



uc3m

Universidad
Carlos III
de Madrid

GRADO UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE SONIDO E IMAGEN

Trabajo Fin de Grado

“Desarrollo de un sistema de localización basado en WiFi”

Miguel Serrano Armero

Tutor: Pablo Serrano Yáñez-Mingot

Leganés, 2020

ÍNDICE

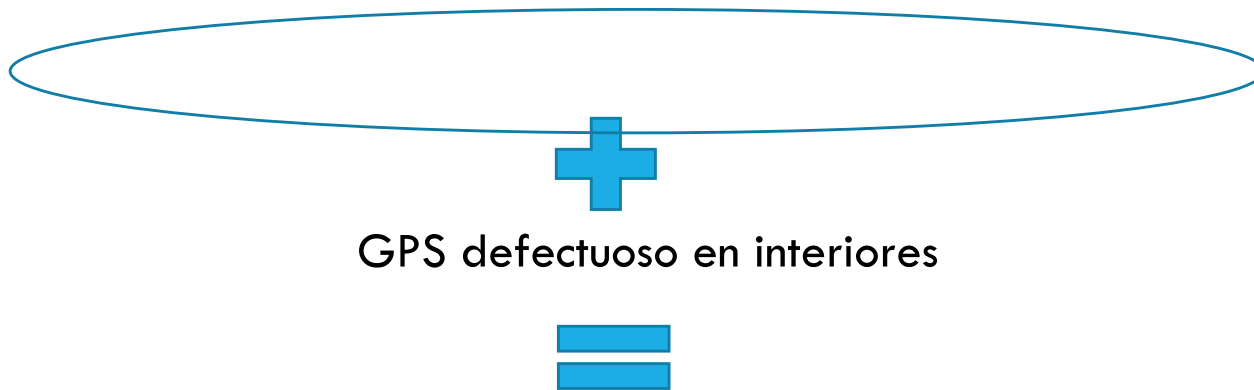
1. Introducción
2. Tecnología WiFi
3. Proceso de medición
4. Análisis de cobertura
5. Evaluación del algoritmo k-NN
6. Conclusiones y trabajos futuros

- 
1. **Introducción**
 2. Tecnología WiFi
 3. Proceso de medición
 4. Análisis de cobertura
 5. Evaluación del algoritmo
 6. Conclusiones y trabajos futuros

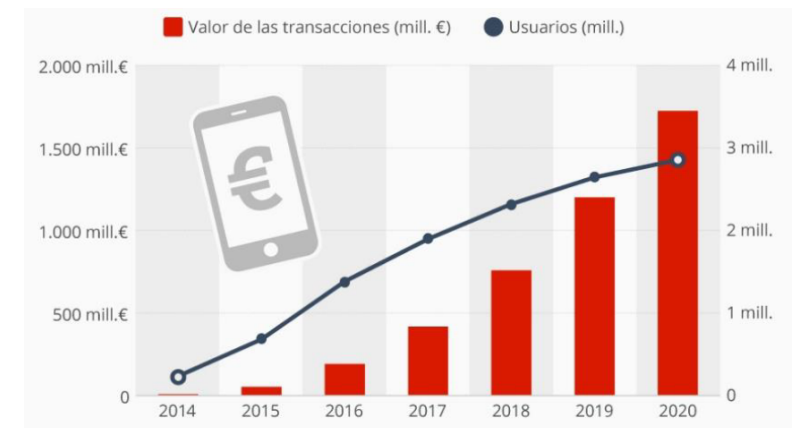
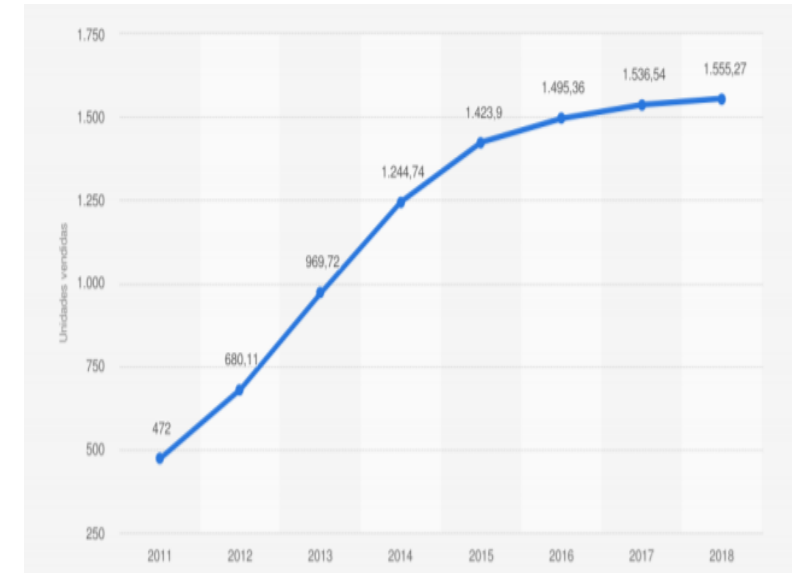
INTRODUCCIÓN

Contexto: Papel muy importante de la tecnología en la sociedad. Revolución y transformación digital (IoT, Big Data). 5G = mejor conectividad.

Usuarios: cada vez más personas tienen dispositivos inteligentes (**smartphones**) - Nuevas funciones - El móvil = herramienta indispensable para el día a día. - Motivación: aprovechar que los usuarios lo llevan siempre encima



Objetivo: Comprobar la precisión de un sistema de localización basado en WiFi



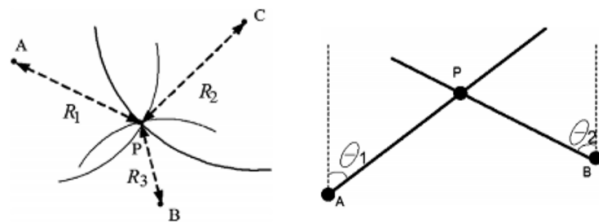
INTRODUCCIÓN

Localización en interiores:

Degradación de señal = Pérdida de precisión provocada por los materiales. Propagación multitrayecto. Baja probabilidad de propagación de alcance visual (LoS).

