

# Evaluación de modelos de aprendizaje automático para posicionamiento indoor utilizando Bluetooth low energy

## Trabajo de Memoria

Felipe Berrios Toloza

Universidad Técnica Federico Santa María

*felipe.berriost@alumnos.usm.cl*

11 de abril de 2018

# Tabla de Contenidos

- |          |  |          |   |
|----------|--|----------|---|
| <b>1</b> | Introducción <ul style="list-style-type: none"><li>■ Descripción del Problema</li><li>■ Objetivos</li></ul>  | <b>3</b> | Diseño del Estudio <ul style="list-style-type: none"><li>■ Cualidades y costos de tecnologías</li><li>■ Lugar del estudio</li></ul> |
| <b>2</b> | Estado del Arte <ul style="list-style-type: none"><li>■ Métodos de Posicionamiento</li><li>■ Tecnologías que permiten la geolocalización</li></ul> | <b>4</b> | Implementación <ul style="list-style-type: none"><li>■ Requerimientos</li><li>■ Ejecución</li></ul>                                 |
|          |  | <b>5</b> | Resultados  |
|          |  | <b>6</b> | Conclusiones  |

# Tabla de Contenidos

## 1 Introducción

- Descripción del Problema
- Objetivos

## 2 Estado del Arte

## 3 Diseño del Estudio

## 4 Implementación

## 5 Resultados

## 6 Conclusiones

# Introducción

## Geolocalización

- Usado ampliamente por el sector militar, académico e industrial.
- Cada vez se vuelve más accesible: basta con tener un smartphone o similar para poder geolocalizarse.
  - 2 mil millones de *smartphones* activos en el mundo<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>Worldwide Internet and Mobile Users, eMarketer, 2015.

# Descripción del Problema

- Alta demanda en el posicionamiento en interiores

# Descripción del Problema

- Alta demanda en el posicionamiento en interiores
- Tecnologías de geolocalización satelital como GPS funciona de manera limitada o nula en ambientes interiores

# Descripción del Problema

- Alta demanda en el posicionamiento en interiores
- Tecnologías de geolocalización satelital como GPS funciona de manera limitada o nula en ambientes interiores

**¿Cómo podemos conocer nuestra posición en dichos lugares?**

# Objetivos

- Identificar los métodos y tecnologías que actualmente permiten conocer la posición.



# Objetivos

- Identificar los métodos y tecnologías que actualmente permiten conocer la posición.
- Determinar los *trade-offs* entre exactitud y costo para tecnologías de posicionamiento *indoor*

