



# POSICIONAMIENTO EN INTERIORES

---

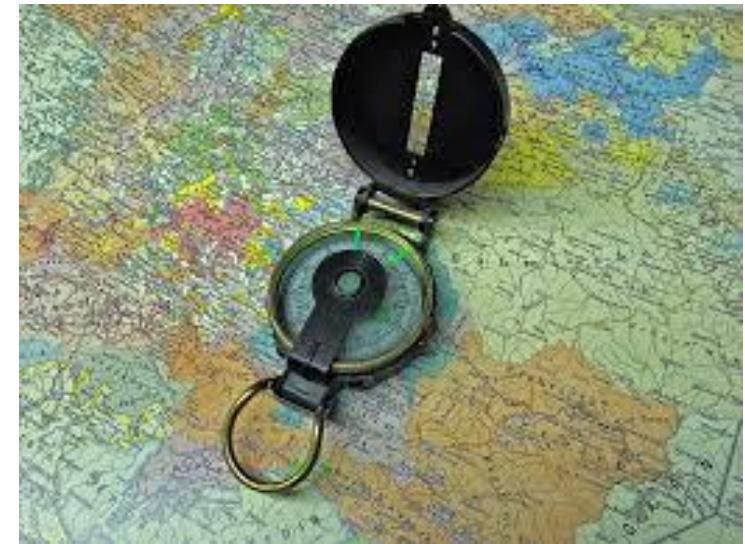
Pablo I. Fierens ([Centro de Optoelectrónica](#) - ITBA, CONICET)

# POSICIONAR: ¿PARA QUÉ?

Ubicate



¿Cómo llego a...?



# POSICIONAR: ¿PARA QUÉ?

¿No quisieras comprar un...?



¿Quién entró? ¿Compró?  
¿Cuánto tiempo estuvo?



# POSICIONAR: ¿PARA QUÉ?

¿Cuánto esperaron?



¿Cuántos había?



# POSICIONAR: ¿PARA QUÉ?

¿Dónde subieron? ¿Dónde bajaron?



Seguimiento



# POSICIONAR: ¿PARA QUÉ?



Museos

Conferencias o exposiciones



Instituciones educativas



# ¿NO EXISTE EL GPS?

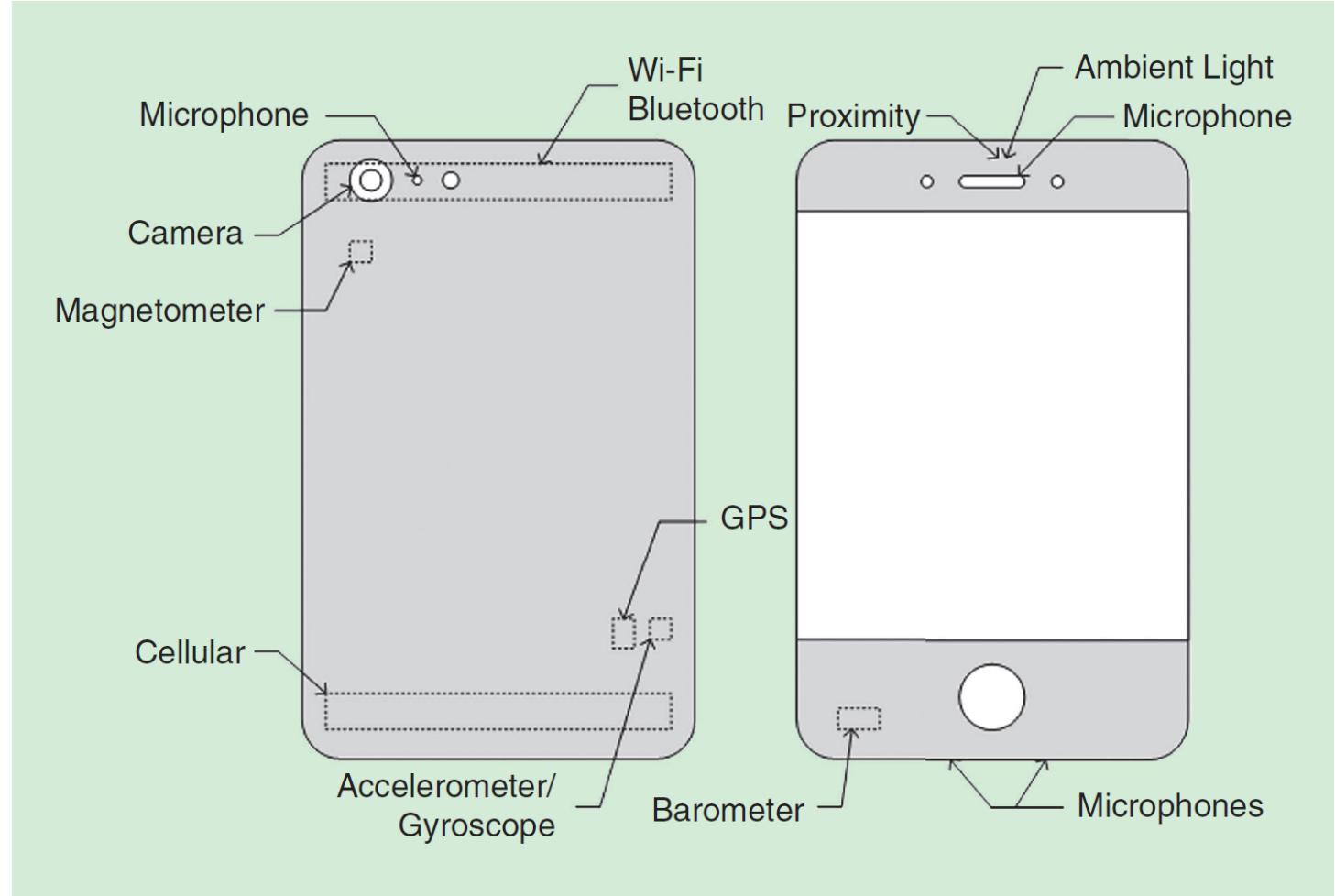
Sí, pero la señal de GPS no llega a interiores

El uso de localización es importante donde no hay visibilidad de satélites

Y WiFi hay en todos lados...

# ¿ES LA ÚNICA POSIBILIDAD?

---



Langlois et al., *IEEE Consumer Electronics Magazine* (2017)

# UWB

Ultra-wideband:  $> 500 \text{ MHz}$  o fraccional relativo (@ -10 dB)  $> 0.2$

Gracias Fourier:

Mayor ancho de banda



Mayor resolución temporal

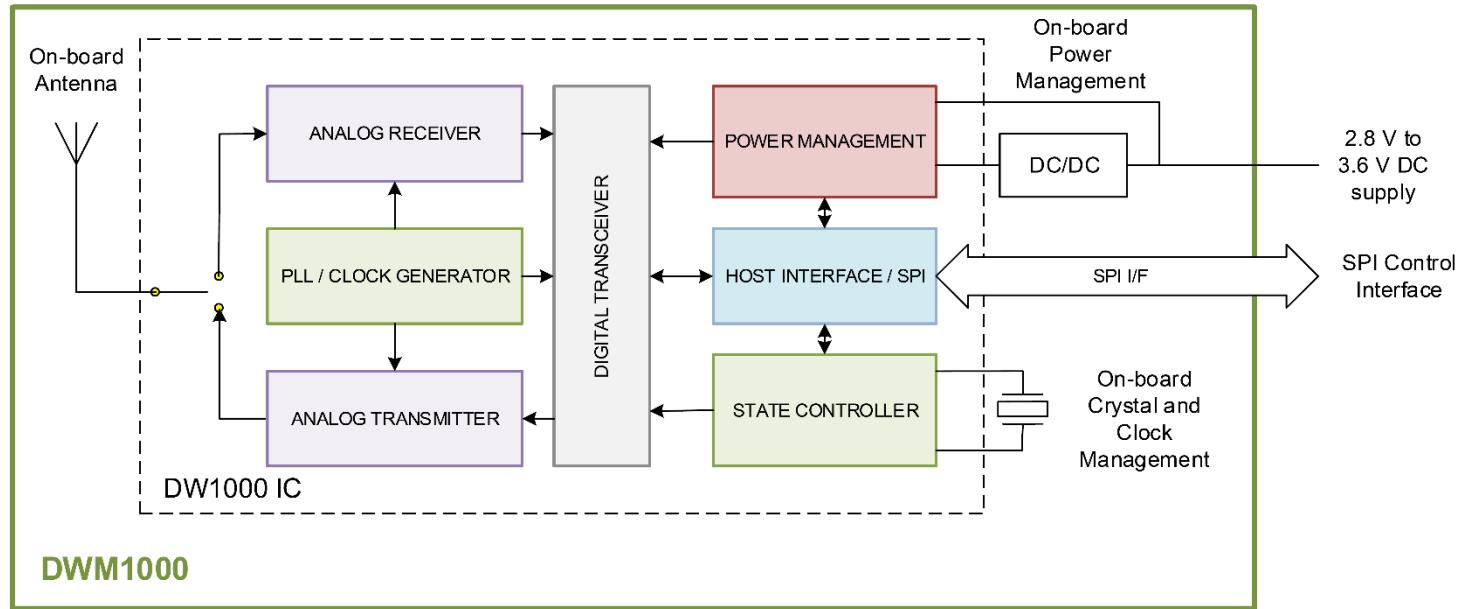
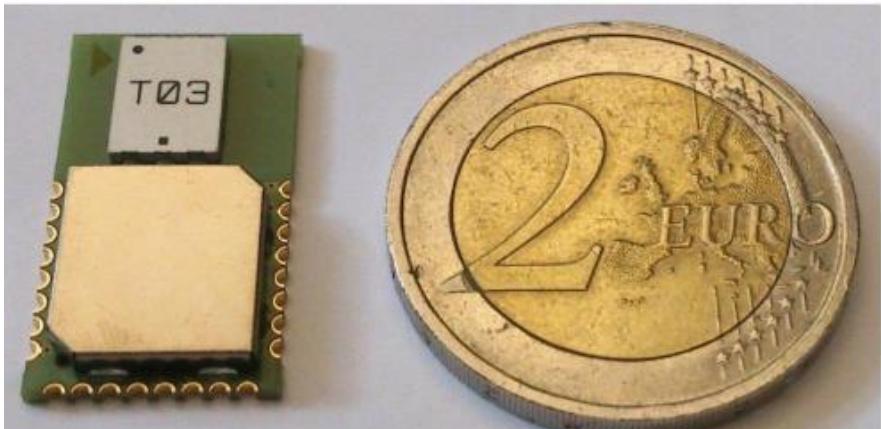