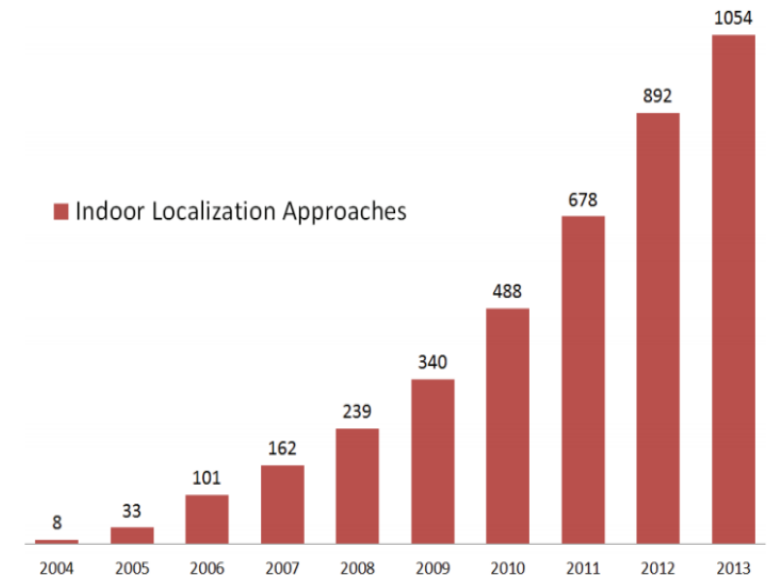
Aplicaciones: orientación, marketing, eficiencia en la atención, emergencias (covid-19)...

- Basados en WiFi
 - Por triangulación: TOA, AOA...



- Por **RSSI**: k-NN

- Basados en Bluetooth
 - Por Beacons/iBeacons



CARACTERÍSTICAS	WiFi	Bluetooth
Ventajas	Aprovecha el hardware existente. Compatible con todos los smartphones	Pequeños. Instalación sencilla. Menor consumo. Intensidad de señal recibida proporcional a la cercanía al beacon = Mayor precisión.
Inconvenientes	Menor precisión	Hardware adicional. Compatible con menos dispositivos (60% Android, 90% iPhones)

Mejores resultados combinados

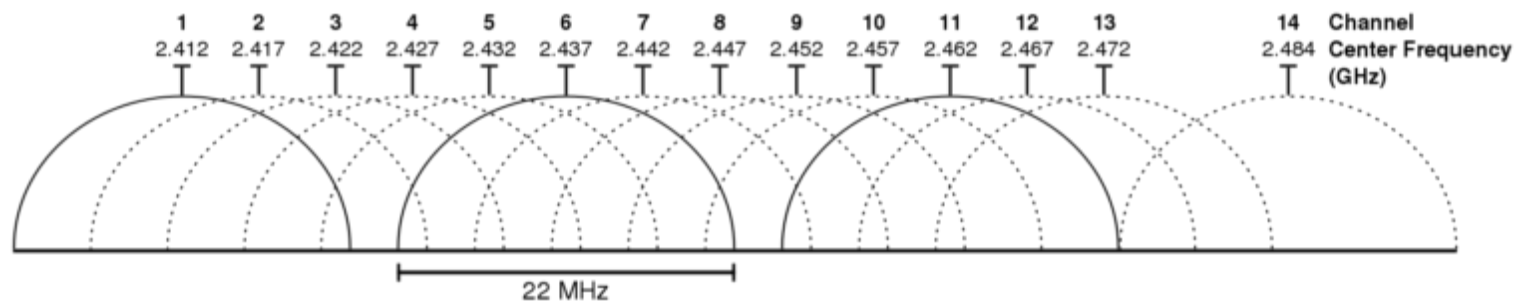
- 
1. Introducción
 2. Tecnología WiFi
 3. Proceso de medición
 4. Análisis de cobertura
 5. Evaluación del algoritmo
 6. Conclusiones y trabajos futuros

TECNOLOGÍA WIFI

Conceptos

Bandas de frecuencia: 2.4 GHz (más cobertura, menos velocidad) y 5 GHz (menor cobertura, más velocidad)

Canales: varía en función de la banda y de la región



Solapamiento = interferencias y saturación = peor rendimiento - **IMPORTANTE**: elegir canal (ej. en 2.4 GHz: canales 1, 6, 11)

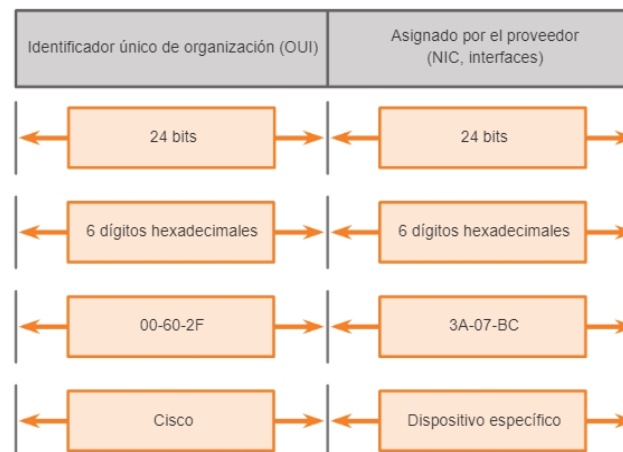
RSSI: Indicador de fuerza de la señal recibida (potencia). Escala negativa. dBm o mW

$$P_{(mW)} = 1mW \cdot 10^{(P_{(dBm)}/10)}$$

Potencia (dBm)	Potencia (mW)
-40 dBm	0.0001 mW
-30 dBm	0.001 mW
-20 dBm	0.01 mW

TECNOLOGÍA WIFI

Dirección MAC (por privacidad no se indican): identificador único que se le asigna a cada dispositivo. 48 bits representados en hexadecimal = 12 dígitos agrupados en 6 parejas.