# Tabla de Contenidos

1 Introducción

2 Estado del Arte

- Métodos de Posicionamiento
- Tecnologías que permiten la geolocalización

3 Diseño del Estudio

4 Implementación

5 Resultados

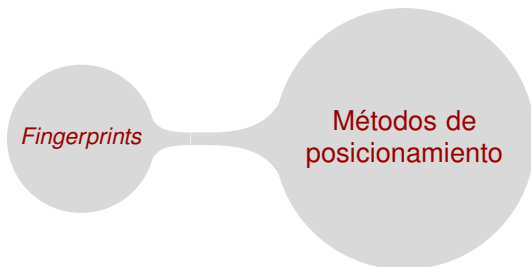
6 Conclusiones

# Métodos de Posicionamiento

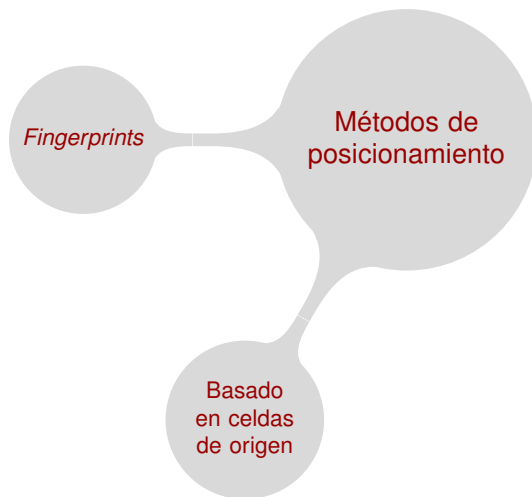


Métodos de  
posicionamiento

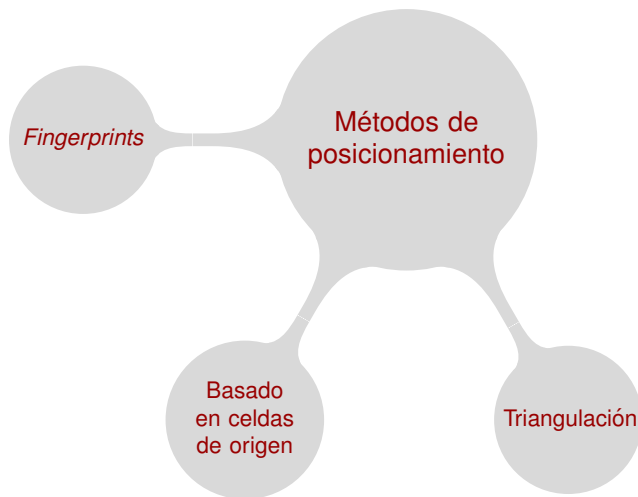
# Métodos de Posicionamiento



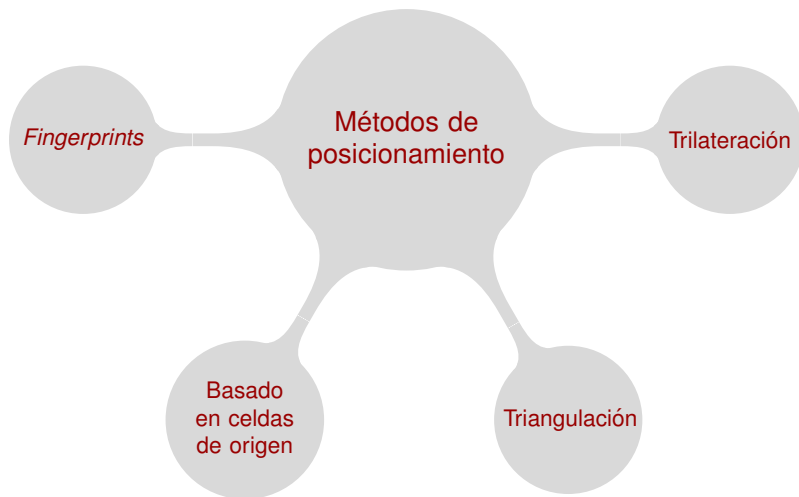
# Métodos de Posicionamiento



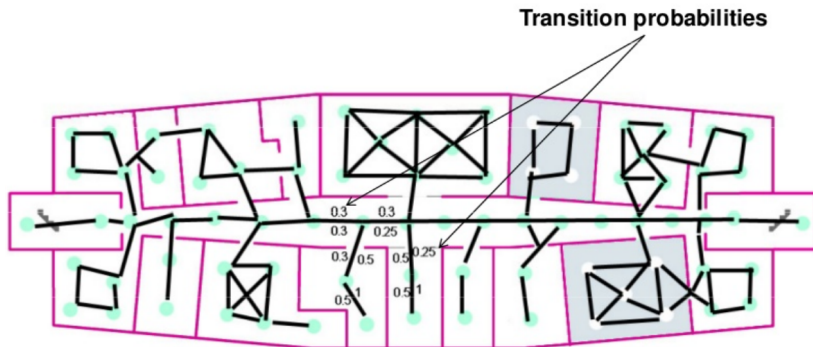
# Métodos de Posicionamiento



# Métodos de Posicionamiento

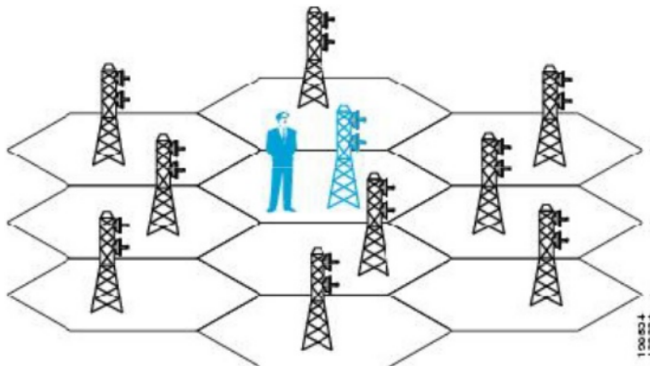


# Fingerprints

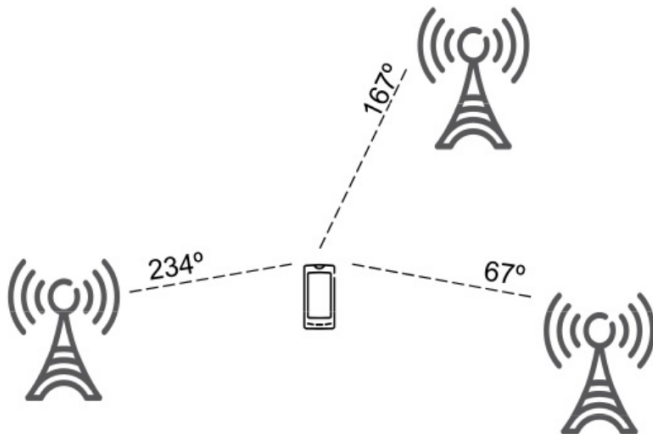




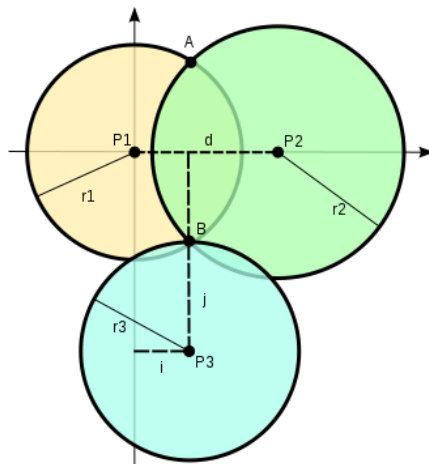
## Basado en celdas de origen



# Triangulación

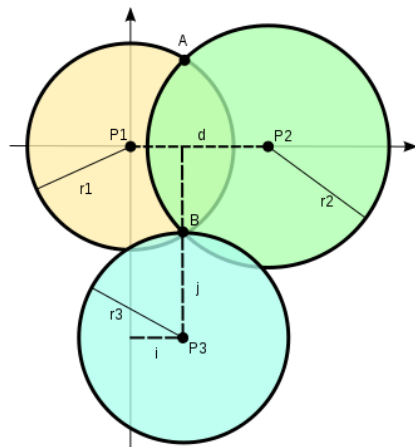


# Trilateración



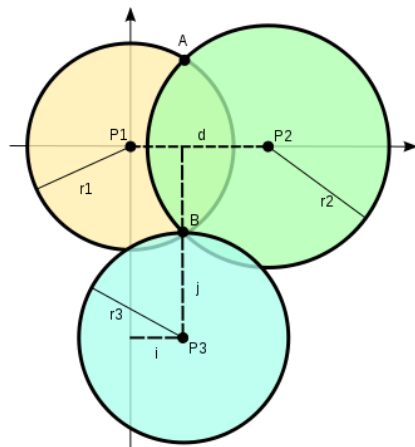
# Trilateración

$P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $r_1$ ,  $r_2$  y  $r_3$  conocidos



# Trilateración

$P_1, P_2, P_3, r_1, r_2$  y  $r_3$  conocidos  
¿Cuál es la posición de  $B$ ?