Mayor resolución al medir tiempos de vuelo



Mayor resolución al medir distancias

# UWB



High Level Block Diagram

## DECAWAVE DWM1000

Precisión < 10 cm

Hasta 6.8 Mbps

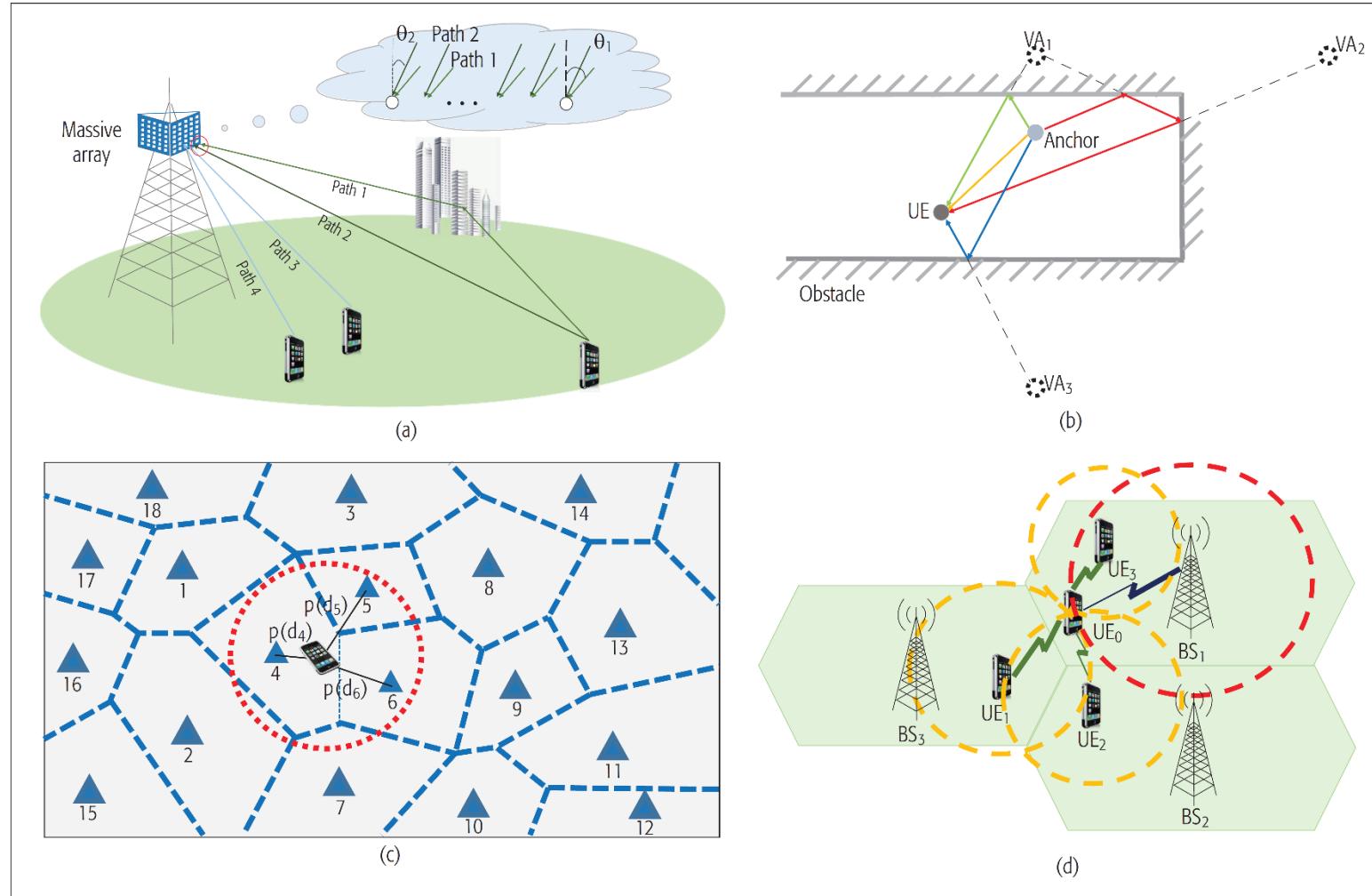
4 bandas de 3.5 a 6.5 GHz

Decawave (2016)

# TELEFONÍA CELULAR

Network	Synchronization	Method	Limitations	Accuracy	Response time
2G	Timing advance	CID+TA	Cell sizes	About 550 m	Very low
		E-OTD	Multipath	50~300 m	Medium
3G	Synchronization symbols	CID+RTT	Cell sizes	About 200 m	Low
		OTDOA	Multipath	50~200 m	Medium
		A-GPS	Weak indoor reception	10~50 m	High
4G	PRS	ECID	Cell sizes and multipath	150 m or coarser	Low
		OTDOA or UTDOA	Multipath	50~200 m	Medium
		A-GNSS	Weak indoor reception	10 m or more precise	High

# TELEFONÍA CELULAR

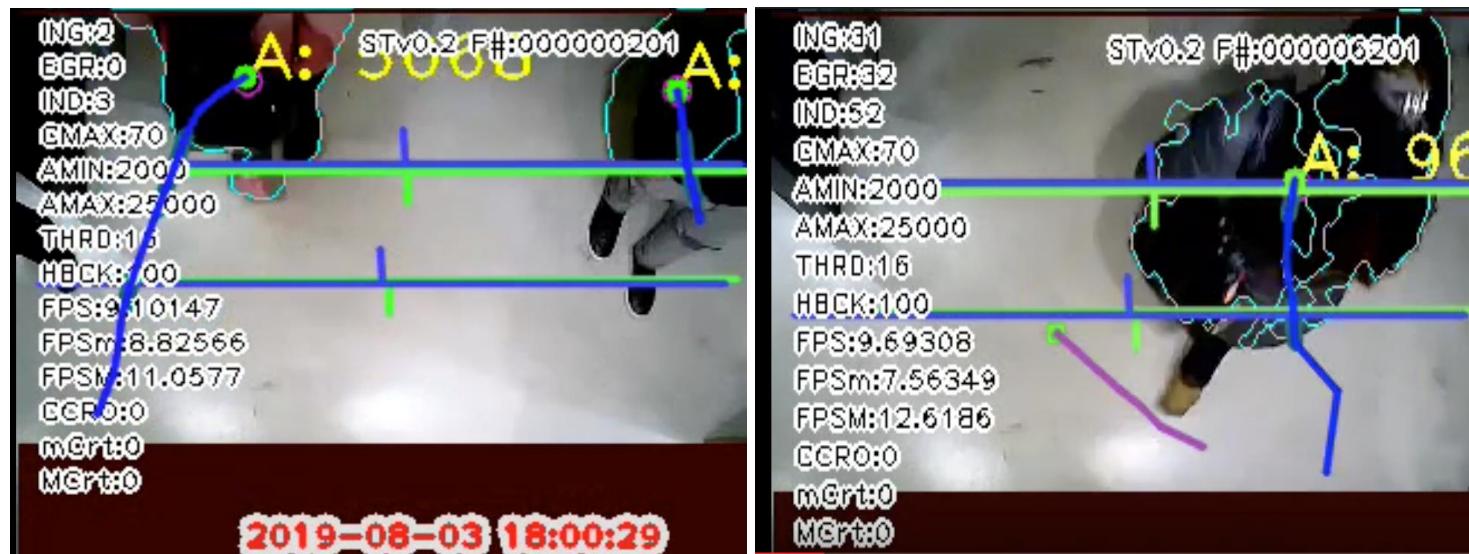


Liu et al. (2017)

# VIDEO



Cupillard et al. (2002)



Sistema de conteo de personas  
en funcionamiento  
Urbix Technologies S.A.