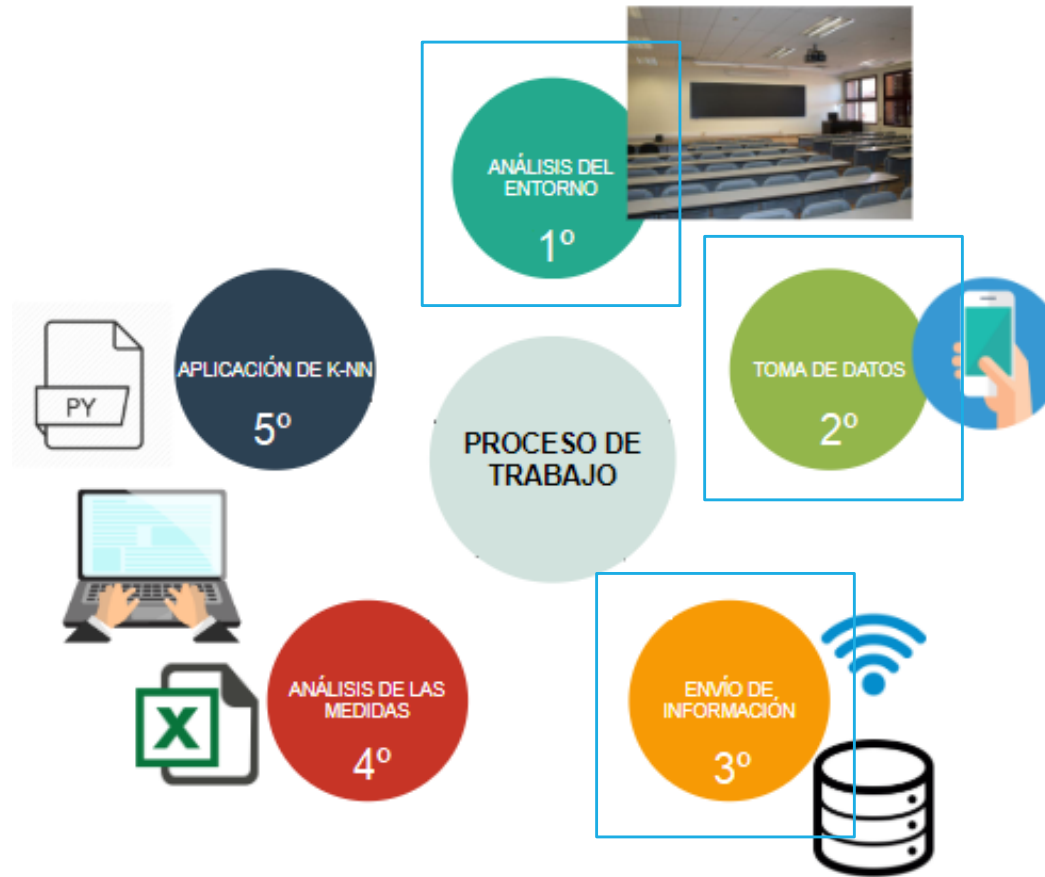


Virtual Access Point: puntos de acceso que se pueden crear para una red local. Limitar ancho de banda y velocidad = evitar congestión

1 AP físico = 3 AP virtuales (eduroam, UC3M-Visitantes, UC3M-Events...). Se diferencian en pocos bits

- 
1. Introducción
 2. Tecnología WiFi
 3. **Proceso de medición**
 4. Análisis de cobertura
 5. Evaluación del algoritmo
 6. Conclusiones y trabajos futuros

PROCESO DE MEDICIÓN



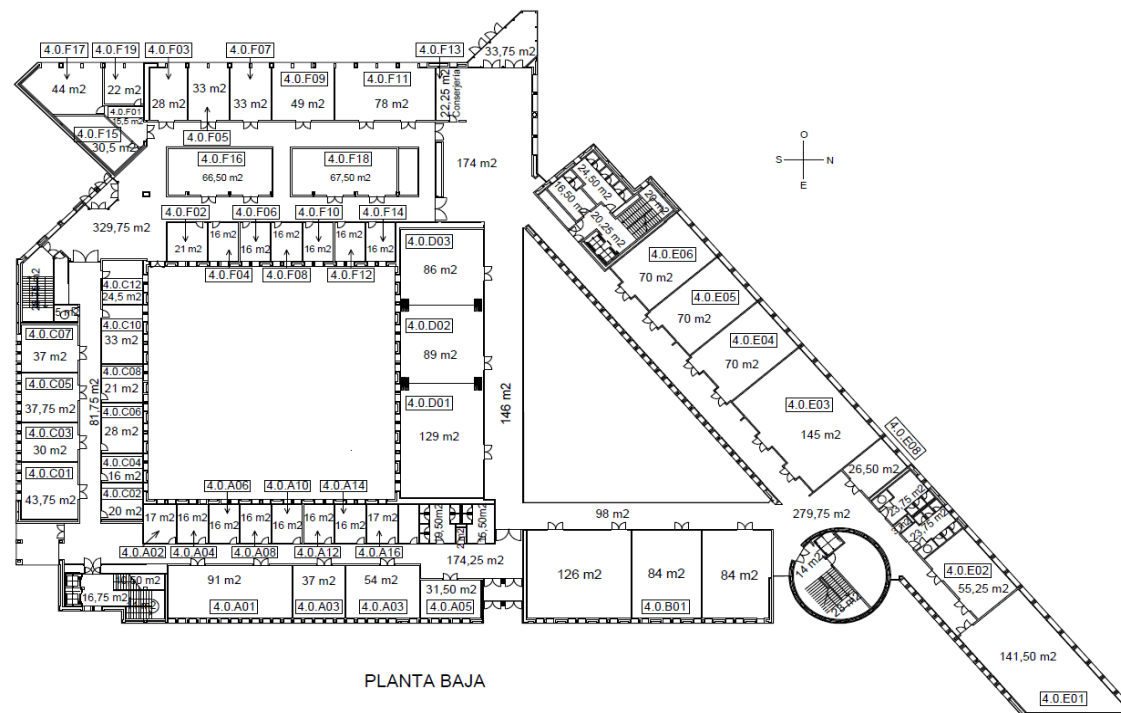
El proceso de medición se corresponde con las 3 primeras etapas del proceso de trabajo

PROCESO DE MEDICIÓN

Planta baja del Edificio Torres Quevedo: Departamento de Telemática (entrada, recepción, aulas, despachos, laboratorios). Sólo una planta porque es una primera aproximación a la localización por WiFi.

