se basa en la triangulación de dichos ángulos. Una desventaja de esta técnica es que, a pesar de ser muy precisa no puede utilizarse en dispositivos que utilicen el protocolo 802.11 debido a que no utilizan un arreglo de antenas, sino como mucho dos, lo que la hace perfecta para su uso en sistemas basados en redes celulares. En la *Figura 15*, se puede comprender de mejor esta técnica de localización, en donde  $\theta_1$  y  $\theta_2$  son en ángulos existentes entre la altura de las antena y la distancia al dispositivo.

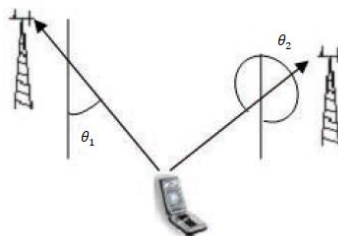


Figura 15. Técnica de posicionamiento en base al AOA

### 2.3.5 Multilateración

La multilateración es una técnica similar a la trilateración en la forma en que ambas usan la distancia para estimar la posición. Son las mediciones las que hacen que las técnicas sean diferentes entre sí.

La trilateración usa la distancia euclidiana entre un punto estacionario y un dispositivo móvil mientras que la multilateración usa la diferencia de distancia desde un dispositivo móvil a dos puntos estacionarios diferentes. Cuando se utiliza la comunicación de RF, TDOA se utiliza comúnmente como técnica de medición en lugar de diferencia de distancia.

Como solo se mide la diferencia de distancia y no la distancia real, los dos puntos estacionarios no darán un número finito de ubicaciones posibles. El patrón de posibles soluciones se puede realizar como una curva hiperbólica. Debido a esto, la multilateración también se llama navegación hiperbólica. Tres hiperboloides que se cruzan son necesarios para determinar la ubicación en 3D, es decir, se necesitan al menos cuatro puntos para obtener la ubicación 3D. Más de cuatro disminuirán el error que ocurre en un entorno realista.

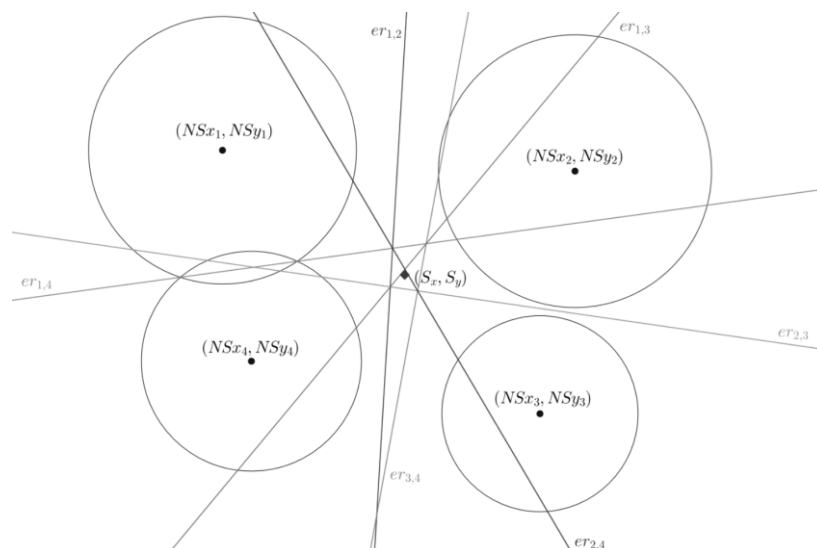


Figura 16. Técnica de posicionamiento en base a Multilateración

## **2.4 Áreas de aplicación de sistemas IPS**

La lista de aplicaciones a continuación demuestra la necesidad omnipresente de posicionamiento en interiores capacidad en nuestra forma de vida moderna. Además, junto con una mejora del rendimiento, las futuras generaciones de sistemas de posicionamiento en interiores encontrarán aún más aplicaciones que están en el tiempo presente no es factible.

Las aplicaciones comercialmente más relevantes para el mercado masivo son las denominadas Servicios Basados en la Ubicación (LBS) que hacen uso de la posición geográfica para entregar dependientes del contexto, información accesible con un dispositivo móvil. Dichos servicios se requieren en interiores y exteriores.

Ejemplos de LBS son la obtención de información de seguridad o información de actualidad en cines, conciertos o eventos en los alrededores. Las aplicaciones LBS incluyen navegación a la tienda correcta en un centro comercial u oficina en un edificio público, dentro de una tienda o almacén, la detección de ubicación de los productos es de interés para el propietario, así como para los clientes.

### **2.4.1 Hogares o Consumo**

Las aplicaciones en los hogares incluyen la detección de artículos perdidos, juegos de gestos físicos y ubicación servicios basados en casa. Los sistemas Ambient Assistant Living (AAL) brindan asistencia a personas mayores personas en sus hogares dentro de sus actividades de la vida diaria. Una función clave de los sistemas AAL es conocimiento de la ubicación que requiere una funcionalidad de posicionamiento en el interior.

Las aplicaciones en casa son monitoreo médico como monitoreo de signos vitales, detección de emergencias y detección de caídas, pero también servicio y sistemas de entretenimiento personalizados, como sistemas de audio inteligentes

### **2.4.2 Cuidado Médico**

En los hospitales, el seguimiento de la ubicación del personal médico en situaciones de emergencia se ha convertido crecientemente importante. Las aplicaciones médicas en el hospital también incluyen pacientes y seguimiento de equipos, por ejemplo, detección de caída de pacientes. Se requiere un posicionamiento preciso para asistencia robótica durante cirugías. Los dispositivos analíticos existentes pueden reemplazarse por otros equipos más eficientes.

### **2.4.3 Monitoreo ambiental**

El monitoreo ambiental se usa para observar algunos fenómenos tales como calor, presión, humedad, contaminación del aire y deformación de objetos y estructuras. Para monitorear estos parámetros sobre un cierto espacio interior o exterior, se organizan múltiples nodos de sensores como una Red de Sensores Inalámbrica (WSN). Un WSN consiste en un autónomo pequeño, económico y distribuido espacialmente nodos con procesamiento limitado y recursos informáticos y radios para comunicación inalámbrica.

### **2.4.4 Servicios de emergencia**

Las capacidades de posicionamiento en interiores brindan beneficios importantes en la aplicación de la ley, servicios de rescate, y servicios de bomberos, por ejemplo, detección de ubicación de bomberos en un edificio en llamas. La policía se beneficia de varias aplicaciones relevantes, como la detección instantánea de hurto o robo, detección de la ubicación de perros policías entrenados para encontrar explosivos en un edificio, localizar y recuperar objetos robados. Adicionalmente productos para las investigaciones posteriores a un incidente, recuperación de la escena del crimen, estadísticas y capacitación, sino también en la prevención del crimen, por ejemplo, con dispositivos etiquetados.

### **2.4.5 Industria**

La ingeniería mecánica se está desarrollando hacia sistemas inteligentes para fabricación automática. Para numerosas aplicaciones industriales, el conocimiento de la posición interior es un elemento funcional esencial, como para la guía robótica, robots industriales, cooperación de robots, fábricas inteligentes (por ejemplo, sistemas de asistencia de herramientas en líneas de ensamblaje de automóviles), monitoreo automatizado y control de calidad. Las capacidades de posicionamiento en interiores pueden ayudar a encontrar herramientas de mantenimiento etiquetadas y equipos dispersos por toda una planta en instalaciones de producción industrial. La mejora de los sistemas automáticos de seguridad, la protección inteligente del trabajador y la prevención de colisiones son conducidos por capacidad de posicionamiento de dicho sistema.

### **2.4.6 Logística y Optimización**

Para fines de optimización de procesos en sistemas complejos, es esencial contar con información sobre la ubicación de los activos y el personal. En un entorno de almacenamiento complejo, por ejemplo, es importante que los productos solicitados se encuentren rápidamente. Basado en localización precisa, rastreo de cada unidad individual es posible. Posicionamiento para sistemas de gestión de carga en aeropuertos y puertos y para el tráfico ferroviario ofrece oportunidades sin precedentes para aumentar su eficiencia.

## **3 CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DESARROLLO**

### **3.1 Parámetros de análisis**

La diversidad de tecnologías y soluciones existentes para realizar la localización en interiores tanto de objetos como personas significa un problema. Elegir adecuadamente una tecnología a utilizar es realmente complejo ya que debe tomarse en cuenta las características de cada una de ellas, sus ventajas y

desventajas, mismas que nos serán de utilidad a la hora de construir un sistema de localización en interiores. Debido a la gran cantidad de criterios a ser tomados en cuenta, mismos que se exponen en la Figura 17, no es sencillo para un usuario identificar la solución óptima para una aplicación en específico.