# FUNDAMENTOS DE POSICIONAMIENTO



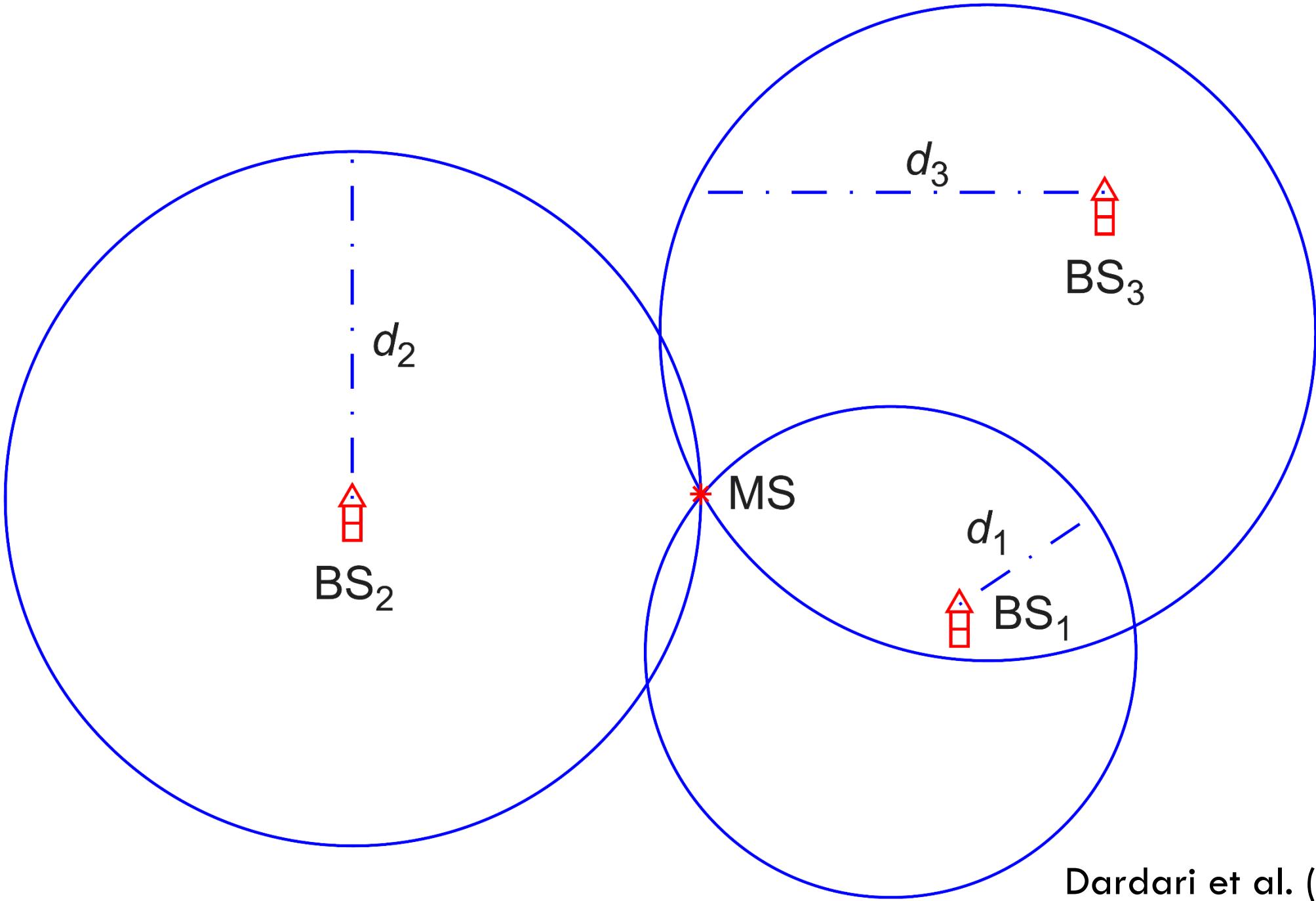
# RSSI

Modelo simplificado propagación (Goldsmith (2005)):

$$P_{rx} = P_{tx} - K + 10\gamma \log_{10} d - n_{sh}$$

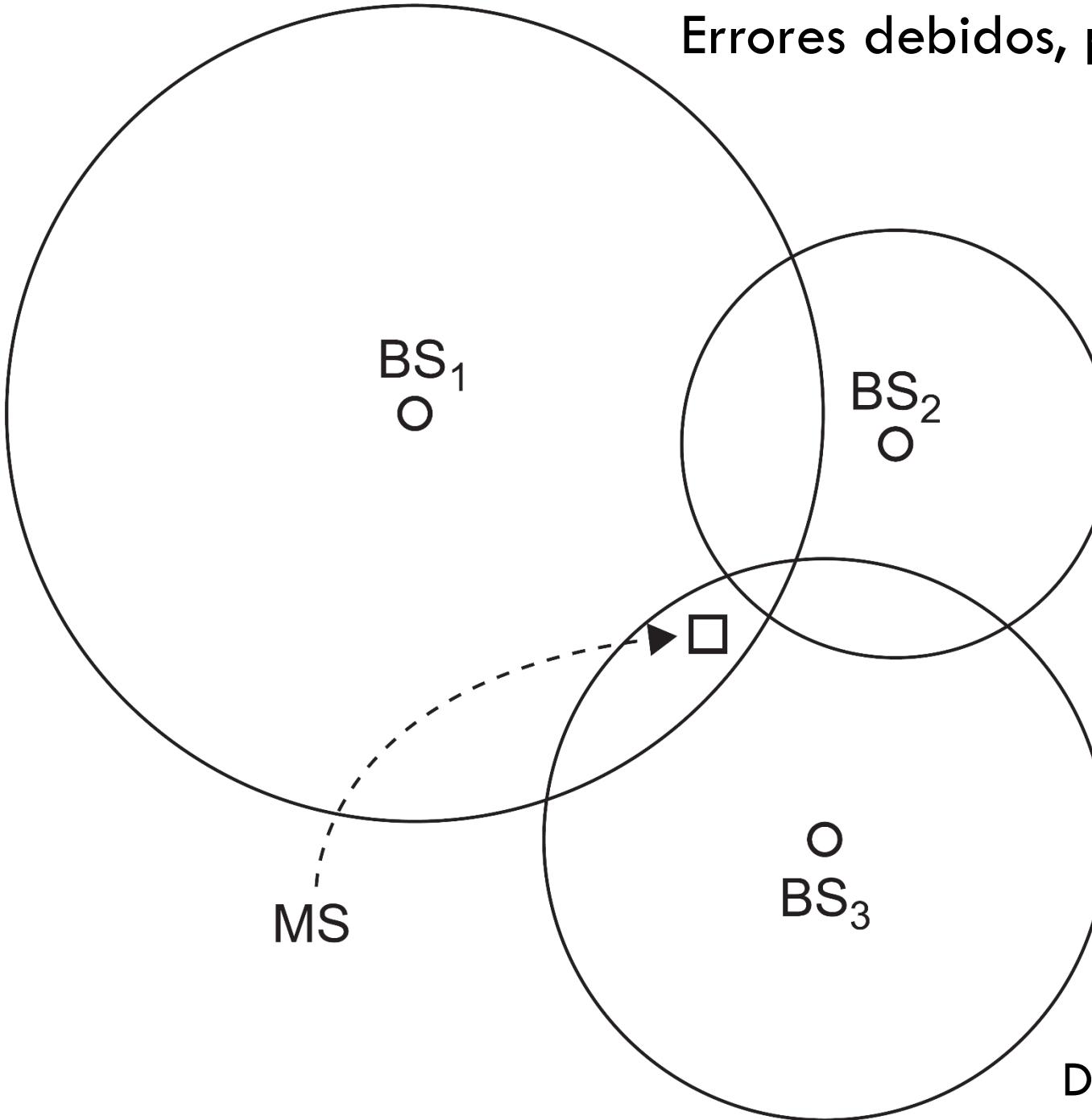
La potencia recibida varía con la distancia, de acuerdo al coeficiente de propagación  $\gamma$

$n_{sh} \sim N(0, \sigma^2)$  modela shadowing (variaciones lentas debido a obstáculos que modifican la potencia recibida por absorción, reflexión, difracción y scattering).



Dardari et al. (2012)

RSSI



Dardari et al. (2012)

# RSSI: MUNDO REAL

Mediciones hechas con COTS, no instrumentos específicos

No hay garantía de exactitud ni precisión  
¡Ni siquiera una escala continua!

El ambiente cambia

La ocupación no es la misma de día, que de noche o durante el fin de semana  
Los “muebles”... bueno, se mueven  
La orientación de la antena cambia (teléfono en el bolsillo vs. al oído vs. sobre a mesa)