ANÁLISIS DEL ENTORNO

1º



PLANTA BAJA

PROCESO DE MEDICIÓN

- 1) App **“Buscar redes”**: desarrollada por estudiante universidad de Murcia (Antonio David Lario Morales)
- 2) Envío de información recopilada en cada medición a una base de datos
- 3) **En la web (bbdd)**: cada fila (registro) se corresponde con las características de una MAC distinta. (N° registros $>$ N° puntos de medida)



1)

Buscar Redes

Mapa de Google Maps mostrando una ubicación en la calle de las Nieves. Se muestran varias direcciones de correo electrónico (MAC) como 4.0.F11, 4.0.F12, 4.0.F13, 4.0.F14, 4.0.F15, 4.0.F16, 4.0.F17, 4.0.F18, 4.0.F19, 4.0.F20, 4.0.F21, 4.0.F22, 4.0.F23, 4.0.F24, 4.0.F25, 4.0.F26, 4.0.F27, 4.0.F28, 4.0.F29, 4.0.F30, 4.0.F31, 4.0.F32, 4.0.F33, 4.0.F34, 4.0.F35, 4.0.F36, 4.0.F37, 4.0.F38, 4.0.F39, 4.0.F40, 4.0.F41, 4.0.F42, 4.0.F43, 4.0.F44, 4.0.F45, 4.0.F46, 4.0.F47, 4.0.F48, 4.0.F49, 4.0.F50, 4.0.F51, 4.0.F52, 4.0.F53, 4.0.F54, 4.0.F55, 4.0.F56, 4.0.F57, 4.0.F58, 4.0.F59, 4.0.F60, 4.0.F61, 4.0.F62, 4.0.F63, 4.0.F64, 4.0.F65, 4.0.F66, 4.0.F67, 4.0.F68, 4.0.F69, 4.0.F70, 4.0.F71, 4.0.F72, 4.0.F73, 4.0.F74, 4.0.F75, 4.0.F76, 4.0.F77, 4.0.F78, 4.0.F79, 4.0.F80, 4.0.F81, 4.0.F82, 4.0.F83, 4.0.F84, 4.0.F85, 4.0.F86, 4.0.F87, 4.0.F88, 4.0.F89, 4.0.F90, 4.0.F91, 4.0.F92, 4.0.F93, 4.0.F94, 4.0.F95, 4.0.F96, 4.0.F97, 4.0.F98, 4.0.F99, 4.0.F100.

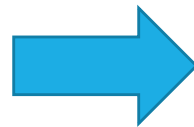
Latitud
40.33220439669333

Longitud
-3.7643804401159286

Planta
0

ENVIAR DATOS

2)



3)

Proyecto Redes

Escaneos

Sid	Qr	Fecha	Mac	Senal	Canal	Mac usuario	
UC3M-Events	Nulo	20/11/2019 18:11:08	00:a6:ca:73:76:90	-77	11	149d9b1e298	Modificar Borrar
eduroam	Nulo	20/11/2019 18:11:08	00:a6:ca:73:76:94	-77	11	149d9b1e298	Modificar Borrar
UC3M-Visitantes	Nulo	20/11/2019 18:11:08	00:a6:ca:73:76:91	-76	11	149d9b1e298	Modificar Borrar
eduroam	Nulo	20/11/2019 18:11:08	a4:6c:2a:7a:7d:bb	-88	104	149d9b1e298	Modificar Borrar
UC3M-Visitantes	Nulo	20/11/2019 18:11:08	00:be:75:7b:21:9e	-77	104	149d9b1e298	Modificar Borrar
UC3M-Visitantes	Nulo	20/11/2019 18:11:08	a4:6c:2a:7a:7d:be	-87	104	149d9b1e298	Modificar Borrar
PRACT-GGAR1	Nulo	20/11/2019 18:11:08	e8:94:f6:fb:29:bb	-79	6	149d9b1e298	Modificar Borrar
UC3M-Events	Nulo	20/11/2019 18:11:08	00:f2:8b:31:ee:70	-84	6	149d9b1e298	Modificar Borrar
aoivia	Nulo	20/11/2019 18:11:08	00:c0:ca:1f:6e:fe	-86	6	149d9b1e298	Modificar Borrar
UC3M-Events	Nulo	20/11/2019 18:11:08	a4:6c:2a:86:70:70	-87	6	149d9b1e298	Modificar Borrar
UC3M-Visitantes	Nulo	20/11/2019 18:11:08	80:e0:1d:c2:d2:d1	-87	6	149d9b1e298	Modificar Borrar
UC3M-Visitantes	Nulo	20/11/2019 18:11:08	00:be:75:7b:21:91	-73	6	149d9b1e298	Modificar Borrar
PRACT-G3AR2	Nulo	20/11/2019 18:11:08	e8:94:f6:fb:39:e5	-88	6	149d9b1e298	Modificar Borrar
PRACT-G1AR1	Nulo	20/11/2019 18:08:36	e8:94:f6:fb:26:51	-91	1	149d9b1e298	Modificar Borrar
UC3M-Visitantes	Nulo	20/11/2019 18:08:36	80:e0:1d:c2:d2:d1	-87	6	149d9b1e298	Modificar Borrar

3405 resultados

< Anterior Siguiente >

PROCESO DE MEDICIÓN

A tener en cuenta:

- Cubrir lo máximo posible de la planta.
- Situación ideal de medición: muestras tomadas aleatoriamente, espaciadas en el tiempo = evitar sesgos
- Densidad de medición (número de puntos/área) proporcional
- Planta dividida por zonas (como en la universidad). No se ha conseguido ser completamente proporcional = posibles sesgos

	Nº de puntos	Área (m ²)	Densidad (puntos/m ²)
Zona A	25	601.22	0.0415
Zona B	20	553.46	0.0361
Zona C	18	616.27	0.0292
Zona D	32	495.66	0.0645
Zona E	82	1197.38	0.0684
Zona F	83	1264.13	0.0656



- 
1. Introducción
 2. Tecnología WiFi
 3. Proceso de medición
 4. **Análisis de cobertura**
 5. Evaluación del algoritmo
 6. Conclusiones y trabajos futuros

ANÁLISIS DE COBERTURA

Localización de los 12 AP (eduroam)

Cada AP tiene 2 direcciones (2.4 GHz y 5 GHz) = 24 direcciones MAC.