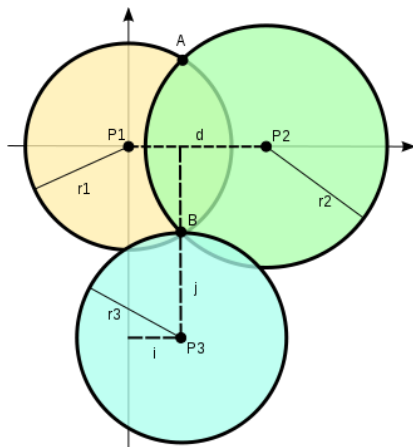
# Trilateración

$P_1, P_2, P_3, r_1, r_2$  y  $r_3$  conocidos  
¿Cuál es la posición de  $B$ ?

$$x^2 + y^2 + z^2 = r_1^2$$

$$(x - d)^2 + y^2 + z^2 = r_2^2$$

$$(x - i)^2 + (y - j)^2 + z^2 = r_3^2$$



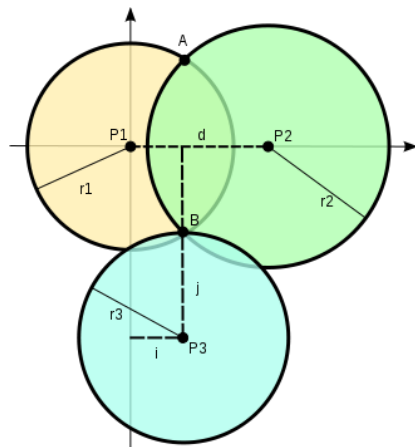
# Trilateración

$P_1, P_2, P_3, r_1, r_2$  y  $r_3$  conocidos  
¿Cuál es la posición de  $B$ ?

$$x = \frac{r_1^2 - r_2^2 - d^2}{2d}$$

$$y = \frac{r_1^2 - r_3^2 - x^2 + i^2 + j^2}{2j} - \frac{i}{j}x$$

$$z = \pm \sqrt{r_1^2 - x^2 - y^2}$$



# Tecnologías que permiten la geolocalización

## Posicionamiento *outdoor*

- Sistemas satelitales (GPS, GLONASS, Galileo, Beidou)
- Localización por antenas móviles (GSM)

## Posicionamiento *indoor* (IPS)

- Wi-Fi
- Bluetooth
- RFID



## Posicionamiento *outdoor*

### GPS

- Red de 24 satélites
- Precisión del orden de centímetros a unos pocos metros
- Requiere línea de visión directa (*Line of Sight*)

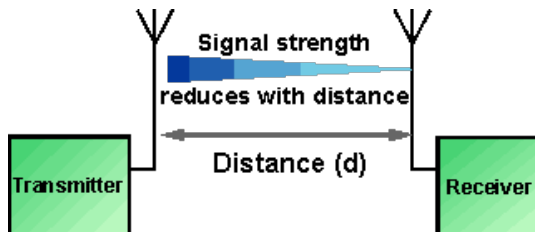
### GSM

- Localización principalmente por Celdas de Origen y triangulación
- Precisión del orden de 50m a 4km
- Menor gasto energético

## Posicionamiento *indoor* - WiFi

### Free-space path loss (FSPL)

FSPL es la pérdida de la intensidad de señal que ocurre cuando una onda electromagnética viaja desde un transmisor a un receptor a través de una línea de visión directa en un espacio libre.

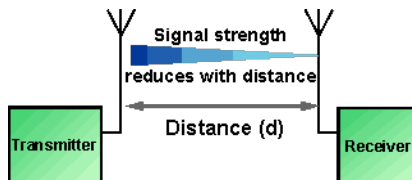


## Posicionamiento *indoor* - WiFi

$$FSPL = \left( \frac{4\pi df}{c} \right)^2$$

$$FSPL(dB) = 20\log(d) + 20\log(f) + K$$

$$d = 10^{\frac{1}{20}(K - 20\log(f) + FSPL)}$$



## Posicionamiento *indoor* - Bluetooth

- Bluetooth 4.0 (*Bluetooth Low Energy*)
- Beacons



## Posicionamiento *indoor* - Bluetooth

### Tx Power

Potencia constante transmitida por cada Beacon. A medida que la señal se aleja del beacon va decayendo su valor.

### RSSI

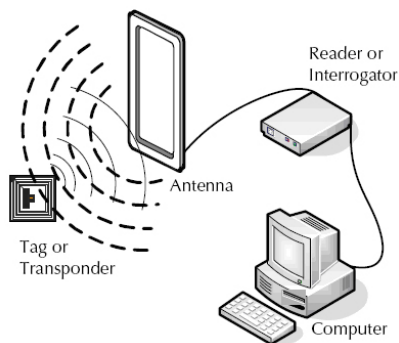
Escala de referencia para medir el nivel de potencia de las señales recibidas por un dispositivo.

$$d = 0,899 \left( \frac{RSSI}{TxPower} \right)^{7,771} + 0,111$$

## Posicionamiento *indoor* - RFID

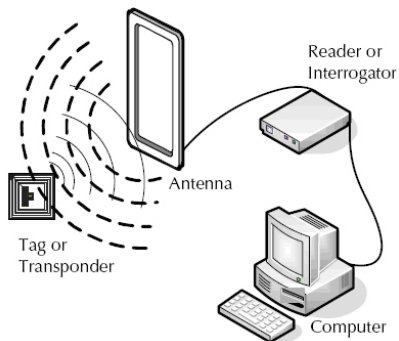
### ■ Posee tres componentes

- 1 Lector de etiquetas
- 2 Ordenador central
- 3 Transpondedor



## Posicionamiento *indoor* - RFID

- Posee tres componentes
  - 1 Lector de etiquetas
  - 2 Ordenador central
  - 3 Transpondedor
- Posicionamiento basado en celdas de origen



# Tabla de Contenidos

1 Introducción

2 Estado del Arte

3 Diseño del Estudio  
■ Cualidades y costos de

tecnologías  
■ Lugar del estudio

4 Implementación

5 Resultados

6 Conclusiones



## Cualidades y costos de tecnologías - WiFi

<b>Protocolo 802.11</b>	<b>Frecuencia [GHz]</b>	<b>Banda ancha [MHz]</b>	<b>Rango indoor aproximado [m]</b>	<b>Rango outdoor aproximado [m]</b>
a	3.7/ 5	20	35	120
b	2.4	20	35	140
g	2.4	20	50	140
n	2.4/5	20 - 40	70	250
ac	5	20/40/80/160	35	-