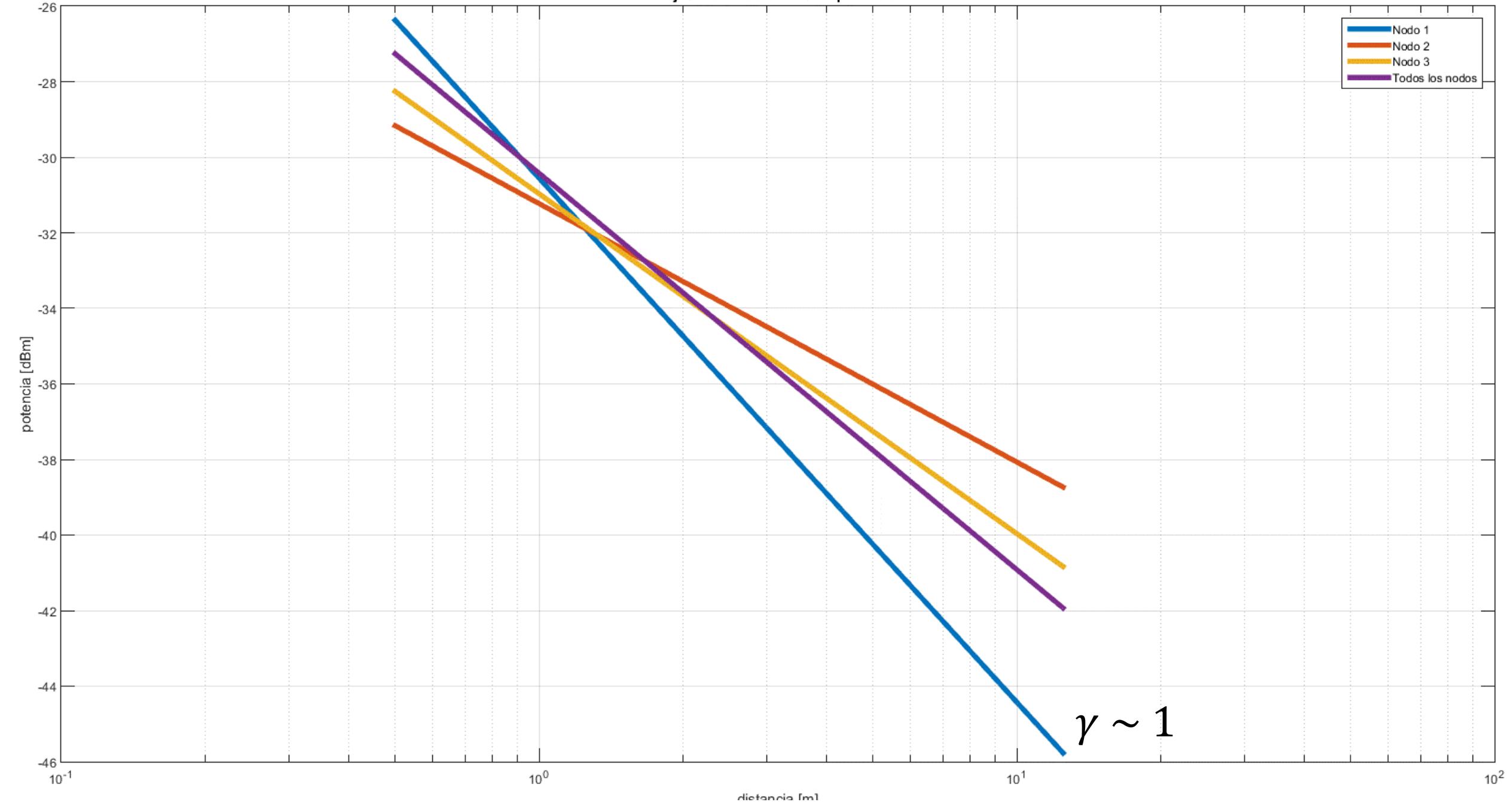
# RSSI: MEDICIONES



Daniel Parisi

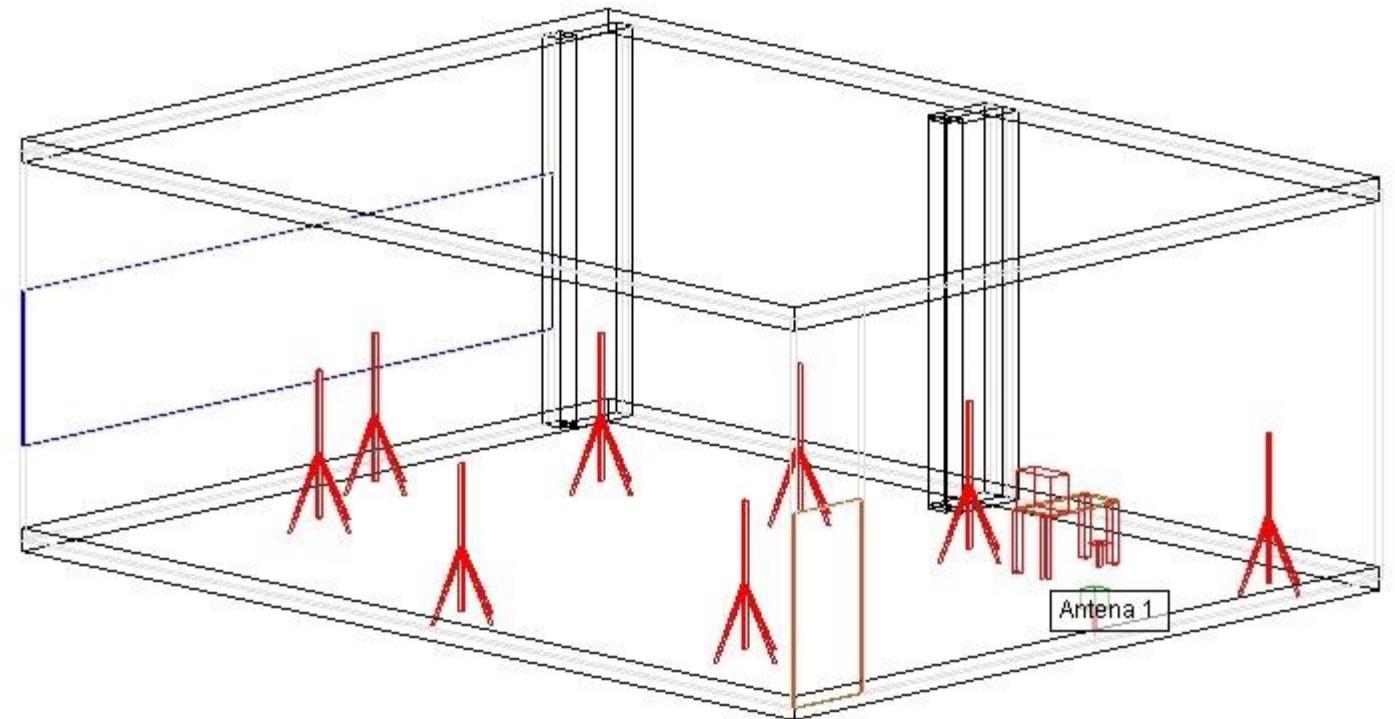


### Ajuste de mediciones de potencia

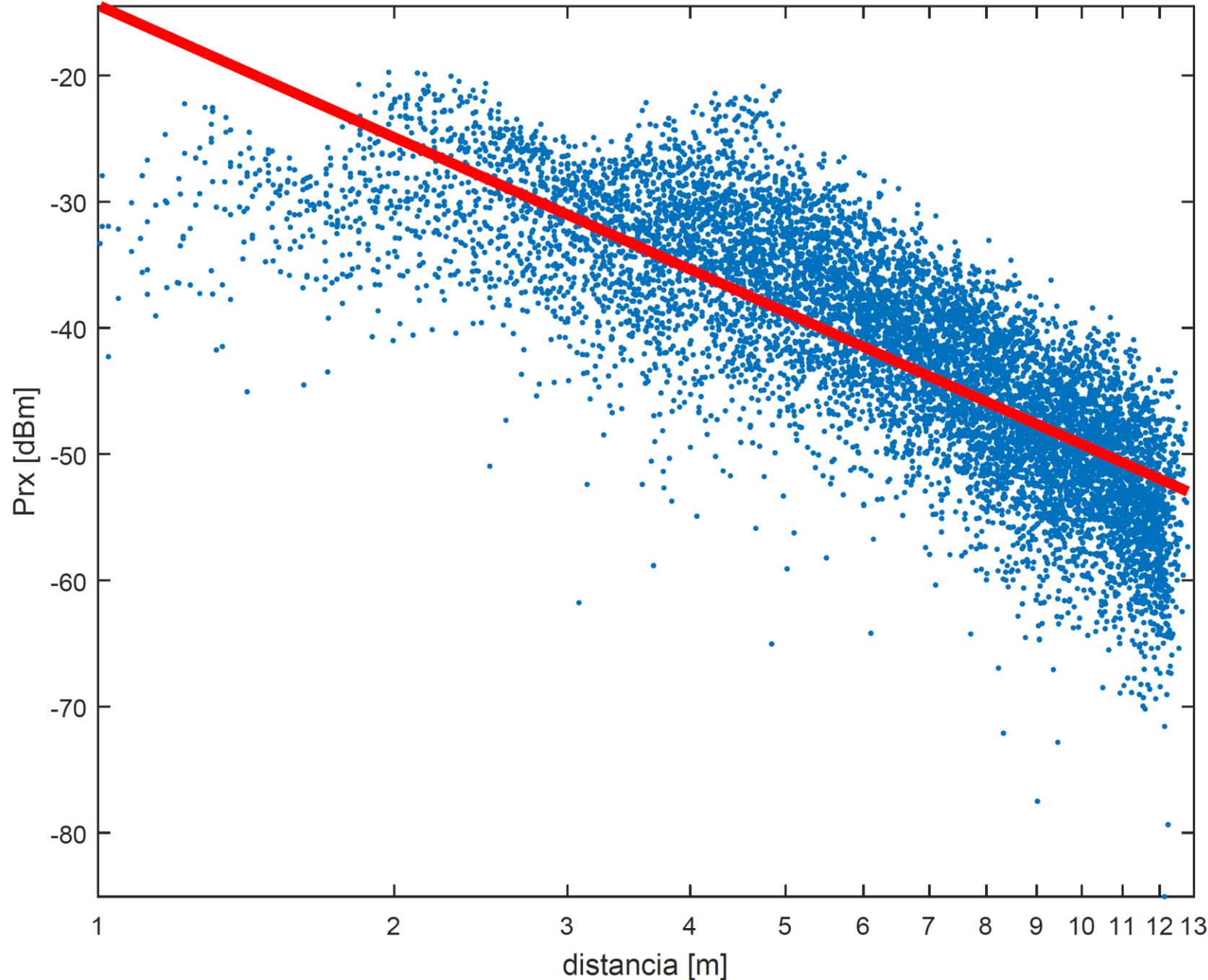


# RSSI: ¿SE PUEDE PREDECIR?

Modelado con  
Wireless Insite de  
Remcom

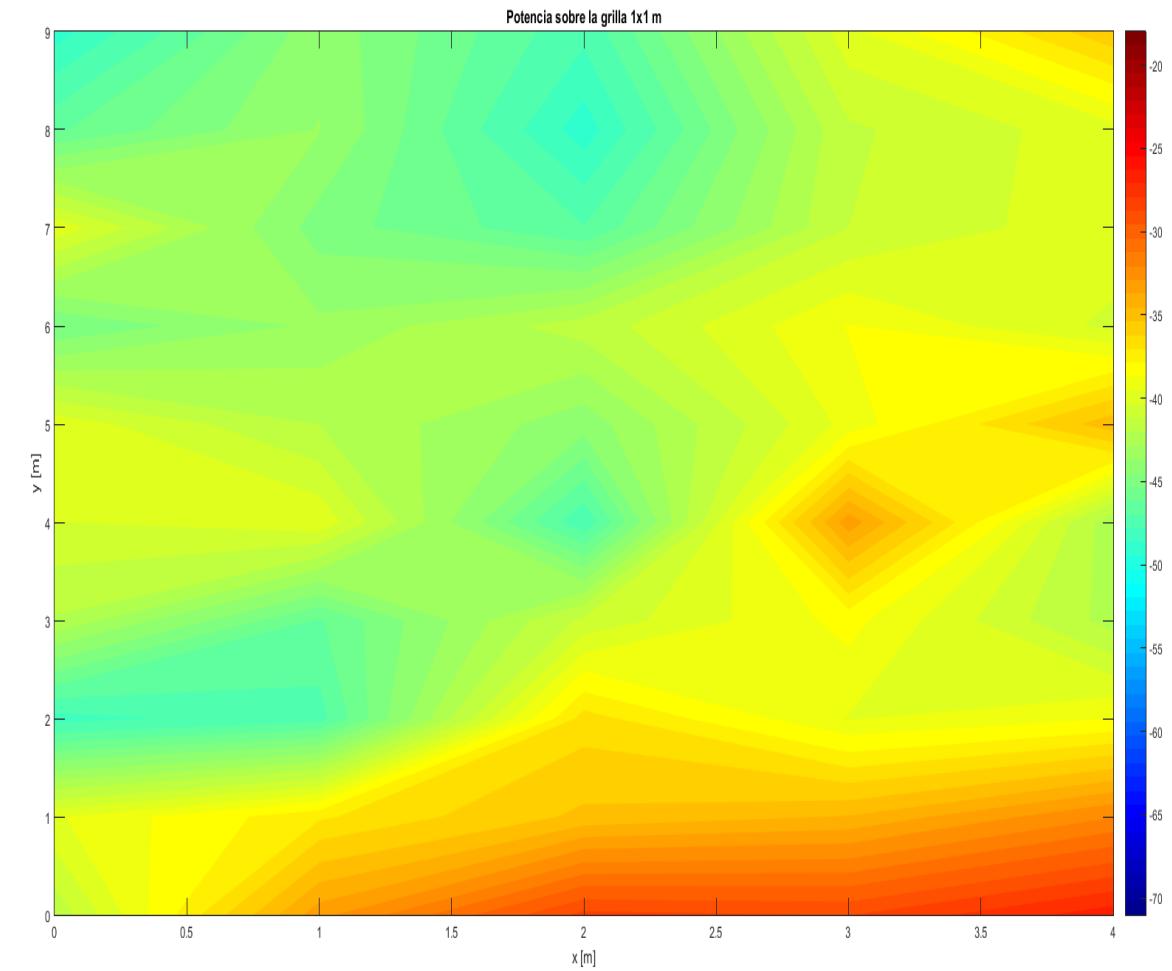
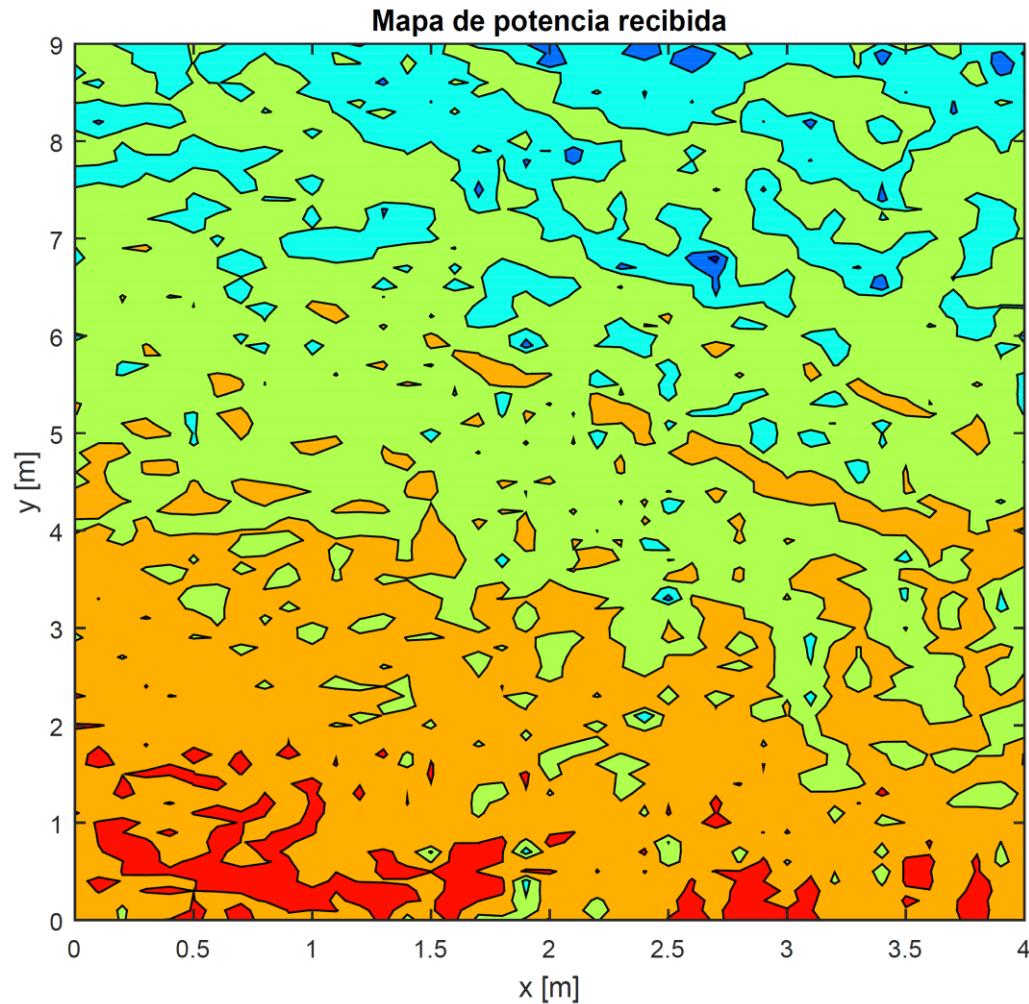


## Potencia vs. distancia



Parece presentar 2 pendientes  
Con pendiente simple  $\sim 2$   
Las mediciones dieron  $\sim 1$

# RSSI: ¿SE PUEDE PREDECIR?



# FINGERPRINT

La idea es hacer un relevamiento (*offline*) de la zona donde se hará el posicionamiento