Importante: relación entre número de puntos y nivel de señal

Por privacidad no se enseñan = Mapa de calor + Cobertura

Rango	Color
$x > -50$	Dark Green
$-50 > x > -60$	Light Green
$-60 > x > -70$	Yellow
$-70 > x > -80$	Orange
$-80 > x > -90$	Red
$-90 > x > -100$	Dark Red
$x < -100$	Black



ANÁLISIS DE COBERTURA

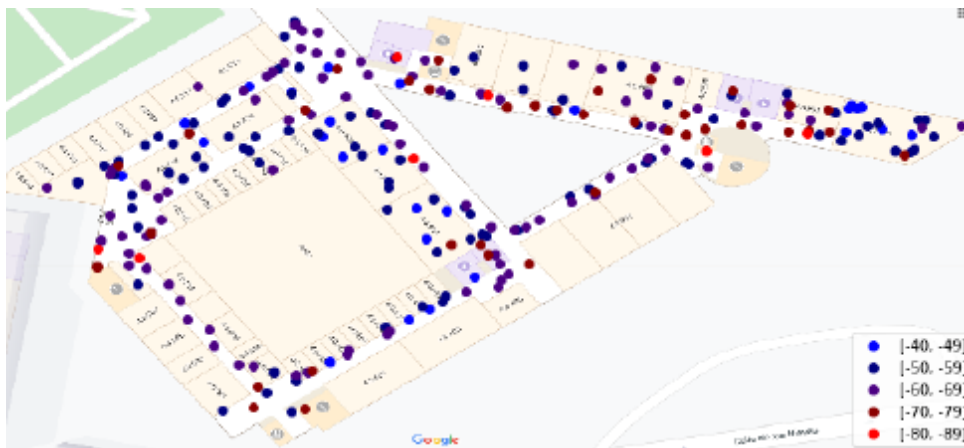
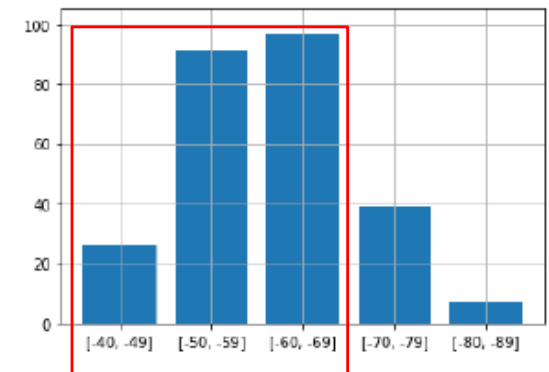
Cobertura de la red eduroam

Situación: número de veces que se detecta la SSID 'eduroam' detectadas de la planta baja (1111 registros)

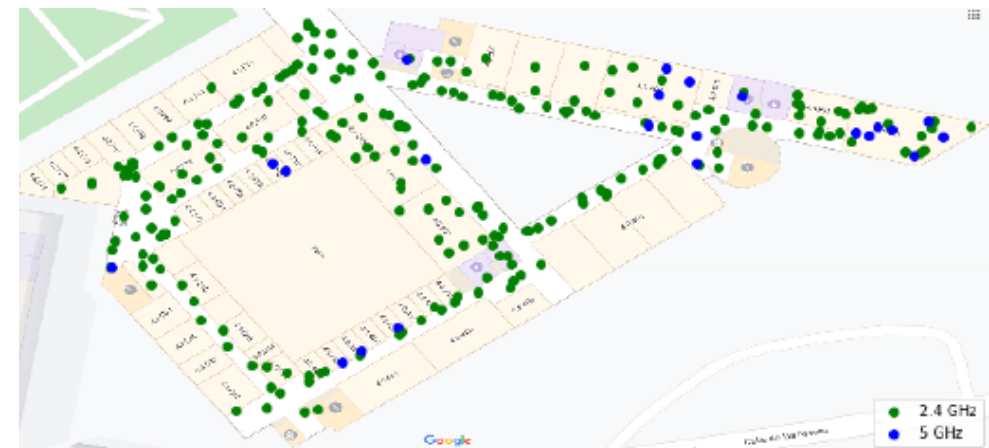
Histograma del valor más alto de señal para cada punto de medida

Nivel de potencia eduroam **bueno** (+200 puntos con señal > -70)

Rango	Media	Mediana
[-40, -84]	-60,5	-61



1ª aproximación para detectar zonas conflictivas (ascensores, baños, escaleras, pegados a cristaleras)