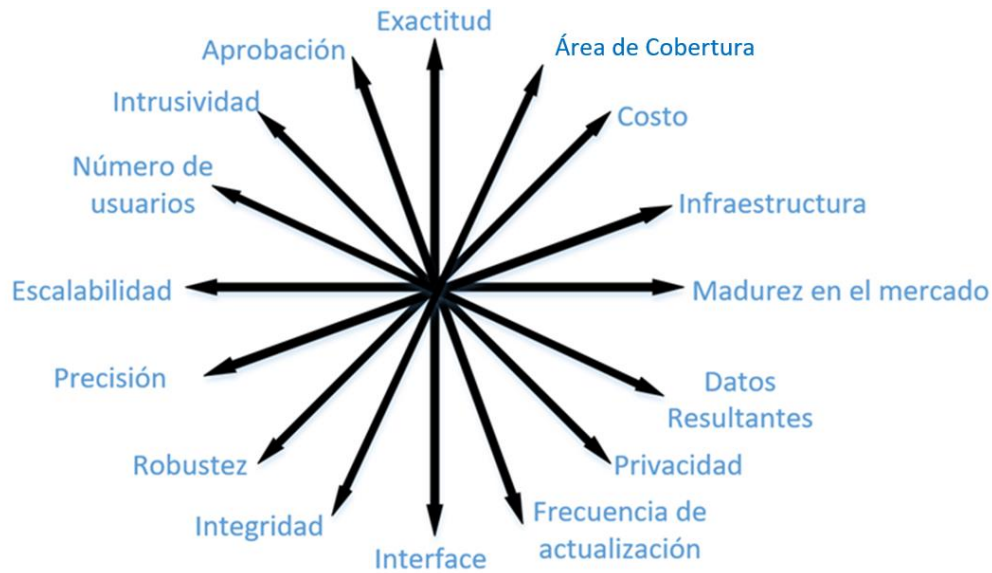


Figura 17. Parámetros generales de análisis

La Figura 17 ilustra la complejidad y multidimensionalidad del problema de optimización que enfrenta el usuario. Tanto los parámetros técnicos, como los requisitos de los usuarios han sido extrapolados como método lógico científico para suponer que de esta forma se obtendrá un resultado más nítido y que permita evaluar todas las tecnologías y soluciones. Resultado de la aplicación de este método obtenemos las variables cuantitativas mostradas en la Figura 18.

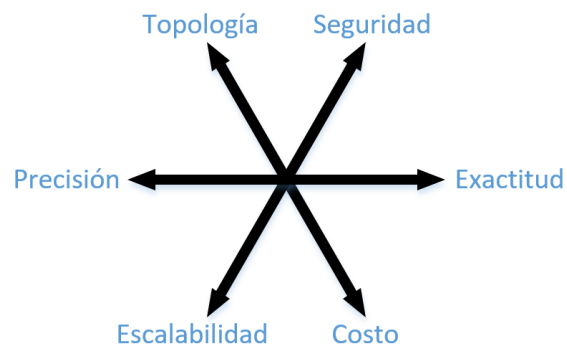


Figura 18. Resultado del método de extrapolación



En sistemas IPS según el contenido previamente citado, se indican los parámetros para justificar la necesidad de ser tomados en cuenta:

- Exactitud
- Precisión
- Seguridad
- Escalabilidad
- Costo
- Topología

### **3.1.1 Exactitud**

La exactitud es la propiedad más obvia a considerar al evaluar y comparar en diferentes sistemas de posicionamiento. La exactitud es una medida de la cercanía de una o varias posiciones a una ubicación que se conoce y define en términos de un sistema de referencia absoluto. "Absoluto" significa que utiliza una cuadrícula de referencia compartida para todos los beacons o nodos satélites, y que dos objetos en el mismo lugar manifiesten el equivalente de sus posiciones. La ubicación conocida a menudo se denomina "posición verdadera". La exactitud puede estar dada en kilómetros, metros, centímetros, etc.

En base a los métodos de estimación de localización se puede decir que la precisión de un IPS es la distancia Euclidiana promedio entre la posición estimada y la posición verdadera. La precisión sigue siendo un área muy desafiante para muchos investigadores. Mientras que el controlador clave para la mayoría de las aplicaciones es la precisión de IPS, es posible que se necesiten algunos compromisos entre la precisión y otras métricas de rendimiento.

### **3.1.2 Precisión**

La precisión, es una medida dada en porcentaje, y se basa en un sistema de referencia relativa que es exclusivo del dispositivo que realiza las mediciones.

Por ejemplo, si el beacon o nodo es un activo valioso perdido con un transmisor conectado, cada dispositivo receptor que lo está buscando informa la posición del objeto relativo a sí mismo. La precisión es una medida repetitiva, y nos dice con qué frecuencia podemos esperar obtener una precisión específica. Por ejemplo, si el 95% de las lecturas de posición de un sistema están dentro de 10 cm de la posición verdadera, se dice que tiene una precisión de 10 cm en el tiempo, o 10 cm al 95% de confianza.

### **3.1.3 Seguridad**

Se debe garantizar la seguridad y privacidad de los usuarios al momento de utilizar cualquier tecnología y más aún si por estas se realiza intercambio de información entre millones de objetos interconectados. La privacidad es importante para las personas que utilizan IPS porque es crucial un control de acceso sólido sobre cómo se recopila y utiliza la información personal de los usuarios. Para mejorar la privacidad de los usuarios, se deben implementar y mantener mecanismos de seguridad para proteger los datos contra intrusos, robos y uso indebido.

La información sobre la ubicación del usuario es una información sensible que puede presentar un problema si está disponible o si no está lo suficientemente protegida. El nivel de seguridad del sistema se puede explicar por las características técnicas como son tempera

### **3.1.4 Escalabilidad**

La escalabilidad es la capacidad que tienen los sistemas para reaccionar y adaptarse sin perder calidad, y manejar un crecimiento continuo de operación de manera fluida. La escalabilidad de un IPS se basa en que el sistema garantice la operación de posicionamiento de forma normal cuando se escala en una de dos dimensiones: geografía y número de usuarios. La escala del número de usuarios indica que el número de unidades ubicadas por período de tiempo. La escala geográfica hace referencia a los posibles cambios en la infraestructura mobiliaria en la cual están aplicadas las soluciones IPS.

### **3.1.5 Capacidad**

Para sistemas de comunicación diseñados específicamente para transmitir datos de ubicación en interiores, la capacidad es esencial y fundamental ya que procesos simples pueden verse interrumpidos debido al desbordamiento de la capacidad de transmisión, generando así una calidad de servicio defectuosa.

### **3.1.6 Costo**

El costo de un IPS se puede medir por diferentes dimensiones: dinero, tiempo, espacio y energía. Estos pueden verse afectados en varios niveles del sistema: instalación y mantenimiento del sistema, componentes de infraestructura y dispositivos de posicionamiento.

El costo de instalación y mantenimiento del sistema incluye el costo requerido para la implementación y los gastos necesarios para mantener la funcionalidad del sistema, mientras que el costo de los componentes de la infraestructura y los dispositivos de posicionamiento pueden incluir los costos de comprar componentes y prepararlos, así como el espacio y la energía necesaria para ejecutar esos componentes.

Algunos IPS, especialmente los que reutilizan las infraestructuras existentes, como la de red, son más rentables. Algunos dispositivos de posicionamiento, como las etiquetas pasivas RFID, son completamente pasivos de energía, mientras que otros sistemas consumen más energía. Los costos de mantenimiento incluyen gastos requerido para mantener el sistema funcional. Los costos de espacio involucran la cantidad de instalación de infraestructura y el tamaño del hardware. La cuantificación de los costos debe manejarse con atención debido a dependencias relacionadas con el tiempo, la ubicación y el fabricante.

### **3.1.7 Topología**

La topología de red hace referencia a como se encuentran conectados los dispositivos, tanto activos como pasivos, y la forma de comunicación. La topología afecta directamente el rendimiento y capacidad de los dispositivos conectados dentro de la red y por ende una correcta topología optimizará costos sobre el sistema. La elección de una adecuada topología también facilitará el mantenimiento de los equipos y sub-sistemas dentro de la red sin afectar el servicio que estos estén brindando además de facilitar la resolución de inconvenientes de conectividad.