En cada punto relevado se obtiene una “huella”: puntos de acceso vistos y potencia recibida de cada uno, etc.



# REGRESIÓN

Se releva un número limitado de posiciones

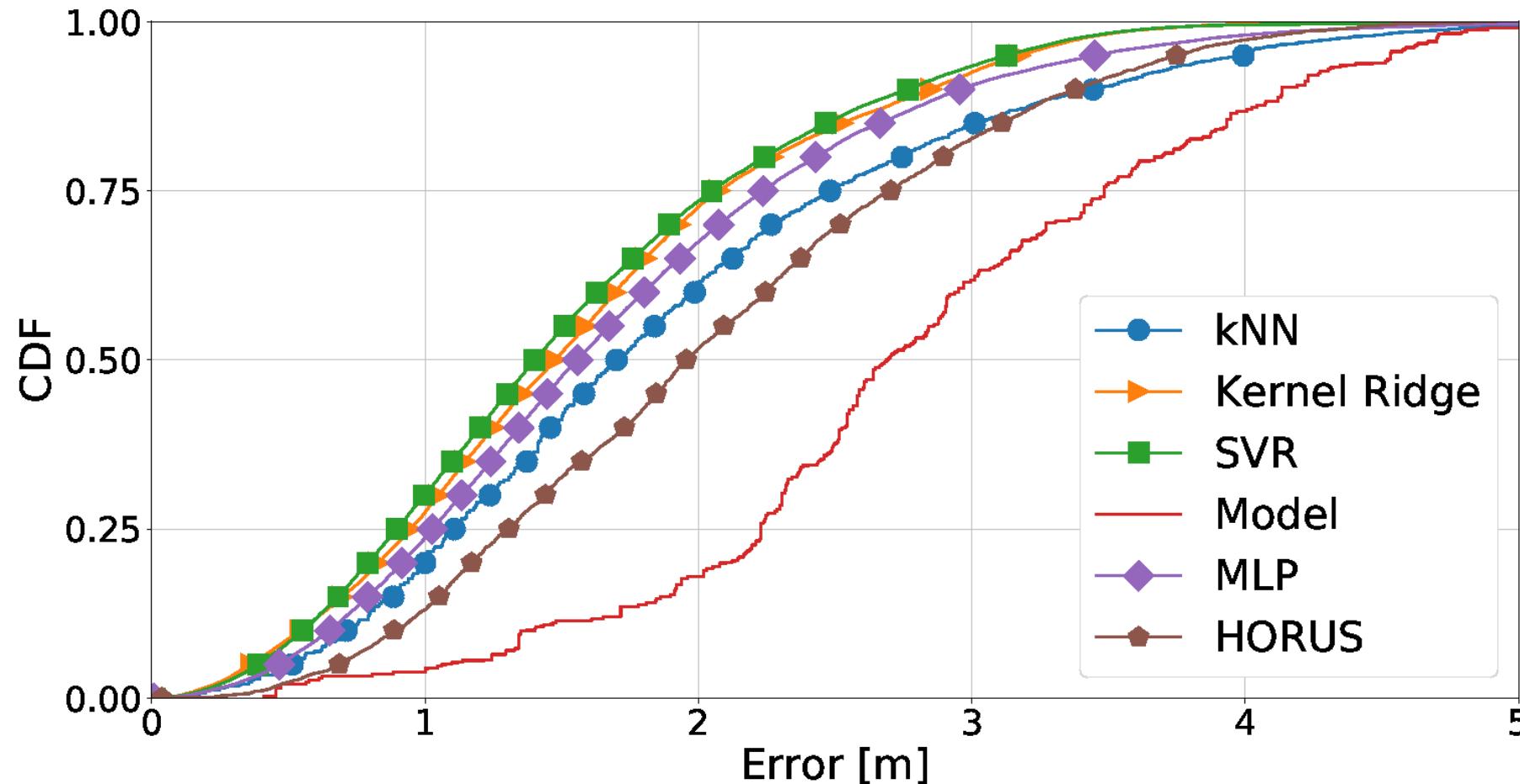
Las condiciones cambian

La nueva huella no coincide con ninguna en la base de datos

Inferimos la posición a partir de la base de datos

Un problema de regresión

# INFLUENCIA DEL ALGORITMO



# COMBINACIÓN CON OTROS SENSORES

Casi todo smartphone tiene un sensor de campo magnético

El campo magnético se ve afectado por características constructivas (por ej., adentro de un ascensor, junto a una columna, etc.)