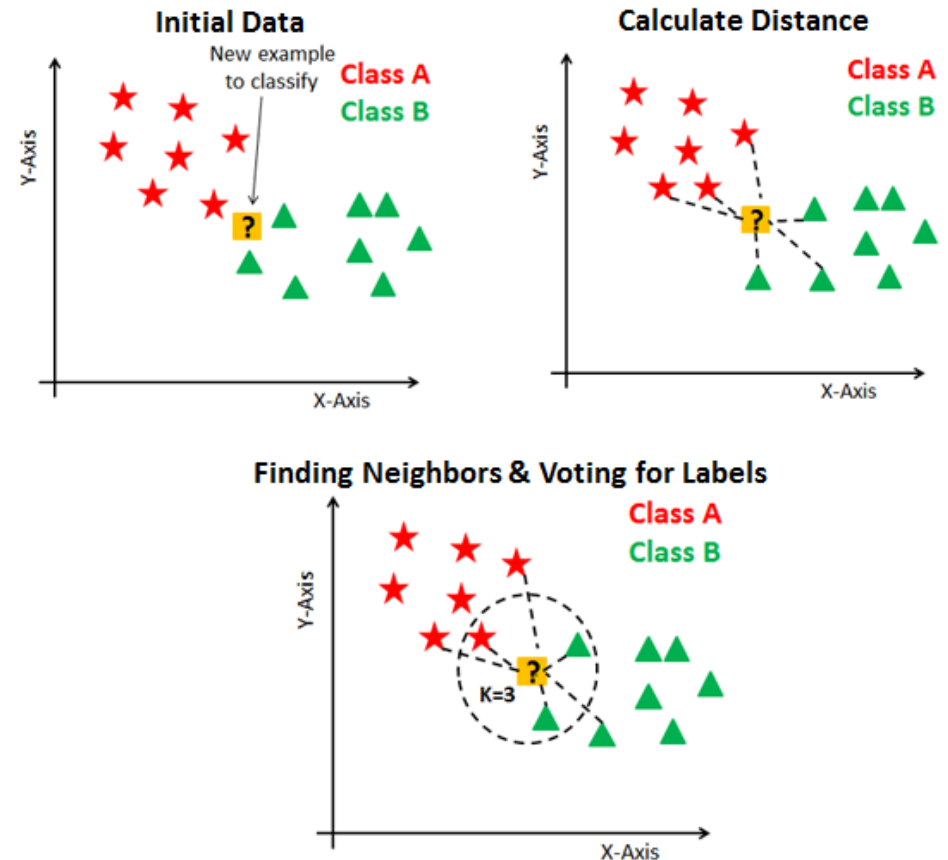


236 puntos → 2.4 GHz vs 24 puntos → 5 GHz
A priori, mejor 2.4 GHz (teoría: mayor cobertura)

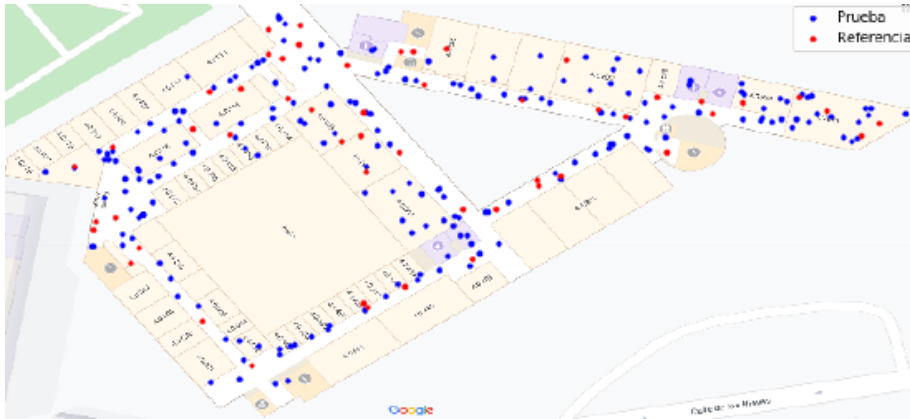
- 
1. Introducción
 2. Tecnología WiFi
 3. Proceso de medición
 4. Análisis de cobertura
 - 5. Evaluación del algoritmo**
 6. Conclusiones y trabajos futuros

EVALUACIÓN DEL ALGORITMO

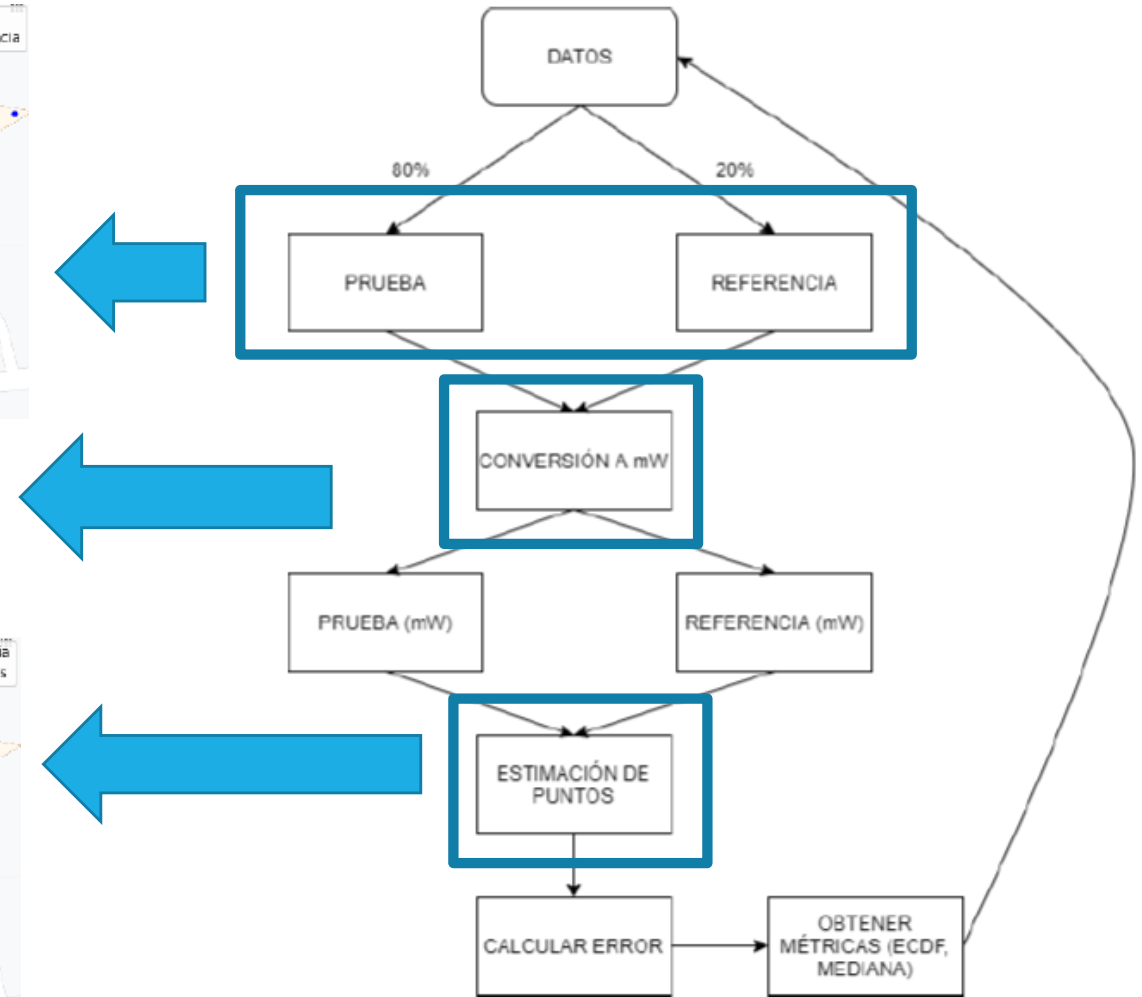
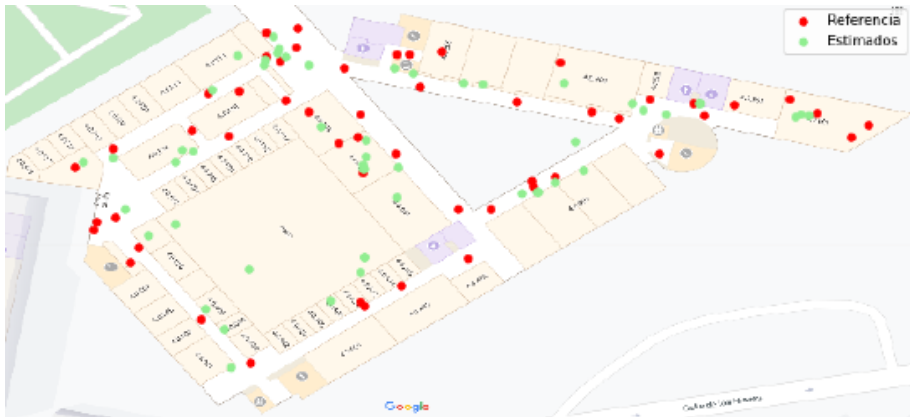
- k-NN ($k = 1, 2, 3...$)
- Conjuntos de prueba y referencia = múltiples vectores (punto de medida (latitud y longitud) y los valores rssi para cada dirección MAC registrada)
- Cada observación del conjunto de referencia se compara con todos los vectores del conjunto de prueba
- Seleccionar las 'k' muestras más similares: minimizar error
- Posición estimada = promedio ponderado de las posiciones de las muestras seleccionadas. Las más parecidas contribuyen más.