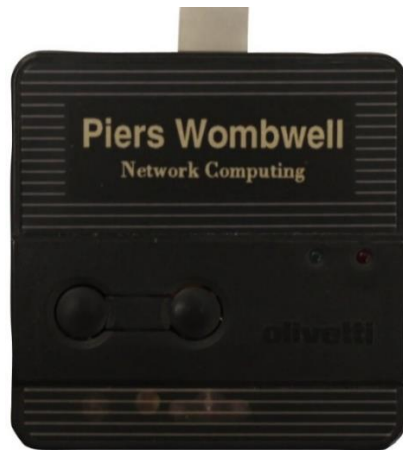
## **3.2 Análisis de las soluciones tecnológicas existentes**

Para encontrar una tecnología de posicionamiento adecuada para una aplicación en particular, los rendimientos de los parámetros deben coincidir con los requisitos del usuario. Estos parámetros (enumerados anteriormente) presentan un problema de optimización multidimensional cuando se busca el mejor partido. Además, los valores para los parámetros de rendimiento generalmente no son determinables ya que a su vez dependen de varios factores, circunstancias y condiciones. Cada enfoque de sistema no solo tiene su conjunto individual de parámetros de rendimiento, sino también varias características, condiciones, suposiciones y aplicaciones únicas que deben ponderarse entre sí. La ponderación de todos los parámetros y condiciones adicionales no se puede hacer en una manera objetiva. Por lo tanto, la clasificación equitativa de los sistemas no es útil ni factible. A continuación, se detallan las posibles soluciones existentes en tecnologías de posicionamiento en interiores.

### **3.2.1 Active Badge**

El sistema original puede ubicar objetivos individuales en un edificio, monitoreando su presencia en diferentes salas. Esto se realiza equipando habitaciones con uno o más sensores en red, que detectan transmisiones de

infrarrojos difusos emitidas por insignias activas. Las insignias son usadas por individuos, y emiten identificadores únicos cada 10 segundos o bajo demanda. En este último caso, la insignia puede transmitirse presionando un botón. Una estación maestra se encuentra sondeando los sensores para obtener información sobre las insignias que han visto recientemente, y la ubicación de la insignia se puede determinar sobre la base de esta información.



*Figura 19.* Primer equipo "Active Badge"

Tomado de (AT&T, 2002)

El rango del sistema es de aproximadamente 30 metros, y la línea de vista es necesaria. Las baterías convencionales de las insignias duran aproximadamente un año con los intervalos de tiempo entre las emisiones establecidas en 10 segundos.

El sistema Active Badge más grande ha sido implementado en la Universidad de Cambridge en el Laboratorio de Computación, donde se encontraban más de 200 insignias y 300 sensores diariamente utilizados. Un experimento con insignias de equipo y tecnología de ubicación de gran escala fue también implementado, con alrededor de 200 elementos de equipos con insignia y alrededor de 50 escritorios identificados mediante el uso del esquema de radio / infrarrojo híbrido.

### 3.2.2 Active Bat

En este sistema, las personas y los objetos que se ubican están equipados con dispositivos inalámbricos llamados murciélagos (bats), y receptores conectados por un cable de red instalados en posiciones conocidas y fijas en el techo. Además, el sistema incluye una serie de estaciones base. Una estación base transmite periódicamente un mensaje de radio que contiene un identificador de Bat. Simultáneamente, envía una señal de reinicio a los receptores en su rango a través de la red cableada. Como respuesta a la radio mensaje, el Bat identificado transmite un pulso ultrasónico.



*Figura 20.* Dispositivo “Active Bat”

Tomado de (AT&T, 2002)

Debido a que todos los receptores están montados en el techo, los transmisores están siempre debajo de ellos. Por lo tanto, el cálculo de la posición se puede hacer usando solo tres medidas de distancia, en lugar de las cuatro requeridas en general.

El primer sistema Bat fue instalado en un edificio de oficinas de tres pisos, en  $1,000 m^2$  con 750 unidades receptores, tres celdas de radio y 200 etiquetas. Los murciélagos miden alrededor de  $8 \times 4 \times 2$  cm, y extraer energía de una sola célula de litio AA que con características de baja potencia tiene una vida de alrededor de 1 año. Una de las características de bajo consumo es que cada Bat tiene un

detector de movimiento, que ayuda a las estaciones base a localizar solo los murciélagos que se están moviendo.

Para simplificar el mantenimiento, la telemetría se puede obtener de los murciélagos, y pueden ser reprogramado en el campo a través de redes inalámbricas o cableadas.

El posicionamiento 3D en Active Bat tiene una precisión de 3 cm en aproximadamente el 95 por ciento del tiempo. La tasa máxima de actualización de posición en cada celda de radio es de 150 actualizaciones por segundo. Las señales de los Murciélagos activados simultáneamente están codificadas de manera que permite a los receptores distinguir entre cada uno de ellos.

### 3.2.3 Cricket

Cricket fue un sistema desarrollado por investigadores del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) cuyo diseño de hardware y software se han convertido de código abierto. Cricket fue diseñado para evitar el inconveniente de privacidad del usuario inherentes en los sistemas anteriormente revisados (Active Badge o Active Bat), de tal forma que permite que sus dispositivos aprendan su ubicación en lugar de tener un sistema de rastreo constante sobre ellos.

Cricket invierte la arquitectura empleada en los sistemas anteriormente mencionados, es decir, en lugar de que el dispositivo emita las señales a administrar, la infraestructura transmite dichas señales que recibe el dispositivo móvil y se usa para inferir su ubicación.



*Figura 21.* Dispositivo “Cricket”

Tomado de (MIT, 2005)

Los dispositivos Cricket se pueden fabricar de forma económica, comercial y componentes del estante, lo que resulta en un precio de menos de \$ 10 por cada dispositivo. También están disponibles comercialmente a \$ 225 (en volúmenes bajos) en los Estados Unidos.

Cricket puede ser tan preciso como entre 1 y 3 cm en implementaciones reales. Las señales de radio funcionan a una frecuencia de 433 Mhz, con el nivel de potencia de transmisión predeterminado y antenas que proporcionan un alcance de unos 30 metros en el interior cuando no hay obstáculos.

El rango máximo de ultrasonido es de 10.5 metros cuando el oyente y el beacon están uno frente al otro y no hay obstáculos entre ellos.

### 3.2.4 NaviFloor

NaviFloor es un sistema basado en láminas reforzadas de fibra de vidrio que contienen etiquetas pasivas HF RFID integradas. NaviFloor está especialmente diseñada para ser instalada en superficies artificiales y soportan una presión de hasta  $45 N/mm^2$ . Las etiquetas de NaviFloor son instaladas en cuadrículas de 25 cm y cuyos chips NXP miden 45 x 45 mm; Estos receptores cumplen con la norma ISO 15693 y comunican en la banda de los 13.56 MHz. Tienen una exactitud comprobada de hasta 50 cm al 95% de las mediciones. NaviFloor requiere un sensor activo por aproximadamente 2/3 del área de habitación de hasta  $28 m^2$ .



Figura 22. Lámina “NaviFloor”

Tomado de (Future Shape, 2017)



### **3.2.5 Radar**

El sistema Radar fue desarrollado por investigadores de Microsoft. Es un sistema basado en radio frecuencia utilizado para localizar y rastrear dentro de edificios.

Radar, para determinar ubicaciones, usa un mapa de radio, una base de datos que mapea la potencia de las señales para ubicar las coordenadas. La mayor parte del trabajo en la implementación es construir este mapeo, que se puede construir usando un mapa de radio empírico o con el modelo de propagación de radio.

Para mejorar la precisión, Radar utiliza el seguimiento continuo de los usuarios, lo que significa usar información del pasado para hacer mejores suposiciones sobre la ubicación del usuario. Esto se basa en restricciones físicas, ya que es muy probable que el usuario esté cerca de una ubicación anterior.

En su primera implementación, Radar fue desplegado en un área de 980 metros cuadrados con más de 50 habitaciones, cubierto por tres estaciones base. La precisión es de se maneja en el rango de 2 a 3 metros, aproximadamente el tamaño de una sala de oficina típica: el 50% de las veces con el enfoque de mapa de radio empírico. Con el modelo de propagación de radio, la precisión es de aproximadamente 4.3 metros el 50% de una unidad tiempo. La unidad de tiempo está definida por la solución y la cantidad de lecturas obtenidas.

### **3.2.6 Parctab**

Este sistema es similar al sistema Active Badge en que proporciona precisión de posicionamiento a escala de habitación al utilizar una red infraestructura que escucha transmisiones infrarrojas difusas de los dispositivos de los usuarios.

Los Parctab, son asistentes digitales personales (PDA) con varios Diodos IR espaciados alrededor de la caja y también tienen un receptor multidireccional. Los diodos IR utilizados son LED de gran angular para garantizar emisiones infrarrojas difusas.



*Figura 23.* Dispositivo “PARCTAB”

Tomado de (Xerox, 2002)

Estos trancivers en red tienen 24 emisores IR espaciados con intervalos de 15 grados para cobertura completa en todas las direcciones, y dos detectores que proporcionan 360 grados de ángulo de visión. El alcance es de aproximadamente 6 metros, y cuando se coloca en el techo en el medio de una habitación ofrece una muy buena cobertura. Las emisiones difusas hacen que las pérdidas de señal (LOS) no sean necesarias, porque los trancivers y los PARCTAB pueden detectar la luz infrarroja reflejado desde las superficies. Los investigadores informan que, si ya hay una red en la habitación, solo tomaría unos 15 minutos instalar un tranciver.