Li et al., *IPIN* (2012)

Subbu et al., *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology* (2013)

Xie et al., *ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing* (2014)

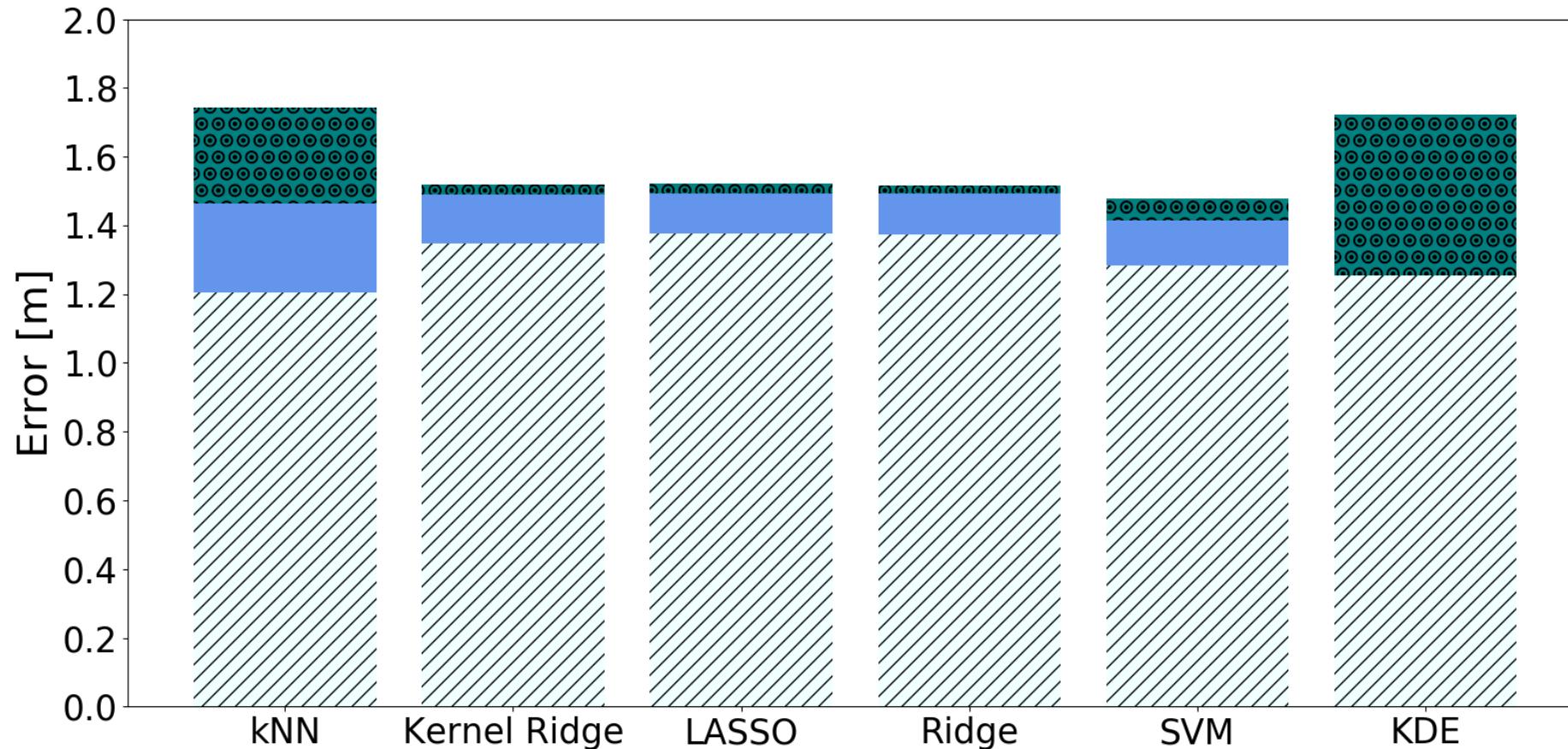
Bai et al., *IPIN* (2016)

Torres-Sospedra et al., *Mobile Information Systems* (2016)

Liu et al., *IEEE International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications* (2017)

Grisales Campeón et al., *CACIDI* (2018)

# COMBINACIÓN CON OTROS SENSORES



Sólo RSSI – Norma del campo – Tres componentes del campo

# TOA: TIME-OF-ARRIVAL



$$\tau = t_2 - t_1$$

$$d = c \times \tau$$

# TOA: TIME-OF-ARRIVAL

A mayor ancho de banda, mejor      Dardari et al. (2012)

Multipath fading      Li & Pahlavan, IEEE Transactions on Wireless Communications (2004)

Aumenta el error en la estimación – se “ensancha” temporalmente

## NLOS

Si atraviesa materiales distintos, la velocidad de la luz cambia

Si no hay camino directo (reflexiones, difracciones), no se puede estimar sencillamente la distancia por el retraso

Una alternativa es reconocer que se está en situación de NLOS

# TOA: TIME-OF-ARRIVAL

Nuevo estándar WiFi incluye medición de tiempos

En su forma más reciente, la precisión nominal es de 1 ns (30 cm)

Fine Time Measurement - IEEE 802.11(Rev. 2016)

IEEE 802.11az

Ibrahim et al., *Proceedings of the 24th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*. ACM, 2018.