## Cualidades y costos de tecnologías - WiFi

Protocolo 802.11	Frecuencia [GHz]	Banda ancha [MHz]	Rango indoor aproximado [m]	Rango outdoor aproximado [m]
a	3.7/ 5	20	35	120
b	2.4	20	35	140
g	2.4	20	50	140
n	2.4/5	20 - 40	70	250
ac	5	20/40/80/160	35	-

■ Precio: CLP\$17.990 - CLP\$315.790

## Cualidades y costos de tecnologías - WiFi

Protocolo 802.11	Frecuencia [GHz]	Banda ancha [MHz]	Rango indoor aproximado [m]	Rango outdoor aproximado [m]
a	3.7/ 5	20	35	120
b	2.4	20	35	140
g	2.4	20	50	140
n	2.4/5	20 - 40	70	250
ac	5	20/40/80/160	35	-

- Precio: CLP\$17.990 - CLP\$315.790
- Consumo promedio mensual: 5,4[kWh]

## Cualidades y costos de tecnologías - WiFi

Protocolo 802.11	Frecuencia [GHz]	Banda ancha [MHz]	Rango indoor aproximado [m]	Rango outdoor aproximado [m]
a	3.7/ 5	20	35	120
b	2.4	20	35	140
g	2.4	20	50	140
n	2.4/5	20 - 40	70	250
ac	5	20/40/80/160	35	-

- Precio: CLP\$17.990 - CLP\$315.790
- Consumo promedio mensual: 5,4[kWh]
  - Costo energético mensual: CLP\$607<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup>Valor kWh: CLP\$112,36. Fuente: Enel

# Cualidades y costos de tecnologías - Bluetooth


	 <b>Locación</b>	 <b>Proximidad</b>	 <b>Sticker</b>	 <b>Video</b>
<b>Vida útil batería</b>	Hasta 5 años	Hasta 2 años	Hasta 1 año	- (conectado por USB)
<b>Rango</b>	Hasta 200 metros	Hasta 70 metros	Hasta 7 metros	Hasta 10 metros
<b>Grosor</b>	24 mm	17 mm	6 mm	14 mm
<b>Dispositivos en el kit</b>	3 beacons	3 beacons	10 stickers	3 mirrors
<b>Precio</b>	USD\$99	USD\$59	USD\$99	USD\$99

# Cualidades y costos de tecnologías - Bluetooth

	 <b>Locación</b>	 <b>Proximidad</b>	 <b>Sticker</b>	 <b>Video</b>
<b>Vida útil batería</b>	Hasta 5 años	Hasta 2 años	Hasta 1 año	- (conectado por USB)
<b>Rango</b>	Hasta 200 metros	Hasta 70 metros	Hasta 7 metros	Hasta 10 metros
<b>Grosor</b>	24 mm	17 mm	6 mm	14 mm
<b>Dispositivos en el kit</b>	3 beacons	3 beacons	10 stickers	3 mirrors
<b>Precio</b>	USD\$99	USD\$59	USD\$99	USD\$99

## ■ *Plug & Play*

## Cualidades y costos de tecnologías - Bluetooth

	 <b>Locación</b>	 <b>Proximidad</b>	 <b>Sticker</b>	 <b>Video</b>
<b>Vida útil batería</b>	Hasta 5 años	Hasta 2 años	Hasta 1 año	- (conectado por USB)
<b>Rango</b>	Hasta 200 metros	Hasta 70 metros	Hasta 7 metros	Hasta 10 metros
<b>Grosor</b>	24 mm	17 mm	6 mm	14 mm
<b>Dispositivos en el kit</b>	3 beacons	3 beacons	10 stickers	3 mirrors
<b>Precio</b>	USD\$99	USD\$59	USD\$99	USD\$99

- *Plug & Play*
- Baterías de litio 3[V] - 620[mAh]

# Cualidades y costos de tecnologías - Bluetooth

	 <b>Locación</b>	 <b>Proximidad</b>	 <b>Sticker</b>	 <b>Video</b>
<b>Vida útil batería</b>	Hasta 5 años	Hasta 2 años	Hasta 1 año	- (conectado por USB)
<b>Rango</b>	Hasta 200 metros	Hasta 70 metros	Hasta 7 metros	Hasta 10 metros
<b>Grosor</b>	24 mm	17 mm	6 mm	14 mm
<b>Dispositivos en el kit</b>	3 beacons	3 beacons	10 stickers	3 mirrors
<b>Precio</b>	USD\$99	USD\$59	USD\$99	USD\$99

- *Plug & Play*
- Baterías de litio 3[V] - 620[mAh]
  - Costo: CLP\$5.000 - CLP\$6.000



## Cualidades y costos de tecnologías - Bluetooth

	 <b>Locación</b>	 <b>Proximidad</b>	 <b>Sticker</b>	 <b>Video</b>
<b>Vida útil batería</b>	Hasta 5 años	Hasta 2 años	Hasta 1 año	- (conectado por USB)
<b>Rango</b>	Hasta 200 metros	Hasta 70 metros	Hasta 7 metros	Hasta 10 metros
<b>Grosor</b>	24 mm	17 mm	6 mm	14 mm
<b>Dispositivos en el kit</b>	3 beacons	3 beacons	10 stickers	3 mirrors
<b>Precio</b>	USD\$99	USD\$59	USD\$99	USD\$99

### ■ *Plug & Play*

### ■ Baterías de litio 3[V] - 620[mAh]

- Costo: CLP\$5.000 - CLP\$6.000
- Costo energético mensual: CLP\$250

## Cualidades y costos de tecnologías - RFID

<b>Tipo</b>	LF	HF	UHF
<b>Frecuencia</b>	125 kHz	13.5 MHz	915 MHz
<b>Alcance</b>	<2.0 m	<1.0 m	>3.0 m
<b>Aplicaciones</b>	Identificación de animales, control de acceso	Monedero, Pasaporte, Tarjeta BIP, control de acceso	Logística, Retail, Caja, Pallet, Identificación de vehículos

## Cualidades y costos de tecnologías - RFID

Tipo	LF	HF	UHF
<b>Frecuencia</b>	125 kHz	13.5 MHz	915 MHz
<b>Alcance</b>	<2.0 m	<1.0 m	>3.0 m
<b>Aplicaciones</b>	Identificación de animales, control de acceso	Monedero, Pasaporte, Tarjeta BIP, control de acceso	Logística, Retail, Caja, Pallet, Identificación de vehículos