### **3.2.7 Locust Swarm**

Locust Swarm es otro sistema infrarrojo. Difiere de Active Badge y los sistemas Parctab en que los nodos de infraestructura, los locust, son dispositivos inalámbricos y transmiten su información de ubicación para que el dispositivo del usuario escuche y se garantice la privacidad del usuario. Los locust miden alrededor de 3 x 8 cm y están conectadas a un pequeño panel de celdas solares que mide aproximadamente 15 x 15 cm. Se colocan en las parrillas debajo de las luces fluorescentes, y aprovechar todo su poder de esta manera y no necesitan baterías. Un locust cubre un área de aproximadamente 6 metros de

diámetro, dependiendo en la distancia al piso. En 2009, una Locust podría fabricarse por menos de \$ 15. El dispositivo de usuario podría ser cualquier dispositivo con un receptor de infrarrojos apropiado.

### **3.2.8 IRIS-LPS**

IRIS-LPS (Infrared Indoor Scout) es un sistema de posicionamiento local infrarrojo óptico desarrollado en la Universidad Tecnológica de Darmstadt en Alemania, y publicado en 2003. El sistema consiste en una serie de etiquetas emisoras de IR y una cámara estacionaria estéreo montada. Todo el hardware está hecho de componentes baratos y listos para usar.

La cámara estéreo consta de dos cámaras USB con lentes de 120 grados montados a 20 cm el uno del otro. Las cámaras miden el ángulo de llegada de la luz emitida desde las etiquetas, y esto se usa para triangular las etiquetas. La luz da como resultado una mancha brillante en la imagen, y el tamaño y la densidad del punto se usa para determinar la distancia. La cámara estéreo está conectada a una PC que descomprime las imágenes y realiza el procesamiento de imágenes en tiempo real. Podría haber hasta 100 etiquetas.

La etiqueta en sí es más pequeña que la batería, y consiste en un LED con un ángulo estrecho de 20 grados y rango de más de 10 metros. Un tiempo de exposición de 1/500 de segundo es suficiente para la cámara para detectar la señal. La precisión disminuye al aumentar la distancia y ángulo de la cámara y era de aproximadamente 8 cm a corta distancia y de 16 cm cuando cubría una habitación de unos 100  $m^2$ .

### **3.2.9 Ekahau**

Ekahau es una compañía finlandesa que ofrece seguimiento de ubicación en tiempo real y en varios pisos de dispositivos WiFi o etiquetas WiFi en cualquier red Wi-Fi estándar (802.11 a / b / g).

La precisión promedio de hasta 1 metro en menos de un segundo se logra en el interior mediante el uso de 5-7 puntos de acceso, o una precisión promedio de

2-3 metros mediante el uso de 3-5 puntos de acceso. El sistema patentado de detección de ubicación Ekahau es una solución de solo software que funciona con cualquier punto de acceso Wi-Fi disponible en el mercado. No se necesita infraestructura de propiedad.



Figura 24. Sistema "Ekahau"

Tomado de (Ekahau, 2018)

Es un seguimiento basado en zonas, para informar la ubicación del dispositivo por nombre de zona y continuo posicionamiento en tiempo real de la ubicación precisa de x, y, piso, rumbo, velocidad, etc. las coordenadas son compatibles. El sistema puede ubicar más de 100 dispositivos por segundo en una típica PC de escritorio, y más con hardware más potente como un servidor dedicado.

La primera gran ventaja con el enfoque de Ekahau es que el tiempo necesario para la calibración del sitio (un recorrido en el entorno para recopilar puntos de muestra para construir el modelo) es mucho más corta que para construir un mapa de radio como lo utiliza Radar. El tiempo aproximado necesario es de solo 1 hora por cada  $1.200 m^2$ .

La segunda gran ventaja es que el ambiente menor cambia como el número de personas o el arreglo de muebles no requiere recalibración del modelo de posicionamiento. La recalibración parcial es solo requerida cuando los puntos de acceso se mueven o las estructuras pesadas se modifican en el área de cobertura.

### **3.2.10 Cordis Radio Eye**

El sistema Cordis Radio Eye (CRE) es una tecnología noruega para posicionamiento en interiores que es capaz de proporcionar las coordenadas físicas de 802.11b de dispositivos WiFi.

El sistema consiste en una unidad montada en el techo. Al analizar el espectro de señal de las microondas emitidas desde dispositivos móviles, el sistema puede determinar sus coordenadas siempre que haya una línea de vista entre RadioEye y los dispositivos. Esta técnica de posicionamiento es única y patentado por Radionor.

CRE es capaz de proporcionar una precisión de hasta 50 cm en 50% del tiempo de muestra, o podría proporcionar una cobertura de 2000 metros cuadrados por Radio Eye. Los dispositivos se pueden monitorear con un ángulo de cobertura de 110 grados, y se requiere una compensación entre cobertura y precisión disminuye cuando el área de cobertura se hace más grande. El sistema puede calcular hasta 1000 posiciones por segundo.

### **3.2.11 Sistemas basados en Bluetooth**

Las principales características de la tecnología Bluetooth son dispositivos Bluetooth de bajo costo, bajo consumo de energía, rango pequeño, robustez y uso global. Bluetooth proporciona velocidad de transferencia de 1 Mbps y utiliza una banda de frecuencia sin licencia de 2.4 a 2.485 GHz, es decir, utiliza el área ISM (industrial, científica y médico) donde la frecuencia está globalmente armonizada. Además, el Bluetooth ofrece una conexión de radio con otros sistemas. Los dispositivos de diferentes fabricantes son mutuamente incompatibles, y el paquete y se permite el cambio de canal.

Bluetooth de baja energía (BLE) se caracteriza por un tamaño muy pequeño, bajo costo, bajo consumo de energía con la posibilidad de varios años de trabajo en una fuente de alimentación pequeña (pilas AAA) y compatibilidad con dispositivos móviles, tabletas y computadoras.

En base a las características propuestas anteriormente se podría considerar Bluetooth como una alternativa óptima para el uso en sistemas IPS tal como lo hace el sistema Topaz, de la empresa Tadlys.

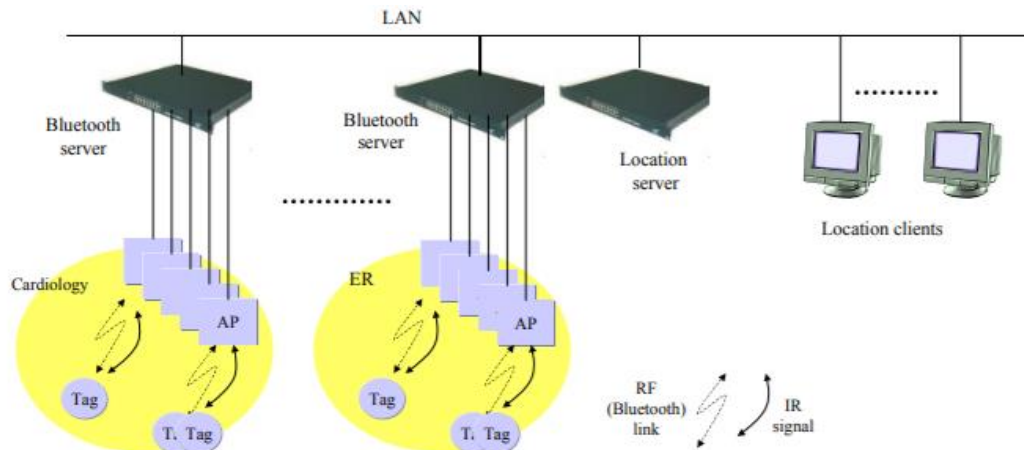


Figura 25. Arquitectura del sistema "Topaz"

Tomado de (Weissman, 2004)

El sistema de ubicación Topaz es un software de posicionamiento de área local y un sistema de hardware que calcula la posición local de las etiquetas Bluetooth y otros dispositivos (por ejemplo, teléfonos móviles, PDA, etc.). Cuenta con una precisión de posicionamiento promedio de hasta 2-3 metros (7-10.5 pies) y puede ubicar decenas de etiquetas simultáneamente, cubriendo áreas de miles de metros cuadrados. El sistema de posicionamiento interior Topaz es particularmente efectivo dentro de los edificios, donde los sistemas de posicionamiento tradicionales (particularmente el GPS) son ineficaces o inexactos.