# TOA: TIME-OF-ARRIVAL

Problemas de reloj

Offset: hay una diferencia entre el tiempo medido por cada nodo



$$t_{1,A} = t_1 + \varphi_A$$

$$t_{2,B} = t_2 + \varphi_B$$

$$\tau_{\text{obs}} = t_{2,B} - t_{1,A}$$

$$\hat{d} = d + c \times (\varphi_B - \varphi_A)$$

# TOA: TIME-OF-ARRIVAL

Problemas de reloj

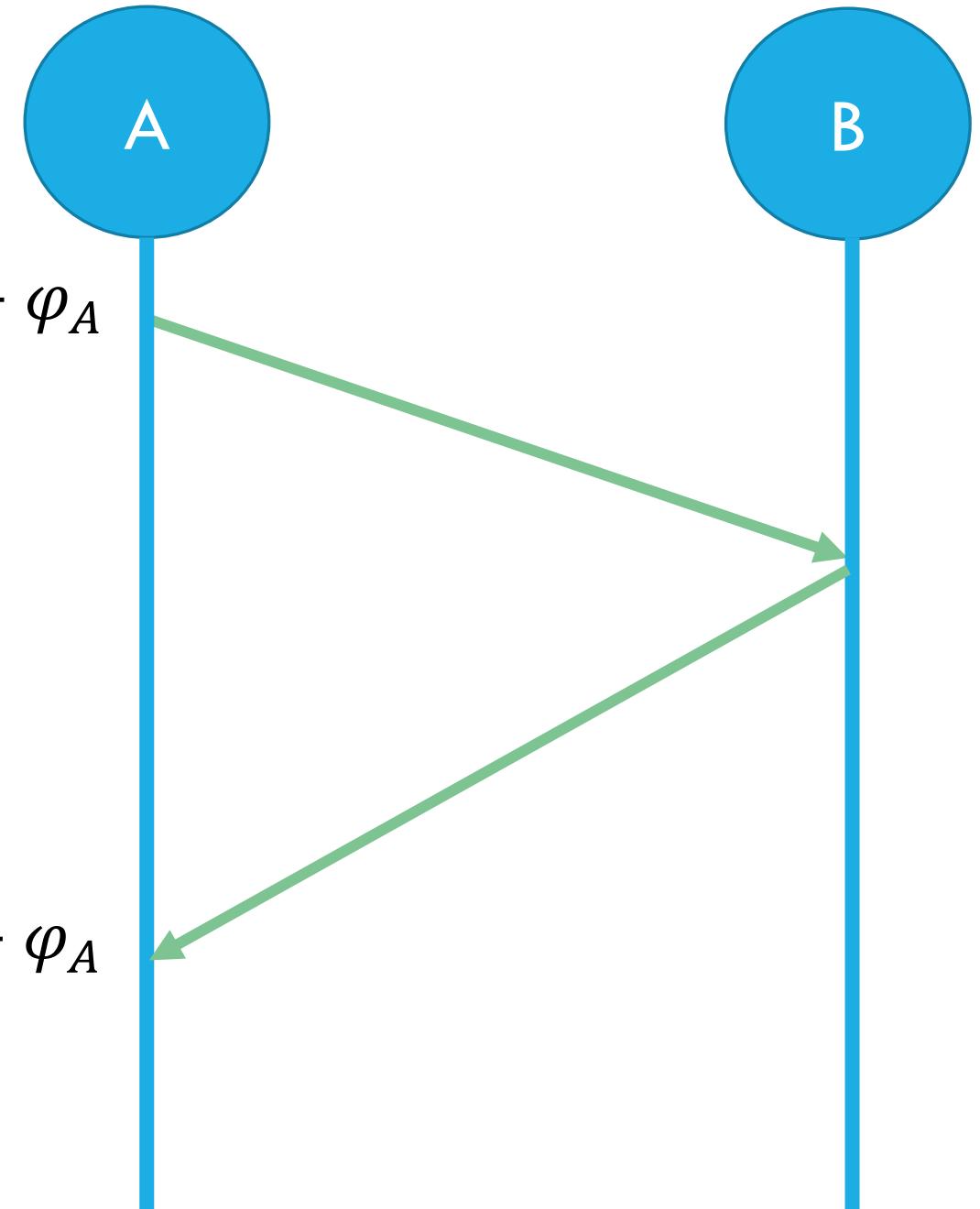
Offset: 2 way

$$\tau_{\text{obs}} = t_{2,A} - t_{1,A}$$

$$\hat{d} = c \times \frac{\tau_{\text{obs}}}{2} = d$$

$$t_{1,A} = t_1 + \varphi_A$$

$$t_{2,A} = t_2 + \varphi_A$$



# TOA: TIME-OF-ARRIVAL

$$t_{1,A} = \omega_A t_1 + \varphi_A$$

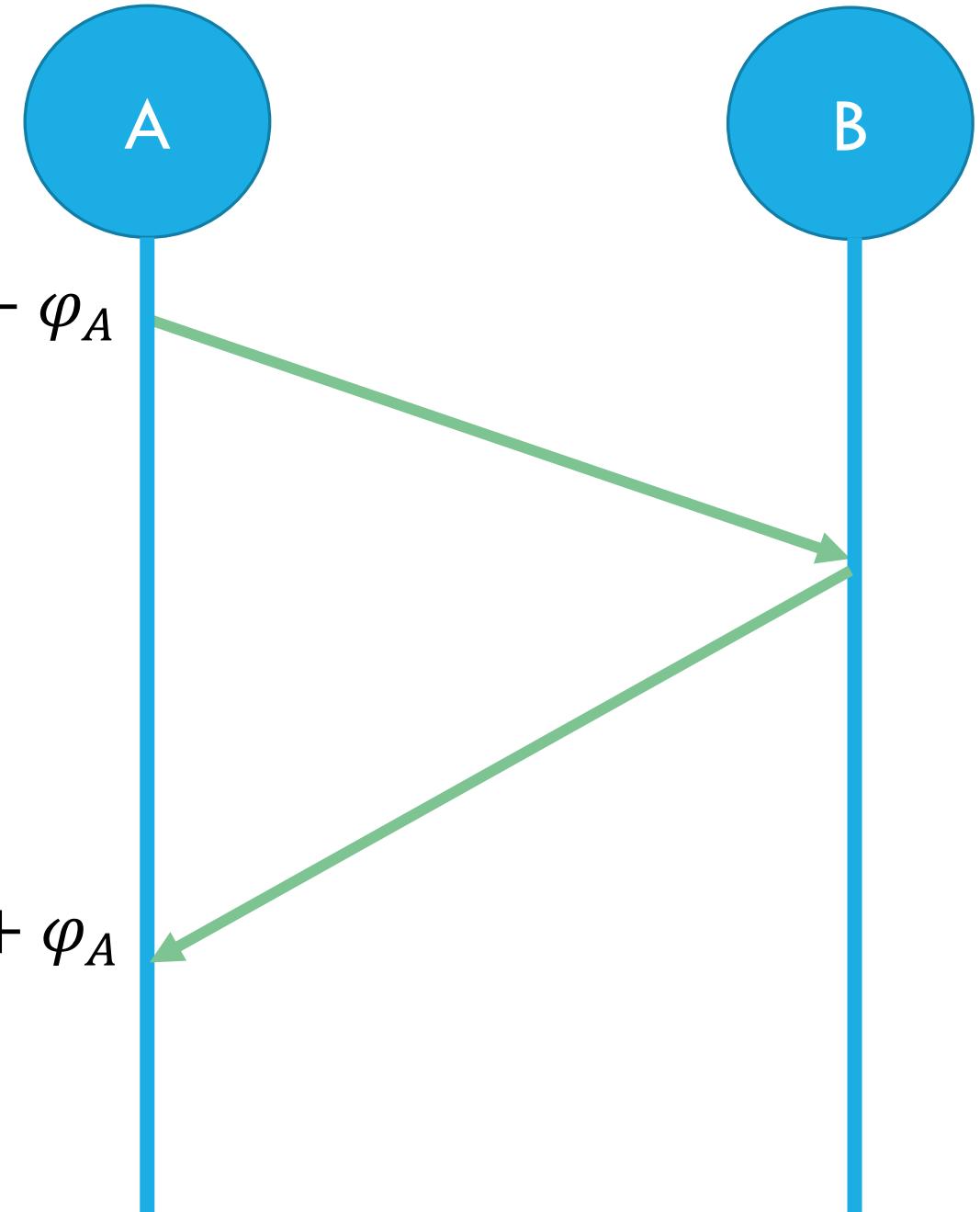
Problemas de reloj

Skew/drift: 2 way

$$\tau_{\text{obs}} = t_{2,A} - t_{1,A}$$

$$\hat{d} = \omega_A d$$

$$t_{2,A} = \omega_A t_2 + \varphi_A$$



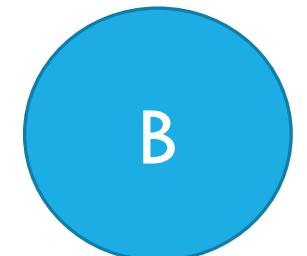
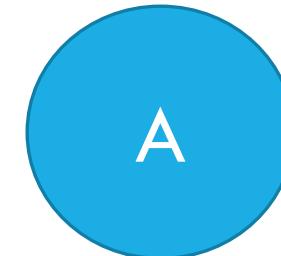
# TOA: TIME-OF-ARRIVAL

Problemas de reloj

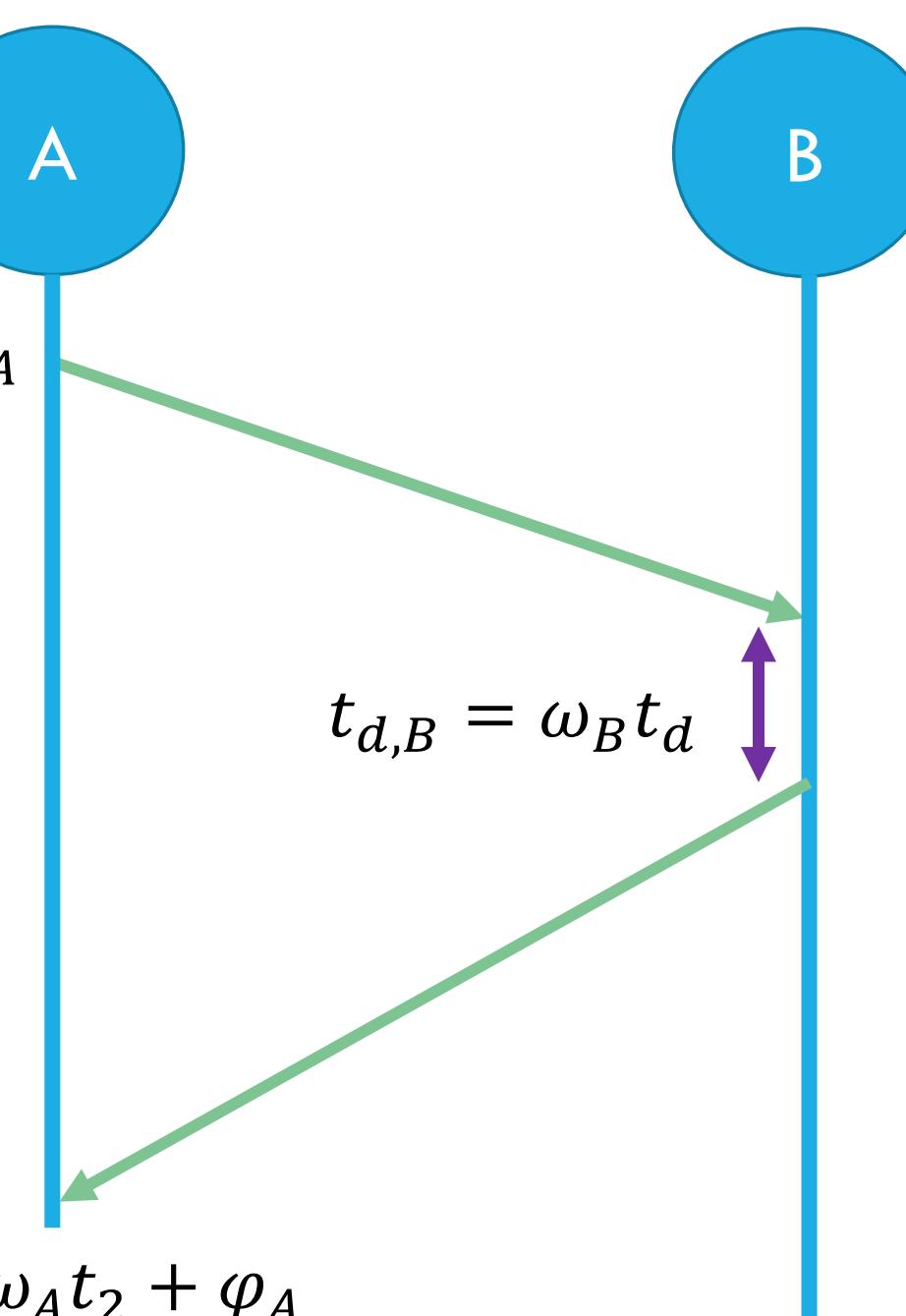
Skew/drift: 2 way

$$t_{1,A} = \omega_A t_1 + \varphi_A$$

$$t_{2,A} = \omega_A t_2 + \varphi_A$$

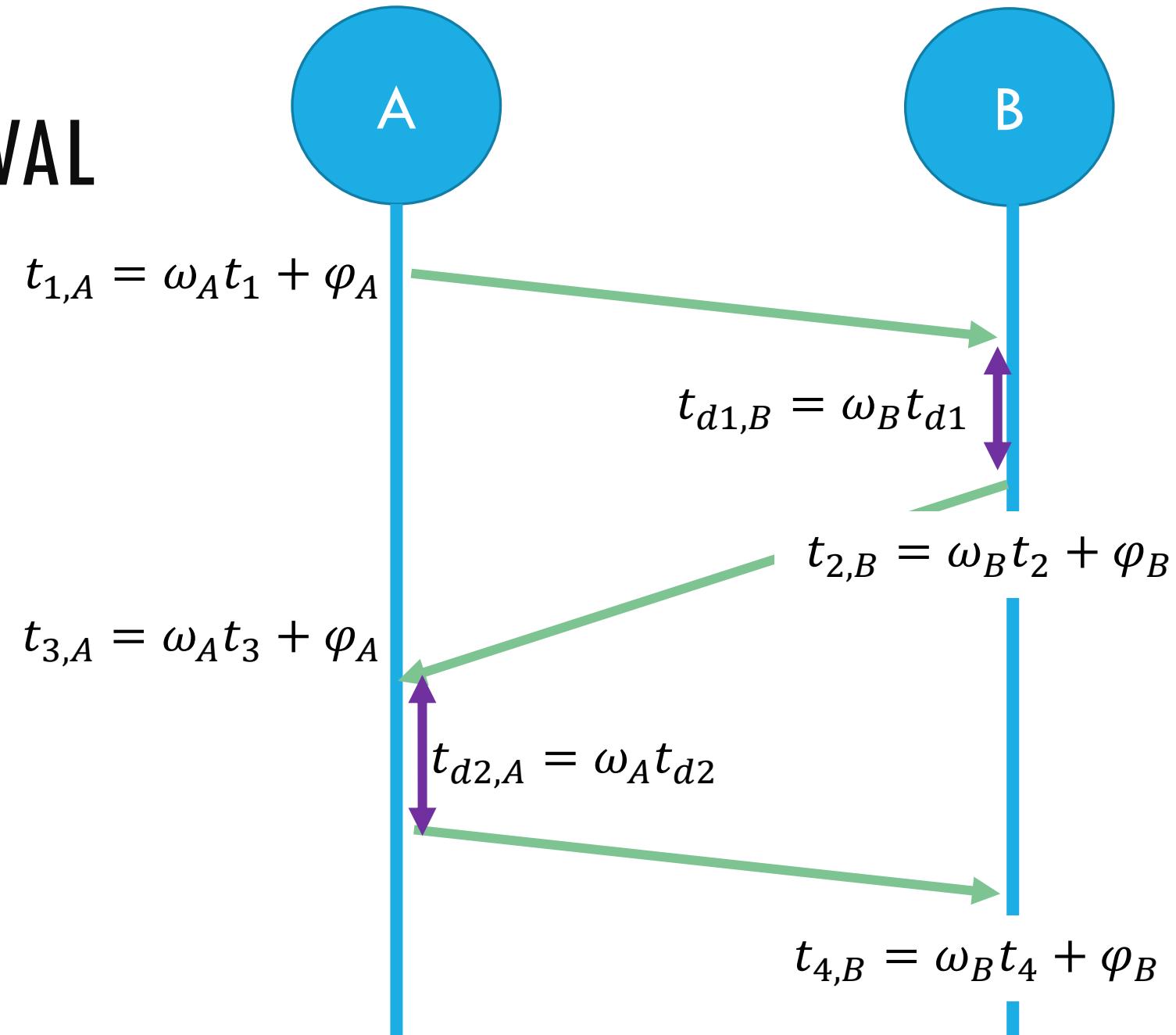


$$t_{d,B} = \omega_B t_d$$



# TOA: TIME-OF-ARRIVAL

Double 2 way (patentado)