### ■ Precio: Desde USD\$568.50<sup>3</sup>

- Reader: Desde USD\$450
- Antena (9m): USD\$79
- Cable conexión: USD\$39 (2m) - USD\$114 (10m)
- Tag RFID Pasivo: USD\$0.50 - USD\$2

<sup>3</sup><https://www.atlasfridstore.com/>

## Cualidades y costos de tecnologías - RFID

Tipo	LF	HF	UHF
<b>Frecuencia</b>	125 kHz	13.5 MHz	915 MHz
<b>Alcance</b>	<2.0 m	<1.0 m	>3.0 m
<b>Aplicaciones</b>	Identificación de animales, control de acceso	Monedero, Pasaporte, Tarjeta BIP, control de acceso	Logística, Retail, Caja, Pallet, Identificación de vehículos

### ■ Precio: Desde USD\$568.50<sup>3</sup>

- Reader: Desde USD\$450
- Antena (9m): USD\$79
- Cable conexión: USD\$39 (2m) - USD\$114 (10m)
- Tag RFID Pasivo: USD\$0.50 - USD\$2

### ■ Consumo promedio mensual: 9[kWh]

<sup>3</sup><https://www.atlasfridstore.com/>

## Cualidades y costos de tecnologías - RFID

Tipo	LF	HF	UHF
<b>Frecuencia</b>	125 kHz	13.5 MHz	915 MHz
<b>Alcance</b>	<2.0 m	<1.0 m	>3.0 m
<b>Aplicaciones</b>	Identificación de animales, control de acceso	Monedero, Pasaporte, Tarjeta BIP, control de acceso	Logística, Retail, Caja, Pallet, Identificación de vehículos

### ■ Precio: Desde USD\$568.50<sup>3</sup>

- Reader: Desde USD\$450
- Antena (9m): USD\$79
- Cable conexión: USD\$39 (2m) - USD\$114 (10m)
- Tag RFID Pasivo: USD\$0.50 - USD\$2

### ■ Consumo promedio mensual: 9[kWh]

- energético mensual: CLP\$1.011

<sup>3</sup><https://www.atlasfridstore.com/>

## Cualidades y costos de tecnologías - Resumen

<b>Tecnología</b>	<b>Rango por dispositivo</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo mensual unitario</b>
Wi-Fi	50 metros (802.11g) a 70 metros (802.11n)	Desde CLP\$17.990	CLP\$607
Bluetooth	70-200 metros	Desde CLP\$13.223 <sup>5</sup>	CLP\$250
RFID	Desde 5 metros	Desde CLP\$382.242 <sup>5</sup>	CLP\$1.011

---

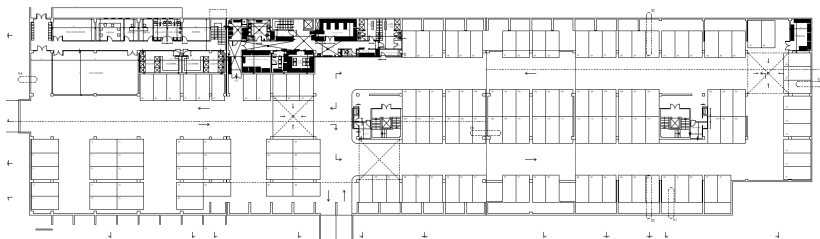
<sup>5</sup>Dólar observado el 02/07/2017: CLP\$672,37.

Fuente: Banco Central de Chile.

└ Diseño del Estudio

└ Lugar del estudio

## Lugar del estudio



Estacionamiento subterráneo del Campus San Joaquín -  
Universidad Técnica Federico Santa María

# Tabla de Contenidos

1 Introducción

2 Estado del Arte

3 Diseño del Estudio

4 Implementación

■ Requerimientos

■ Ejecución

5 Resultados

6 Conclusiones



# Requerimientos

# Requerimientos

- 1 Mostrar el plano de la ubicación

# Requerimientos

- 1 Mostrar el plano de la ubicación
- 2 Permitir al usuario colocar marcadores de dispositivos Beacon/Access Point

# Requerimientos

- 1 Mostrar el plano de la ubicación
- 2 Permitir al usuario colocar marcadores de dispositivos Beacon/Access Point
- 3 Calcular la posición del usuario

# Requerimientos

- 1 Mostrar el plano de la ubicación
- 2 Permitir al usuario colocar marcadores de dispositivos Beacon/Access Point
- 3 Calcular la posición del usuario
- 4 Permitir al usuario agregar un marcador de la ubicación real

# Requerimientos

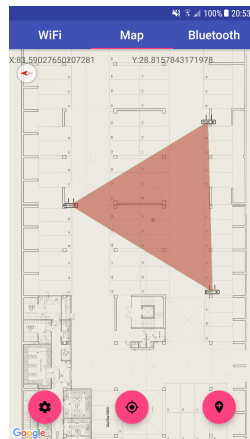
- 1 Mostrar el plano de la ubicación
- 2 Permitir al usuario colocar marcadores de dispositivos Beacon/Access Point
- 3 Calcular la posición del usuario
- 4 Permitir al usuario agregar un marcador de la ubicación real
- 5 Calcular la distancia entre ubicación real y la calculada

# Requerimientos

- 1 Mostrar el plano de la ubicación
- 2 Permitir al usuario colocar marcadores de dispositivos Beacon/Access Point
- 3 Calcular la posición del usuario
- 4 Permitir al usuario agregar un marcador de la ubicación real
- 5 Calcular la distancia entre ubicación real y la calculada
- 6 Registrar las distancias en un archivo persistente

# Ejecución

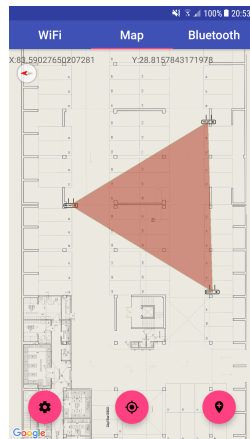
- Áreas de medición:  
 $7,95[m^2]$  -  $25,09[m^2]$  -  $27,64[m^2]$  -  
 $84,52[m^2]$  -  $118,37[m^2]$