Figura 26. Beacon de "Zonith" PoE

Tomado de (Zonith, 2018)

Otro de los sistemas BLE ya establecidos como un producto de alta confiabilidad es Zonith. Este sistema es ejecutado en paquete sobre sistema operativo Windows el cuál, recolecta señales de dispositivos bluetooth receptadas por beacons para calcular la posición real del dispositivo cliente. Entre más beacons instalados la exactitud de ubicación aumenta debido al uso de la multilateración. Zonith Bluetooth utiliza el rango de frecuencias de 2.4 a 2.485 GHz para un rango de exactitud de 0 – 25 m. La precisión de medición de Zonith varía en 5 metros al 99% de las mediciones.

### **3.2.12 Sistemas UWB**

La alta velocidad de datos de UWB puede llegar a 100 Mbps, lo que la convierte en una buena solución para la transmisión de datos en el campo cercano. Además, las formas de onda de gran ancho de banda y pulsos extremadamente cortos ayudan a reducir el efecto de interferencia multitrayecto y facilitan la determinación del TOA para la transmisión de ráfagas entre el transmisor y el receptor correspondiente, lo que hace que UWB sea una solución más deseable para el posicionamiento interior que otras tecnologías.

La duración de un único impulso determina el retardo mínimo de la trayectoria diferencial mientras que las señales de impulsos de período determinan el retardo de trayectos múltiples observable máximo para realizar de manera inequívoca la resolución de múltiples trayectos. Además, la baja frecuencia de los pulsos UWB permite que la señal pase efectivamente a través de obstáculos, como paredes y objetos, lo que mejora la precisión. De hecho, UWB proporciona una alta tasa de precisión que puede minimizar el error a sub-centímetros. Por lo tanto, se considera que UWB es una de las opciones más adecuadas para aplicaciones de posicionamiento críticas que requieren resultados altamente precisos.

La tecnología UWB, a diferencia de otras tecnologías de posicionamiento como el sensor de infrarrojos y ultrasonido, no requiere visibilidad directa y no se ve afectada por la existencia de otros dispositivos de comunicación o ruido externo debido a su gran ancho de banda y modulación de la señal. Además, el costo

del equipo UWB es bajo y consume menos energía que otras soluciones de la competencia.

Muchos IPS se implementaron comercialmente utilizando UWB. Un sistema de posicionamiento conocido que usa UWB es el sistema Ubisense. En un sistema Ubisense, un usuario lleva etiquetas que transmiten señales UWB a sensores fijos que usan las señales para determinar las posiciones del usuario usando el método de tiempo de llegada.



*Figura 27. Beacon de “Ubisense”*

Tomado de (Ubisense, 2018)

Una de las aplicaciones militares de UWB es Alereon, que se ha utilizado para contratistas de defensa y agencias gubernamentales para permitir la integración inalámbrica de equipos y objetos de posicionamiento. El sistema de posicionamiento UWB de Alereon proporciona información sobre dispositivos, armas y teléfonos inteligentes, y facilita la detección de soldados.

Ubisense presentó una nueva solución innovadora basada en UWB para ayudar a los fabricantes a mantener un flujo continuo, reducir los errores y mejorar la eficiencia en los procesos de ensamblaje mediante la recopilación de datos de ubicación y sistemas que proporcionan conocimiento operacional en tiempo real. La solución ha sido adoptada con éxito por BMW en su instalación de Regensburg, Alemania.



Zebra es otra compañía que usa tecnología UWB y algoritmos TOA para determinar la distancia entre dispositivos y balizas de ubicación fija para ayudar en diferentes aplicaciones como administración de inventario, monitoreo y administración de flujo de producción, monitor de ventas minoristas y comportamiento del cliente. El módulo DartWand es un pequeño dispositivo de escritorio que se utiliza para configurar y hacer un inventario de sus DartTags, lo que permite a los usuarios finales configurar y administrar fácilmente miles de etiquetas. Se conecta mediante USB a una computadora con Windows que ejecuta el software de aplicación DartWand de Zebra y configura las DartTags por un canal de baja frecuencia.



*Figura 28.* Beacon “DartWand” de Zebra

Tomado de (Zebra, 2018)

DartWand maneja un rango de frecuencia de 6.35 GHz a los 6.75GHz con una exactitud de hasta 30 cm en el 99% de lecturas y permite configurar hasta 100 DartTags por cada módulo y es completamente compatible con redes WLAN. Este sistema ha demostrado su correcto uso para soluciones en áreas como: Transporte, Industria y Control de activos.

### **3.2.13 Dolphin**

Los sistemas Active Bat y Cricket descritos en las secciones anteriores son capaces de proporcionar un posicionamiento en interiores muy preciso. La implementación de estos sistemas en entornos a gran escala requiere la

configuración manual de una gran cantidad de infraestructura de nodos sensores, porque se requiere que tengan un conocimiento inherente de sus posiciones. Dolphin es un sistema de posicionamiento ultrasónico desarrollado para reducir tales costos de configuración.

Dolphin es similar a Active Bat y Cricket en la emisión de nodo de referencia de una señal de RF y una señal ultrasónica simultáneamente para que los nodos circundantes y de esta forma se puede medir el TOA utilizado para la medición de distancia. Con tres de estas medidas, la posición se puede calcular por trilateración.

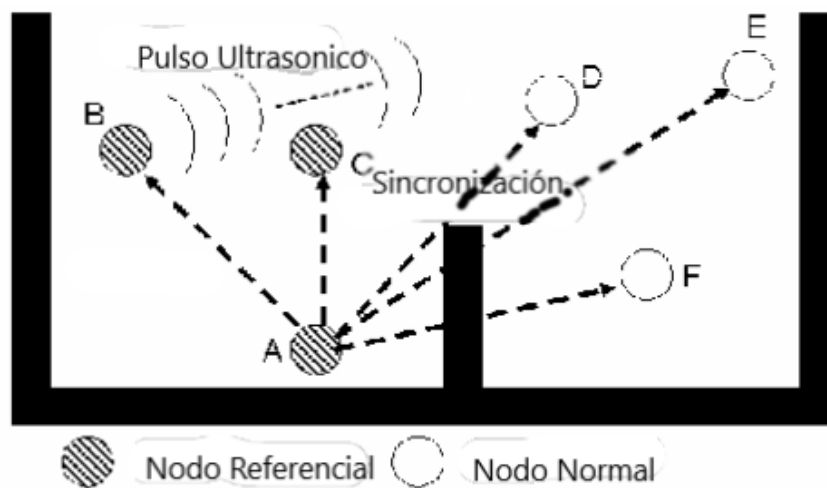


Figura 29. Arquitectura del sistema "Dolphin"

La diferencia en Dolphin es que, al usar un algoritmo de posicionamiento distribuido, solo unos pocos nodos deben ser pre-configurados con su posición exacta. Por ejemplo, si se usan los nodos de referencia A-C por el nodo D para determinar su posición, el nodo E puede determinar su posición en función de los nodos B-D y así sucesivamente. Con este enfoque incluso los nodos fuera del área de cobertura de los nodos de referencia se pueden posicionar.

La desventaja del enfoque de Dolphin es que un error de posicionamiento en un nodo afecta todas las determinaciones posteriores de posicionamiento basadas en este nodo, directo o indirecto.

En la implementación de prueba del sistema, que constaba de solo 3 nodos de referencia y otros cuatro nodos, la precisión de posicionamiento en un nodo que usa solo puntos de referencia para el posicionamiento era inferior a 5 cm, degradando entre 10 y 15 cm en los nodos que usaron este primer nodo para posicionamiento.

Este problema de propagación de error es inevitable, pero puede ser minimizado por la ubicación adecuada y el número de nodos de referencia. También fue notorio que las implementaciones de prueba actuales de Dolphin asumen que todos los dispositivos son estáticos. El enfoque actual de los investigadores detrás de DOLPHIN es manejar los dispositivos móviles y las técnicas en conjunto para mejorar la precisión.

#### **3.2.14 Bristol IPS**

El sistema de posicionamiento interior Bristol (Bristol) es otro sistema ultrasónico que intenta hacer frente a una de las desventajas de los sistemas Active Bat y Cricket.

El objetivo es reducir costos utilizando solo una infraestructura mínima y componentes fácilmente disponibles. Es un sistema simple que cubre una habitación de aproximadamente 4 x 7 metros y se pueden implementar precisiones de 10 a 15 centímetros por solo \$ 150.

Como en el sistema Active Bat, se usa una señal de radio para sincronizar transmisores y receptores, y las distancias se calculan midiendo el tiempo de vuelo de señales de ultrasonido. El sistema se auto posiciona y utiliza cuatro transmisores montados en el techo conectados a un módulo transmisor que contiene los controladores ultrasónicos, el microcontrolador y el transmisor de radio. El receptor está conectado a una host o al hombro de una persona. Se requiere línea de visión.

Contiene una batería recargable de 9 v en el módulo receptor durará solo un día. Sin embargo, el sistema es fácil de instalar y no requiere calibración después de la instalación inicial, Pero para uso a gran escala, los costos aumentarán.