EVALUACIÓN DEL ALGORITMO



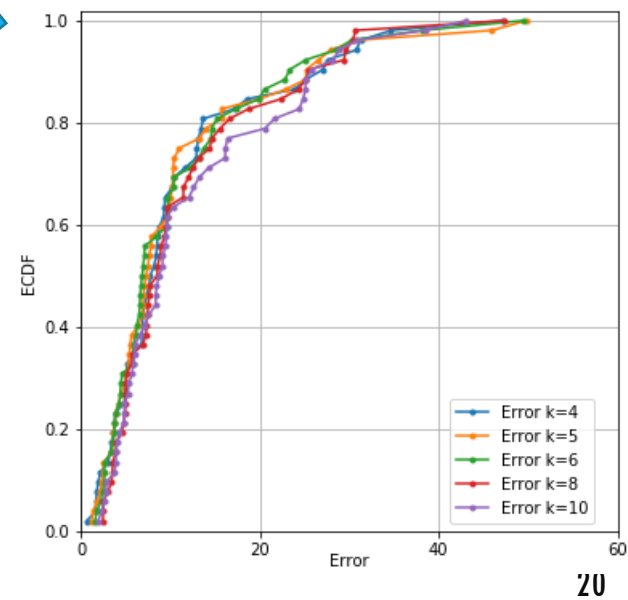
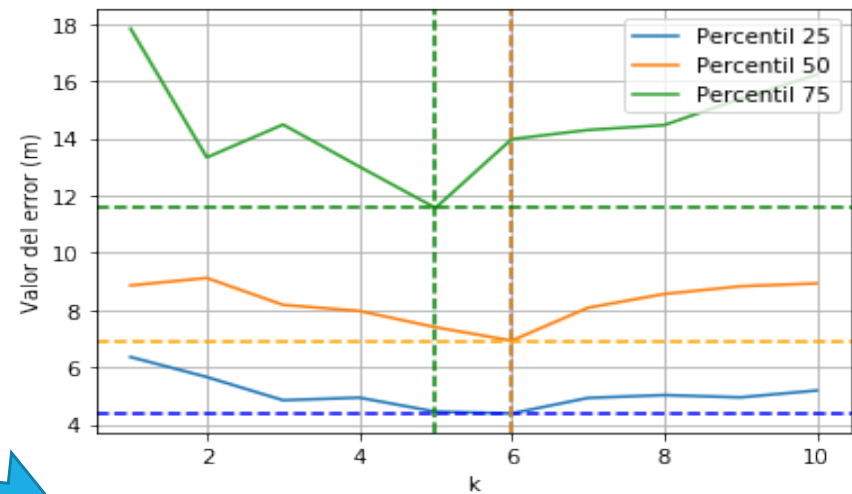
$$P_{(mW)} = 1mW \cdot 10^{(P_{(dBm)}/10)}$$