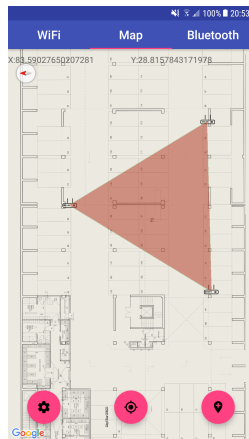
# Ejecución

- Áreas de medición:  
 $7,95[m^2]$  -  $25,09[m^2]$  -  $27,64[m^2]$  -  
 $84,52[m^2]$  -  $118,37[m^2]$
- 200 mediciones por área



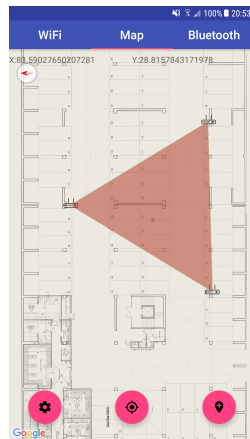
## Ejecución

- Áreas de medición:  
 $7,95[m^2]$  -  $25,09[m^2]$  -  $27,64[m^2]$  -  
 $84,52[m^2]$  -  $118,37[m^2]$
- 200 mediciones por área
- Usuario inmóvil



# Ejecución

- Áreas de medición:  
 $7,95[m^2]$  -  $25,09[m^2]$  -  $27,64[m^2]$  -  
 $84,52[m^2]$  -  $118,37[m^2]$
- 200 mediciones por área
- Usuario inmóvil
- Método de mitigación: *ventana deslizante*



# Tabla de Contenidos

1 Introducción

2 Estado del Arte

3 Diseño del Estudio

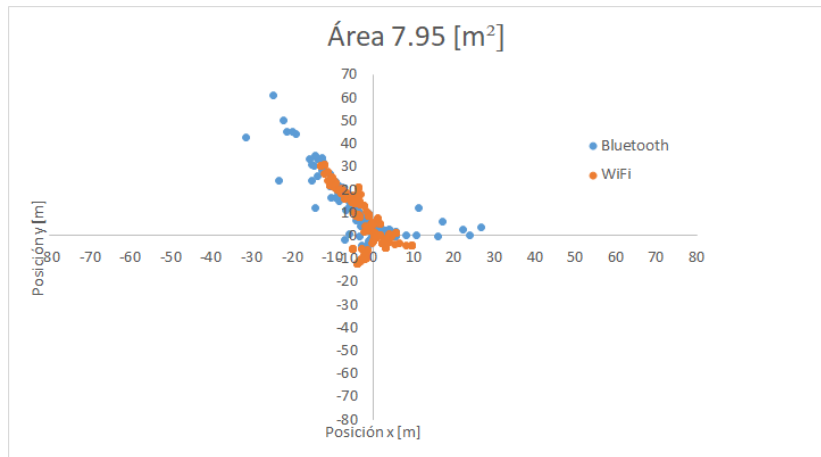
4 Implementación

**5 Resultados**

6 Conclusiones

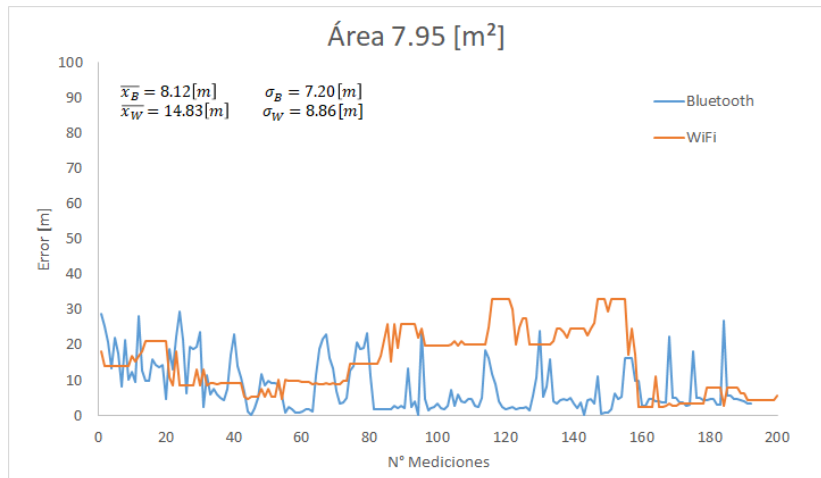
# Área 7,95[m<sup>2</sup>]

## Posiciones calculadas



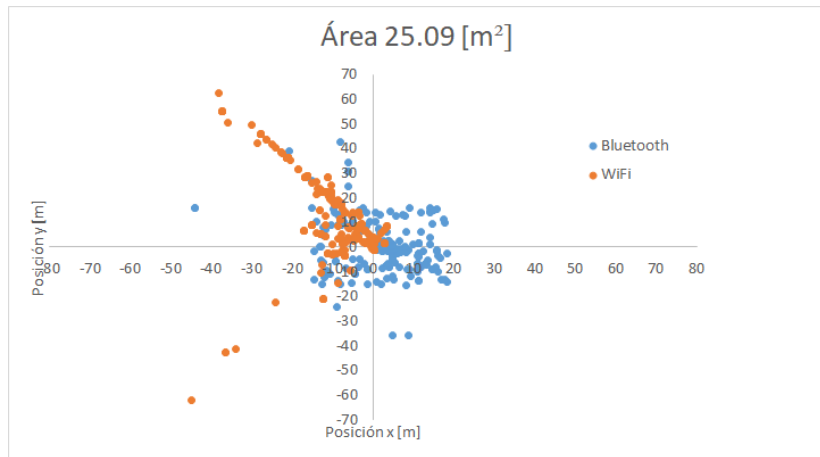
# Área 7,95[m<sup>2</sup>]