Bristol se prueba con varias configuraciones. Cuatro transmisores Ultrasonido también pueden cubrir una habitación de 8 x 8 m con una precisión de 15 cm o una habitación de 8 x 16 m con una precisión de 20 cm.

Una configuración más grande de 6 transmisores de Ultrasonido a una altura de siete metros cubre un 10 x 18 m de espacio, con una precisión superior a 25 cm.

### 3.3 Análisis comparativo de IPS por tecnología en relación a sus parámetros de funcionamiento

A continuación, se muestra una tabla que incluye todos los parámetros anteriormente analizados sobre cada tecnología de sistemas de posicionamiento de interiores:

Tabla 2.

#### *Parámetros para sistemas IPS*

Sistema/So lución	Tecnología	Algoritmo de Posicionami ento	Exactitud	Precisión/ Mediciones	Escalabilidad	Seguridad	Costo	Topología
Active Badge	Infrarrojo	Algoritmo Viterbi	1 - 2 m	1 m a 50%	1 Nodo hasta 30m	Baja	Medio	Ad-Hoc
Active Bat	Ultrasonido	Proceso Gausiano	3 - 10 cm	3 cm a 95%	1 Nodo/8x8m	Baja	Bajo	Ad-Hoc
Cricket	RF y Ultrasonido	N/A	10 -15 cm	15 cm a 90%	1 Nodo/8x8m	Baja	Bajo	Ad- Hoc/Estrell a
NaviFloor	RF	Método Probabilístico	< 50 cm	50 cm a 95%	2 Nodos hasta 28 m	Media	Alto	Malla
RADAR	WLAN	Algoritmo Viterbi	2 - 3 m	4.3 m a 50%	1 Nodo hasta 200m	Alta	Alto	Malla
PARCTAB	Infrarrojo	Método Probabilístico	1 - 2 m	1 m a 90%	6m2/Nodo	Baja	Medio	Ad-Hoc
Locus Swarm	Infrarrojo	N/A	2 - 15 cm	15 cm a 50%	6m2/Nodo	Media	Medio	Ad-Hoc
IRIS-LPS	Infrarrojo	basado en PD	< 1 m	1 m a 50%	1 Nodo hasta 100 etiquetas	Media	Medio	Ad-Hoc
Ekahau	WLAN	Método Probabilístico	< 1 m	1 m a 50%	3-5 Nodos cada 50m	Alta	Alto	Malla
Cordis RadioEye	WLAN	Método de Mínimos Cuadrados	< 50 cm	50 cm a 50%	1 Nodo hasta 200m	Alta	Alto	Malla
Topaz	Bluetooth	basado en PD	2 - 3 m	2 m a 95%	Nodos cada 2 - 15 m	Media	Bajo	Estrella

Zonith	Bluetooth	basado en PD	0 – 5 m	5 m a 99%	1 Nodo cada 25 m	Alta	Medio	Estrella
Ubisense	Ultra wideband/G SM	Método de Mínimos Cuadrados	15 cm	30 cm a 99%	2 - 4 sensores por celda (10-200m)	Alta	Bajo	Estrella
DartWand	Ultrawide band/ WLAN	TDoA	<30 cm	30 cm a 99%	1 Nodo hasta 100 etiquetas	Alta	Medio	Estrella
Dolphin	Ultrasonido	Proceso Gausiano	5 - 10 cm	10 cm a 50%	1 Nodo/8x8m	Media	Bajo	Ad-Hoc
Bristol IPS	Ultrasonido	Proceso Gausiano	10 - 15 cm	15 cm a 95%	1 Nodo/8x8m	Alta	Bajo	Ad-Hoc

Una vez reconocidos todos los parámetros de análisis para las soluciones en estudio, procederemos con la identificación de las soluciones óptimas por cada uno de estos.

### 3.3.1 Análisis en función de la Exactitud

Como se expuso en la sección 3.1.1 la exactitud es una propiedad fundamental a ser considerada ya que nos muestra un margen de cercanía en cuanto a las diferentes ubicaciones que tenga un dispositivo en un sistema IPS. Como se puede observar en la Tabla 2, tecnologías basadas en ultrasonido, UWB o RF son las que muestran una tasa mayor de exactitud en relación al resto de soluciones, exponiendo un rango máximo de 20 centímetros. En la Tabla 3 mostrada a continuación se expondrá este resultado:

Tabla 3.

*Resultados en función de la Exactitud*

Solución IPS	Cumple con parámetros de exactitud
Active Badge	
Active Bat	X
Cricket	X
NaviFloor	X
RADAR	
PARCTAB	
Locus Swarm	X
IRIS-LPS	
Ekahau	

Cordis RadioEye	
Topaz	
Zonith	
Ubisense	X
DartWand	X
Dolphin	X
Bristol IPS	X

### 3.3.2 Análisis en función de la Precisión

La precisión al ser una medida relativa repetitiva, tal y como se indica en la sección 3.1.2, muestra en función de un porcentaje de medidas, si las lecturas realizadas por los beacons son correctas. Esta cantidad de medidas revela un margen de error sobre la posición de un objetivo, en especial si este se encuentra en constante movimiento. Sobre estas medidas se debe considerar que:

- Medidas  $\leq 50\%$  son consideradas de un rendimiento malo.
- Medidas  $> 50\% \leq 90\%$  son consideradas de un rendimiento medio.
- Medidas  $> 90\%$  son consideradas de un rendimiento medio.

Por tanto, el resultado se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4.

*Resultados en función de la Precisión*

Solución IPS	Cumple con parámetros de precisión
Active Badge	
Active Bat	X
Cricket	
NaviFloor	X
RADAR	
PARCTAB	
Locus Swarm	
IRIS-LPS	
Ekahau	
Cordis RadioEye	

Topaz	X
Zonith	X
Ubisense	X
DartWand	X
Dolphin	
Bristol IPS	X

### 3.3.3 Análisis en función de la Escalabilidad

Como fue definido anteriormente la escalabilidad, es la capacidad de los sistemas de crecer continuamente sin ver afectado su rendimiento. Este crecimiento está dado en función de la cantidad de dispositivos clientes o el crecimiento de las edificaciones en que se encuentren instalados los IPS. Por tanto, el resultado se considerará en cuanto a la mayor cantidad de usuarios y distancia soporte como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5.

*Resultados en función de la Escalabilidad*

Solución IPS	Cumple con parámetros de escalabilidad
Active Badge	
Active Bat	
Cricket	X
RADAR	X
NaviFloor	X
PARCTAB	
Locus Swarm	
IRIS-LPS	
Ekahau	X
Cordis RadioEye	X
Topaz	X
Zonith	X
Ubisense	X
DartWand	X

Dolphin	
Bristol IPS	

### 3.3.4 Análisis en función de la Seguridad

Siendo mencionado en todas las secciones del apartado 2.2, la seguridad es un parámetro sumamente importante dentro de las tecnologías inalámbricas, incluso en IPS que no necesariamente se transmite información considerada de alta criticidad. Ya conociendo los diferentes niveles de encriptación y autenticación, obtenemos como resultado lo mostrado en la Tabla 6.

Tabla 6.

*Resultados en función de la Seguridad*

Solución IPS	Cumple con parámetros de seguridad
Active Badge	
Active Bat	
Cricket	
NaviFloor	
RADAR	X
PARCTAB	
Locus Swarm	
IRIS-LPS	
Ekahau	X
Cordis RadioEye	X
Topaz	
Zonith	
Ubisense	X
DartWand	X
Dolphin	
Bristol IPS	X



### 3.3.5 Análisis en función del Costo

Sobre el costo se aplican diferentes factores como son el valor consumo energético, el costo de instalación y mantenimiento de la solución tecnológica, como se ha mencionado anteriormente en el apartado 3.1.6 por lo que en este ámbito los dispositivos de posicionamiento pasivos se muestran como los más acertados a la hora de elegir una solución IPS.

Aunque los sistemas basados en WLAN se pudieran tomar como los más adecuados, el costo de adquisición y mantenimiento de la infraestructura tecnológica sería demasiado alto con excepción de la aplicación en hogares. Teniendo en cuenta estos elementos se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7.

*Resultados en función del Costo*

Solución IPS	Cumple con parámetros de costo
Active Badge	
Active Bat	X
Cricket	X
NaviFloor	
RADAR	
PARCTAB	
Locus Swarm	
IRIS-LPS	
Ekahau	
Cordis RadioEye	
Topaz	X
Zonith	X
Ubisense	X
DartWand	
Dolphin	X
Bristol IPS	X

### 3.3.6 Análisis en función de la Topología

Como se menciona en el apartado 3.1.7, la topología afectará directamente al rendimiento de la red en que se encuentren conectados los dispositivos. Ya sea por la facilidad de sincronización o la capacidad de aumento de dispositivos (como se indica en las características de las soluciones), una correcta topología optimizará costos de funcionamiento de la solución IPS a elegir sin afectar su rendimiento como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8.