EVALUACIÓN DEL ALGORITMO



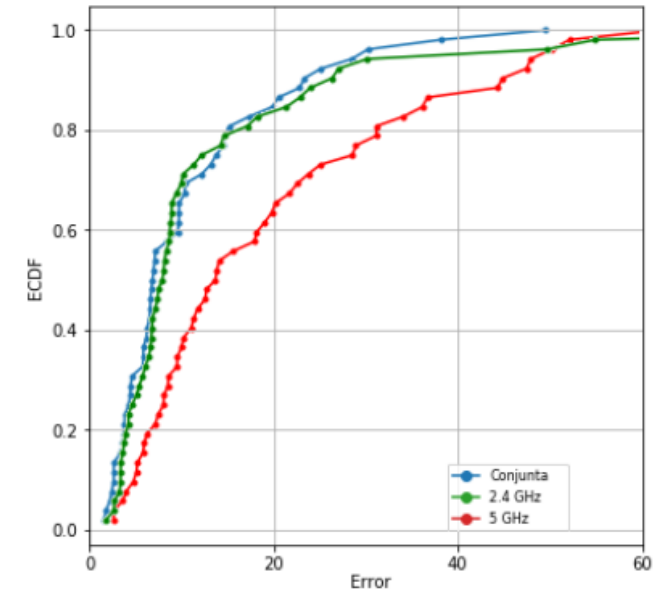
k	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Percentil 75
1	13.75	8.54	0.0	89.69	6.32	17.34
2	12.81	8.77	0.0	93.08	5.35	13.29
3	11.61	8.14	0.0	60.14	4.53	14.43
4	10.89	7.77	0.01	47.08	4.86	12.96
5	10.85	7.29	0.01	49.83	4.26	11.01
6	10.72	6.88	0.01	49.42	4.29	13.77
7	11.33	7.96	0.02	51.04	4.76	14.18
8	11.53	8.55	0.02	47.36	4.98	14.41
9	11.59	8.67	0.02	44.38	4.91	15.1
10	12.21	8.74	0.02	43.03	4.9	16.16



EVALUACIÓN DEL ALGORITMO

K = 6

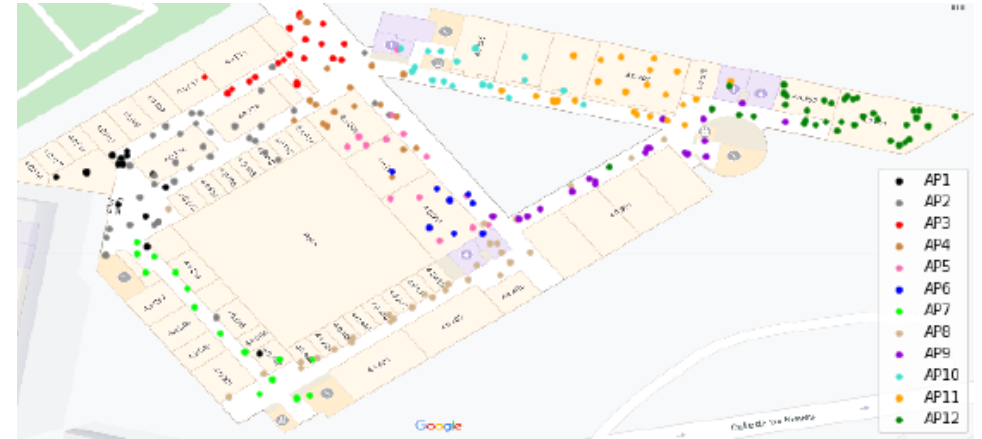
	Original	Rep.1	Rep.2	Rep.3	Rep.4	Rep.5	Rep.6	Rep.7	Rep.8	Rep.9
K=1	8.54	9.08	12.68	10.1	12.37	7.38	9.99	10.29	10.2	8.37
K=2	8.77	10.09	9.74	8.82	10.92	7.32	9.68	8.97	8.69	9.5
K=3	8.14	9.74	8.14	8.21	10.92	6.43	9.8	8.15	8.68	9.52
K=4	7.77	8.53	8.65	8.33	10.52	7.06	8.76	7.49	8.46	8.34
K=5	7.29	8.53	7.7	7.81	10.65	5.51	8.52	7.51	8.79	8.23
K=6	6.88	8.46	8.34	7.78	9.93	6.03	9.17	7.01	7.72	8.5
K=7	7.96	8.28	9.22	8.26	10.33	5.26	8.74	7.39	8.21	9.88
K=8	8.55	7.9	8.99	9.1	11.23	5.39	9.94	7.7	7.95	10.23
K=9	8.67	7.75	8.53	8.85	11.2	5.68	9.65	7.67	8.38	10.85
K=10	8.74	8.63	9.08	9.39	11.4	5.79	9.57	7.43	8.36	10.57



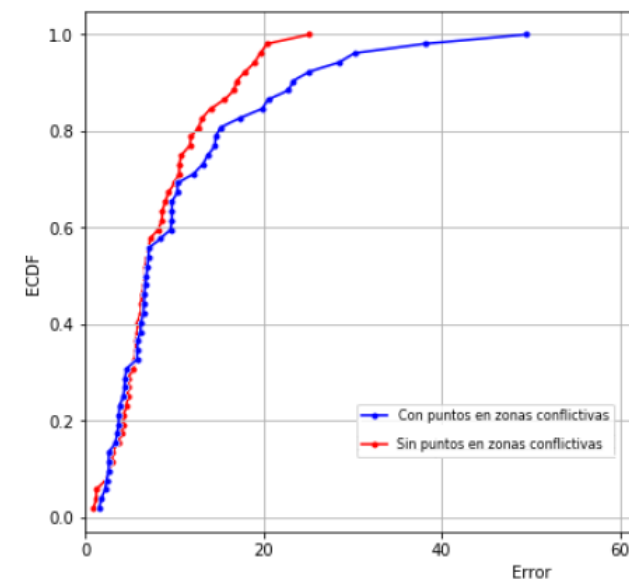
Zonas conflictivas



EVALUACIÓN DEL ALGORITMO



Puntos en zonas conflictivas	Error (m)
16	8,5
0	6,71



- 
1. Introducción
 2. Tecnología WiFi
 3. Proceso de medición
 4. Análisis de cobertura
 5. Evaluación del algoritmo
 6. Conclusiones y trabajos futuros

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

CONCLUSIONES	TRABAJOS FUTUROS
• Precisión moderada (error de 8m). • Importan los puntos de referencia (escaleras, baños, ascensores peor) • Banda de 2.4 GHz proporciona mejor cobertura. Mejor opción = usar ambas bandas de frecuencia	• Determinar puntos de referencia óptimos • Realizar el estudio sobre más plantas o el edificio entero. • Aplicar otros algoritmos de localización o complementar con otra tecnología (beacons)



MUCHAS GRACIAS