## Errores entre posición real y calculada



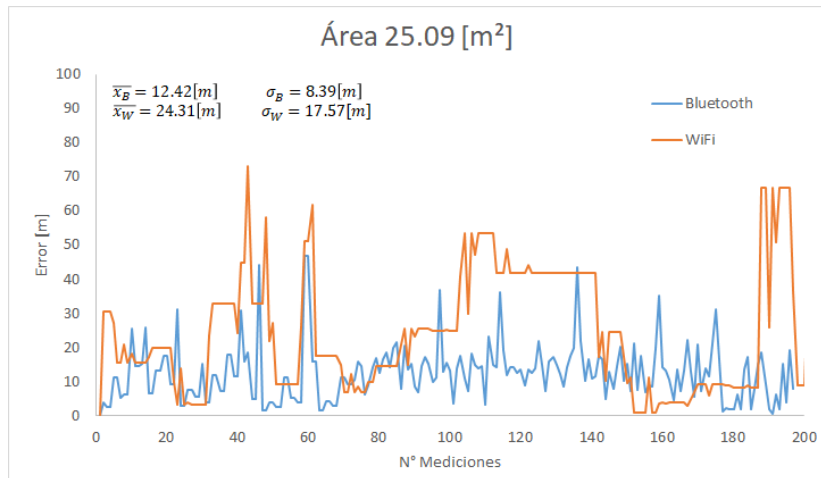
# Área 25,09[m<sup>2</sup>]

## Posiciones calculadas



# Área 25,09[m<sup>2</sup>]

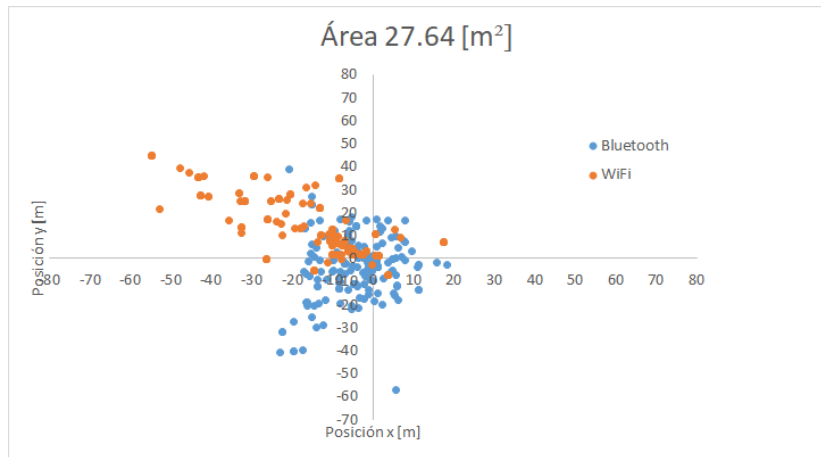
## Errores entre posición real y calculada





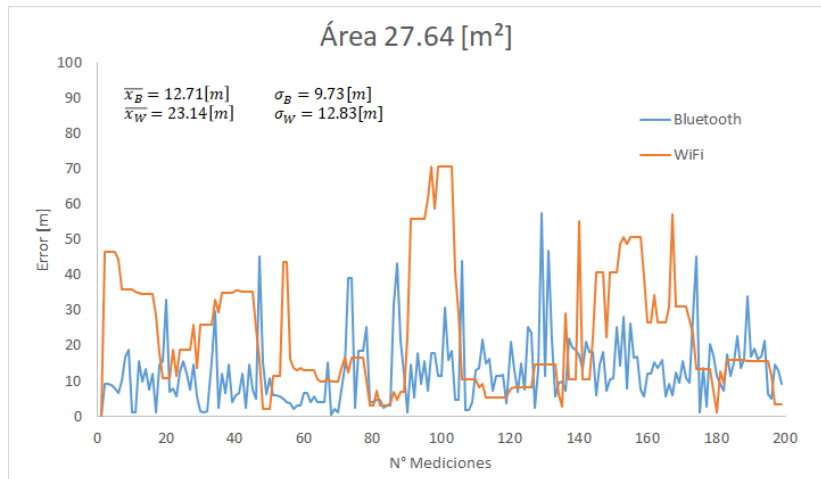
# Área 27,64[m<sup>2</sup>]

## Posiciones calculadas



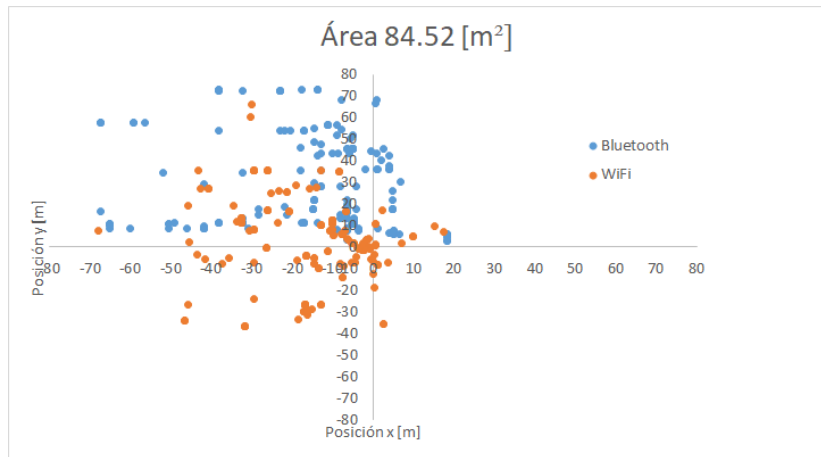
# Área 27,64[m<sup>2</sup>]

## Errores entre posición real y calculada



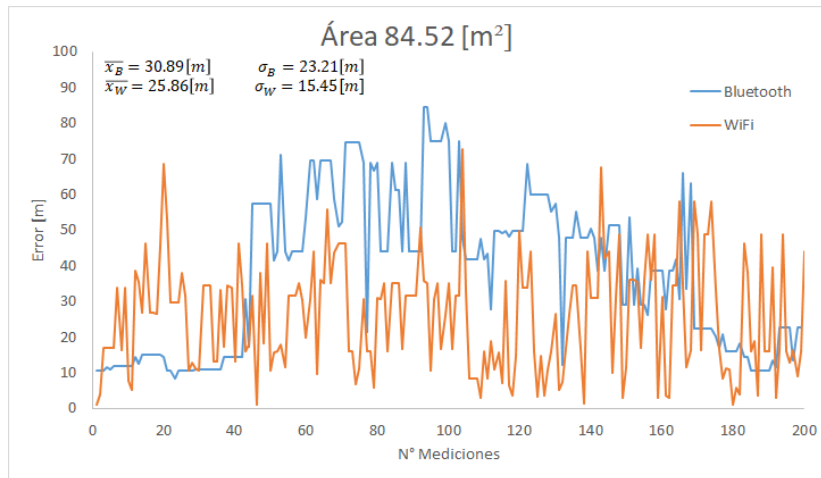
# Área 84,52[m<sup>2</sup>]