#### *Análisis en función de la Topología*

Solución IPS	Cumple con parámetros de topología
Active Badge	
Active Bat	X
Cricket	X
NaviFloor	X
RADAR	X
PARCTAB	
Locus Swarm	
IRIS-LPS	
Ekahau	X
Cordis RadioEye	X
Topaz	X
Zonith	X
Ubisense	X
DartWand	X
Dolphin	X
Bristol IPS	X

A continuación, se observa en la Tabla 9, un resumen del análisis funcional de cada solución para poder determinar cuál es la tecnología óptima en contexto general para IPS.

Tabla 9.

*Resumen de parámetros de análisis para soluciones IPS*

Solución IPS	Cumple con parámetros de exactitud	Cumple con parámetros de precisión	Cumple con parámetros de escalabilidad	Cumple con parámetros de seguridad	Cumple con parámetros de costo	Cumple con parámetros de topología
Active Badge						
Active Bat	X	X			X	X
Cricket	X		X		X	X
NaviFloor	X	X	X			X
RADAR			X	X		X
PARCTAB						
Locus Swarm	X					
IRIS-LPS						
Ekahau			X	X		X
Cordis RadioEye			X	X		X
Topaz		X	X		X	X
Zonith		X	X		X	X
Ubisense	X	X	X	X	X	X
DartWand	X	X	X	X		X
Dolphin	X				X	X
Bristol IPS	X	X		X	X	X

**3.4 Tabla comparativa de Tecnologías IPS y Áreas de Aplicación**

En base a lo anteriormente expuesto, se ha decidido proponer una clasificación de tecnologías en relación a las áreas de aplicación de IPS tomando en cuenta cuál sería concurrente en su uso en la Tabla 10. Para considerar estas elecciones se han tomado los factores de afectación en cuanto a la transmisión, sus ventajas y desventajas.

Tabla 10.

*Tecnologías IPS vs. Áreas de Aplicación*

Área de Aplicación \ Tecnología IPS	Tecnología IPS						
	Wi-Fi	GSM	Bluetooth	RFID	Infrarrojos	Ultrasonidos	Ultra Wideband
Hogar y Consumo	X	X	X	X	X	X	X
Cuidado Médico			X	X			X
Monitoreo Ambiental		X			X		X
Servicios de Emergencia				X		X	
Industria			X	X	X	X	X
Logística y Automatización	X		X	X			X

### 3.5 Tabla comparativa de Soluciones IPS y Áreas de Aplicación

En la Tabla 11 se muestra una comparativa entre las soluciones anteriormente expuestas y las áreas de aplicación con la que más afinidad tienen, es esta podemos observar que la mayoría de estas soluciones se acomodan a las necesidades del consumo para hogar.

Tabla 11.

#### *Soluciones IPS en Áreas de Aplicación*

Área de Aplicación \ Tecnología IPS	Hogar y Consumo	Cuidado Médico	Monitoreo Ambiental	Servicios de Emergencia	Industria	Logística y Automatización
Active Badge	X				X	X
Active Bat	X	X		X		X
Cricket	X	X				X
NaviFloor	X	X		X	X	X
RADAR		X	X	X	X	
PARCTAB	X				X	X
Locus Swarm			X		X	
IRIS-LPS			X			X
Ekahau	X	X			X	X
Cordis RadioEye	X	X			X	X
Topaz	X	X		X	X	X
Zonith		X		X	X	X
Ubisense	X			X	X	X
DartWand	X				X	X
Dolphin		X		X		X
Bristol IPS		X		X		X

Gracias a las tablas 10 y 11 obtenemos una mejor perspectiva de cuáles son las tecnologías y soluciones IPS óptimas de acuerdo al área de aplicación.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

Como premisa, los requisitos para el mercado masivo incluyen al menos 1 m precisión, identificación del cliente, ausencia de espacios de cobertura, > 99% de precisión y costos mínimos para instalaciones locales. Los resultados de los análisis muestran que, respetando dicha premisa, ninguna de las tecnologías analizadas cubre por completo las necesidades técnicas como de usuario, sin embargo, la tecnología UWB logra los resultados más favorables. Las tecnologías UWB al ser compatibles con múltiples infraestructuras de datos, permiten ser aprovechadas en la mayoría de áreas de aplicación mostrando un alto nivel de precisión (15 – 30 cm al 99%), escalabilidad (1 Nodo hasta 100 etiquetas) y bajo costo.

La precisión brindada por los sistemas de posicionamiento en interiores, sin importar de que tecnología se trate, podrá variar dependiendo del método de estimación de ubicación utilizado. La elección de un método de estimación adecuado al IPS elegido permitirá la optimización de recursos, ya que la cantidad de lecturas también dependerá del número de beacons integrados a la red. La ubicación correcta de antenas proveerá una lectura más exacta de los dispositivos a localizar sin importar la tecnología elegida.

La localización en interiores tiene un reto importante por superar y este es lidiar con los obstáculos que se encuentren en las habitaciones a pesar de que se tenga un mapeo exacto de las mismas. Soluciones tecnológicas como las basadas en infrarrojos no son recomendadas en ambientes cuya línea de vista pueda verse continuamente obstaculizada. Con afán de superar estas contrariedades, sistemas basados en RF como NaviFloor son la elección adecuada ya que hace un seguimiento a nivel del suelo.

La diversidad de diferentes soluciones tecnológicas para el posicionamiento interior, muestra cuán profundamente interdisciplinario es el campo de las telecomunicaciones y refleja que, casi cualquier señal, técnica o sensor puede ser explotada para este propósito. A pesar de la abundancia de enfoques que

existen para abordar el problema de posicionamiento en interiores, las soluciones actuales no pueden hacer frente al nivel de rendimiento que aplicaciones significativas requieren.

## **4.2 Recomendaciones**

Los parámetros de análisis implementados en este estudio no pueden dictarse como únicos o absolutos, debido a esto, quien haga uso del presente deberá tener la capacidad de interpretar correctamente los parámetros expuestos.

En base a los resultados mostrados en las conclusiones se sugiere no dar por válida una sola tecnología y como se ha explicado ya, el mejor escenario sería en el que se consideraran todas las tecnologías para un funcionamiento conjunto.

Los requisitos del usuario deben refinarse, es decir, la determinación y cuantificación específicas de los requisitos y parámetros para cada aplicación. Estas cifras proporcionan pautas esenciales para el enfoque futuro en investigación e implementación de sistemas eficientes de posicionamiento en interiores.

En la implementación de un IPS, un especialista de tecnología debe elegir una determinada tecnología sobre la base de las funciones preferidas del sistema, el tipo de edificio donde se implementará la tecnología y su presupuesto disponible. Todos los requerimientos y necesidades propuestas por el cliente y que podrían ser solventados por una solución IPS, deben considerarse como variables de acuerdo a lo expuesto en el apartado referente a "Escalabilidad".

## Referencias

- Alereon Inc. *Alereon Demonstrates Military Wireless Personal Area Network*. 2015. Recuperado el 20 de julio de 2018 de alereon.com.  
[http://www.alereon.com/?page\\_id=2992](http://www.alereon.com/?page_id=2992)
- Apple Inc. (2016). *About iBeacon on your iPhone, iPad, and iPod touch*. Recuperado el 23 de marzo de 2018 de apple.com de:  
<https://support.apple.com/en-gb/HT202880>
- Arcones, S.F. (2012). *Posicionamiento 2D5 en interiores mediante comunicaciones inalámbricas RF*. Universidad de Alcalá, 2018.
- AT&T Laboratories Cambridge. (2002). *The Active Badge System*. Recuperado el 12 de agosto de 2018 de:  
<https://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/attarchive/ab.html>
- AT&T Laboratories Cambridge. (2002). *The Bat Ultrasonic Location System*. Recuperado el 12 de agosto de 2018 de:  
<https://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/attarchive/ab.html>
- Bahl, P., Padmanabhan, V. N. (2000). *Radar: an in-building rf-based user location and tracking system*. INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint.
- Bensky, A. (2008). *Wireless positioning: Technologies and applications*. Boston: Artech House, 2018.
- B. T. Fang. (1990). *Simple solutions for hyperbolic and related position boxes*. *Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions*.

*Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings.*  
IEEE, 2018.

Desouza, G.N., Kak, A.C. (2018). *Vision for mobile robot navigation: a survey.*  
*IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.* Vol.  
24, febrero 2002.

Ekahau. (2018). *Wireless Design: Ekahau Site Survey y Wi-Fi Planner.*  
Recuperado el 13 de agosto de 2018 de: <https://www.ekahau.com/es>

Future Shape. (2017). *SensFloor: NaviFloor based positioning system.*  
Recuperado el 13 de agosto de 2018 de: <https://future-shape.com/en/system/>

Gabriel C. *UWB's Dream is Still Alive in Micro-Location.* 2014. Recuperado el 24  
de junio de 2018 de <http://www.rethink-wireless.com/2014/10/21/uwbs-dream-alive-micro-location-page1>.