## Posiciones calculadas



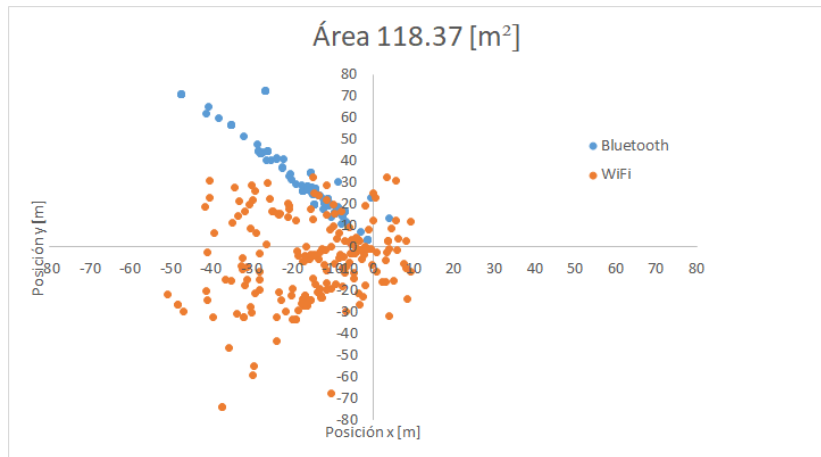
# Área 84,52[m<sup>2</sup>]

## Errores entre posición real y calculada



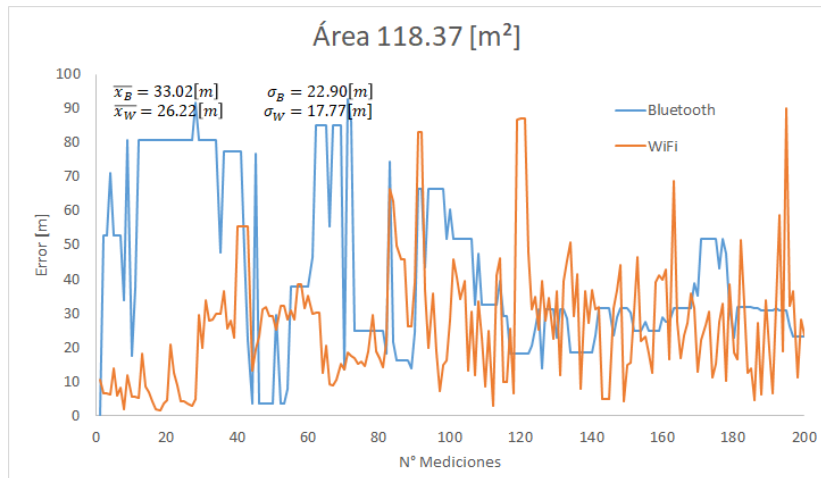
# Área 118,37[m<sup>2</sup>]

## Posiciones calculadas

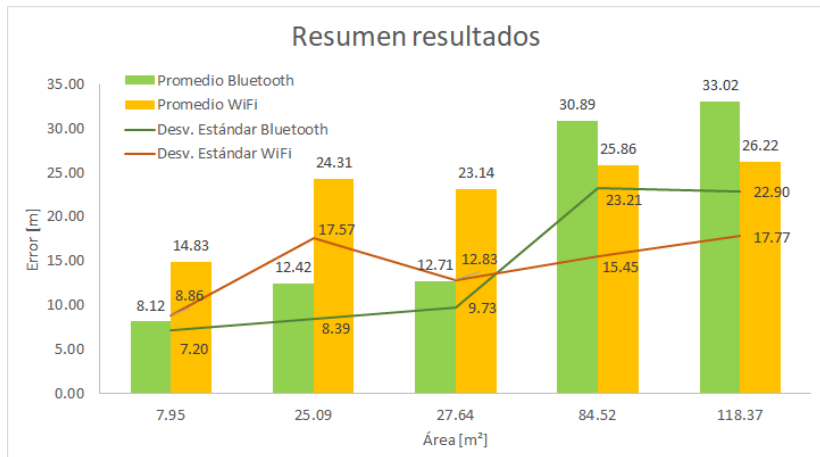


# Área 118,37[m<sup>2</sup>]

## Errores entre posición real y calculada



# Resumen resultados



# Tabla de Contenidos

1 Introducción

2 Estado del Arte

3 Diseño del Estudio

4 Implementación

5 Resultados

**6 Conclusiones**



# Conclusiones

- Para áreas reducidas, Bluetooth es más efectivo que WiFi

# Conclusiones

- Para áreas reducidas, Bluetooth es más efectivo que WiFi
- Para áreas mayores, WiFi presenta un error más estable

# Conclusiones

- Para áreas reducidas, Bluetooth es más efectivo que WiFi
- Para áreas mayores, WiFi presenta un error más estable
- La precisión y exactitud del posicionamiento depende de la densidad de dispositivos

# Conclusiones

- Para áreas reducidas, Bluetooth es más efectivo que WiFi
- Para áreas mayores, WiFi presenta un error más estable
- La precisión y exactitud del posicionamiento depende de la densidad de dispositivos
- Importancia en algoritmos de localización

# Conclusiones

- Para áreas reducidas, Bluetooth es más efectivo que WiFi
- Para áreas mayores, WiFi presenta un error más estable
- La precisión y exactitud del posicionamiento depende de la densidad de dispositivos
- Importancia en algoritmos de localización
- El posicionamiento indoor aún es un campo abierto de estudio

# Gracias por su atención