Gartner Inc. (2015). *At-a-Glance. Internet of Things: Connected means informed.*  
Inc. Cisco Systems

Google Inc. (2016). *Mark up the world using beacons.* Recuperado el 22 de  
abril de 2018 de [developers.google.com](https://developers.google.com/beacons/) Sitio web:  
<https://developers.google.com/beacons/>

Gunther, A., Hoene, C. (2005). *Measuring round trip times to determine the  
distance between wlan nodes.* IN Proc. of Networking 2005. Springer-  
Verlag.



- ITU. Tristant, P. (2009). *Ultra Wide Band (UWB) and Short-Range Devices (SRD) technologies*. Recuperado el 11 de agosto de 2018 de:  
[https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/md/09/sem.wmo/c/R09-SEM.WMO-C-0021!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/md/09/sem.wmo/c/R09-SEM.WMO-C-0021!!PDF-E.pdf)
- Hallberg, J., Nilsson, M. & Synnes, K. (2003). *Positioning with Bluetooth. International Conference on Telecommunications*. IEEE. Vol2, marzo
- Hamidović, H. (2009) "WLAN - Bežične lokalne računalne mreže", 2009.,  
<https://goo.gl/Chc3LH> (23.01.2017.)
- Harrison, B., Dey, A. (2009). *What have you done with location-based services lately?. IEEE Pervasive Computing*.
- Huang, Q., Yang, T. (s.f.). *A Magnetic Field Based Lightweight Indoor Positioning System for Mobile Devices*. Ubirouting Technology Corp.
- HUJI.(2010). *GSM Security: GSM Authentication*. Recuperado el 11 de agosto de 2018 de:  
<http://ntrg.cs.tcd.ie/undergrad/4ba2.05/group7/GSMSecAI.jpg>
- Inc. Cisco Systems (2008). *Location tracking approaches*. Recuperado el 26 de octubre de 2017 de cisco.com de:  
<https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Mobility/WiFiLBS-DG/wifich2.html>
- J. J. Caffery and G. L. Stuber, "Overview of radiolocation in CDMA cellular system," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 36, no. 4, pp. 38–45, Apr. 1998/2003.

Krulwich, B. (2015). *Indoor Location: Sensor Technologies for 2015 and Beyond*. Grizzly Analytics.

Krulwich B. *Ultra-Wideband Poised to Enter Smartphones: A Location Opportunity*. Recuperado el 28 de junio de 2018 de [http://www.gpsbusinessnews.com/Ultra-Wideband-Poised-to-Enter-Smartphones-a-Location-Opportunity\\_a4969.html](http://www.gpsbusinessnews.com/Ultra-Wideband-Poised-to-Enter-Smartphones-a-Location-Opportunity_a4969.html).

Miller, L.E. (2006). *Indoor navigation for first responders: A Feasibility Study*. National Institute of Standards and Technology (U.S.)

M. I. T. *Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory*. (2005). *The Cricket Indoor Location System*. Recuperado el 12 de agosto de 2018 de: <http://cricket.csail.mit.edu/>

Obasoft. (2016). *Red wifi de infraestructura: Modo infraestructura y modo ad-hoc*. Recuperado el 10 de agosto de 2018 de [http://www.obasoft.es/CF/SIINF/SIINF\\_09\\_Contenidos/modo\\_infraestructura\\_y\\_modos\\_adhoc.html](http://www.obasoft.es/CF/SIINF/SIINF_09_Contenidos/modo_infraestructura_y_modos_adhoc.html)

Sony Corp. (2012). *How to use: Sony Vaio Bluetooth devices*. Recuperado el 11 de agosto de 2018 de: [http://helpguide.sony.net/vaio/svl2411/v1/us\\_eng/spa/contents/03/12/01/01.html](http://helpguide.sony.net/vaio/svl2411/v1/us_eng/spa/contents/03/12/01/01.html)

Ubisense. (2018). *UWB Sensor Systems*. Recuperado el 14 de agosto de 2018 de: <https://www.ubisense.net/brand/sensor-systems>

- UPV Comm. (2017). *Streaming de vídeo sobre redes móviles ad hoc inalámbricas*. Recuperado el 10 de agosto de 2018 de <https://www.comm.upv.es/es/streaming-de-video-sobre-redes-moviles-ad-hoc-inalambricas/>
- V. Otsason, A. Varshavsky, A. LaMarca, and E. de Lara, "Accurate GSM indoor localization," *UbiComp 2015, Lecture Notes Computer Science*, Springer-Verlag, vol. 3660, pp. 141–158, 2005.
- Weissman. Z., (2004). *Indoor Location by TADLYS*. Recuperado el 14 de agosto de 2018 de: [http://www.tadlys.co.il/media/downloads/Indoor\\_location\\_Systems.pdf](http://www.tadlys.co.il/media/downloads/Indoor_location_Systems.pdf)
- Wu, C., Fu, L., Lian, F. (2014). *WLAN location determination in e-home via support vector classification. IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*. Vol.2, marzo 2004.
- Zebra. (2018). *Location Technologies: Dart UWB*. Recuperado el 12 de agosto de 2018 de: <https://www.zebra.com/la/es/products/location-technologies/dart-uwb.html>
- Zonith. (2018). *ZONITH Indoor Positioning Module: Bluetooth positioning and Lone-Worker protection*. Recuperado el 2 de agosto de 2018 de [http://media.teldio.com/pdfs/Teldio\\_Indoor%20Positioning%20White%20Paper\\_v2.1a.pdf](http://media.teldio.com/pdfs/Teldio_Indoor%20Positioning%20White%20Paper_v2.1a.pdf).

## **ANEXOS**

## Glosario de términos

Acronimo	Definición en Ingles	Definición en español
IOT	<i>Internet of Things</i>	<i>Internet de las cosas</i>
IPS	<i>Indoor Positioning Systems</i>	<i>Sistemas de Posicionamiento en Interiores</i>
GPS	<i>Global Positioning Systems</i>	<i>Sistemas de Posicionamiento Global</i>
UWB	<i>Ultra Wideband</i>	<i>Ultra Ancho de banda</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>	<i>Instituto de Ingenieros Electricos y Electrónicos</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i>	<i>Indicador de Intensidad de Señal Recibida</i>
WEP	<i>Wired Equivalent Privacy</i>	<i>Privacidad equivalente a cablead</i>
WPA	<i>Wi-Fi Protected Access</i>	<i>Acceso Wi-Fi protegido</i>
PSK	<i>Pre-Shared Key</i>	<i>Clave Previamente Compartida</i>
AES	<i>Advanced Encryption Standard</i>	<i>Estándar de Cifrado Avanzado</i>
SSID	<i>Service Set Identifier</i>	<i>Identificador de Ajuste de Servicio</i>
AP	<i>Access Point</i>	<i>Puntos de acceso</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>	<i>Sistema Global para las Comunicaciones Móviles</i>
AOA	<i>Angle of Arrival</i>	<i>Ángulo de Llegada</i>
BSS	<i>Business support systems</i>	<i>Sistemas de Soporte al Negocio</i>
BSIG	<i>Bluetooth Special Interest Group</i>	<i>Grupo de Interes Especial en Bluetooth</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical</i>	<i>Industria, Científica y Médica</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>	<i>Bluetooth de bajo consumo</i>
LTK	<i>Long Term Key</i>	<i>clave de largo plazo</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>	<i>Identificación por Radiofrecuencia</i>
ROI	<i>Return on Investment</i>	<i>Retorno de inversión</i>
EPC	<i>Electronic Product Code</i>	<i>Código de Producto Electrónico</i>
IR	<i>Infrared radiation</i>	<i>Radiación Infrarroja</i>
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>	<i>Diodo Emisor de Luz</i>
US	<i>Ultrasound</i>	<i>Ultrasonidos</i>
LBS	<i>Location Based Services</i>	<i>Servicios Basados en Localización</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>	<i>Union Internacional de Telecomunicaciones</i>
TOA	<i>Time of Arrival</i>	<i>Tiempo de llegada</i>
TDOA	<i>Time Differential of Arrival</i>	<i>Tiempo de llegada diferenciado</i>
BTS	<i>Base Transceiver Station</i>	<i>Estación base</i>
AAL	<i>Ambient Assistant Living</i>	<i>Asistente de Ambiente al Hogar</i>
WSN	<i>Wireless sensor networks</i>	<i>Redes de Sensores Inalámbricos</i>
IRIS	<i>Infrared Indoor Scout</i>	<i>Explorador Infrarrojo de Interiores</i>