# TOA: TIME-OF-ARRIVAL

2 way

$$\hat{d} - d \approx c \times \frac{(\omega_A - \omega_B)}{2} t_d$$

Double 2 way (patentado)

$$\hat{d} - d \approx c \times \frac{(\omega_A - \omega_B)}{4} (t_{d2} - t_{d1})$$

# TOA: TIME-OF-ARRIVAL

## Problemas de reloj

¿Se pueden estimar el offset y el skew?

Sí, se pueden estimar junto con las distancias

Rajan & van der Veen, *IEEE Transactions on Signal Processing* (2015)

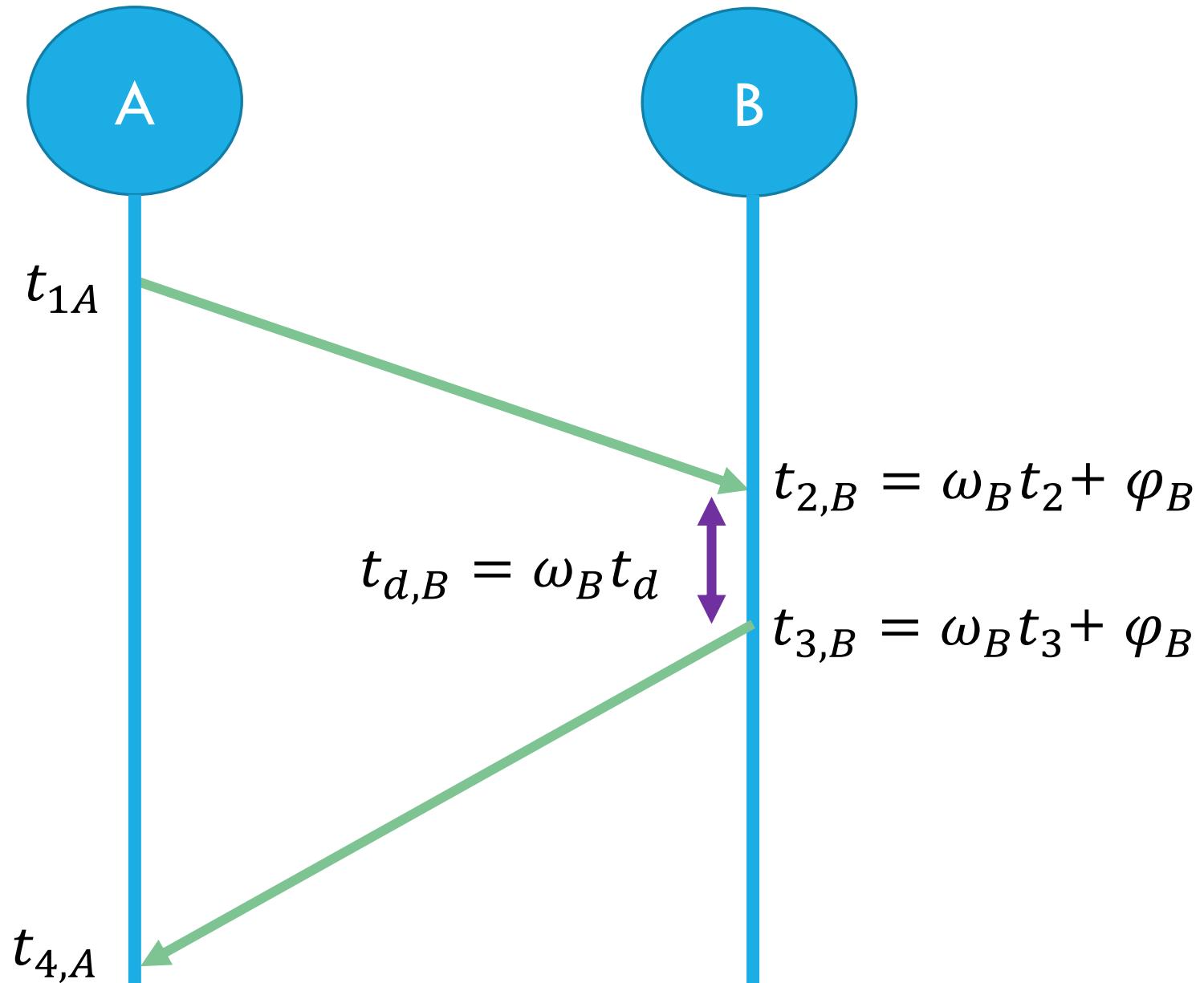
Sí, se pueden estimar junto con la posición y la velocidad

Grisales Campeón & Fierens, *Computer Networks* (2021)

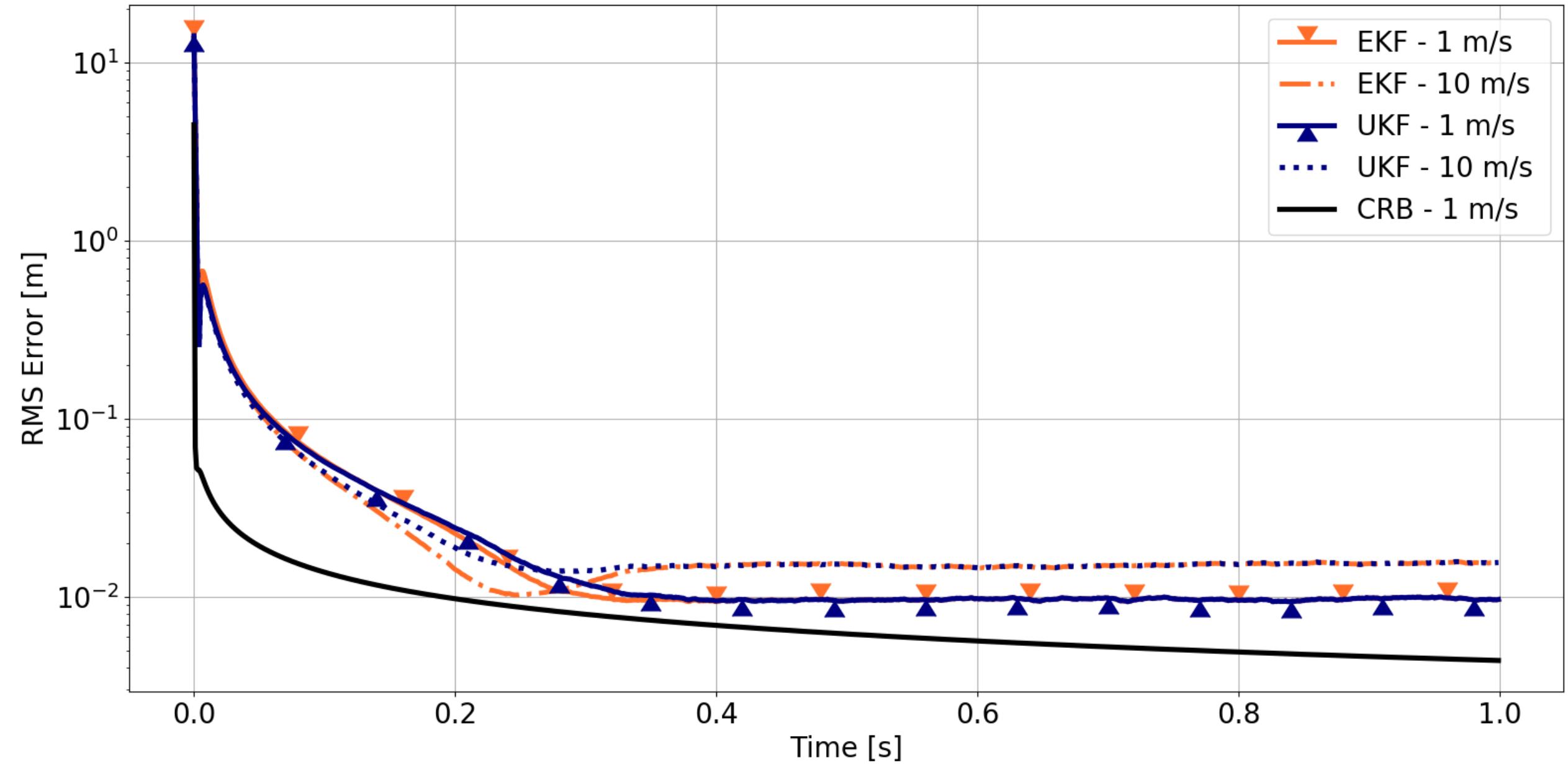
- ✓ Un móvil con reloj imperfecto
- ✓ Nodos de ref. sincronizados
- ✓ Errores de medición en todos
- ✓  $t_d$  conocido
- ✓ Observaciones:

$$t_{2,B}$$

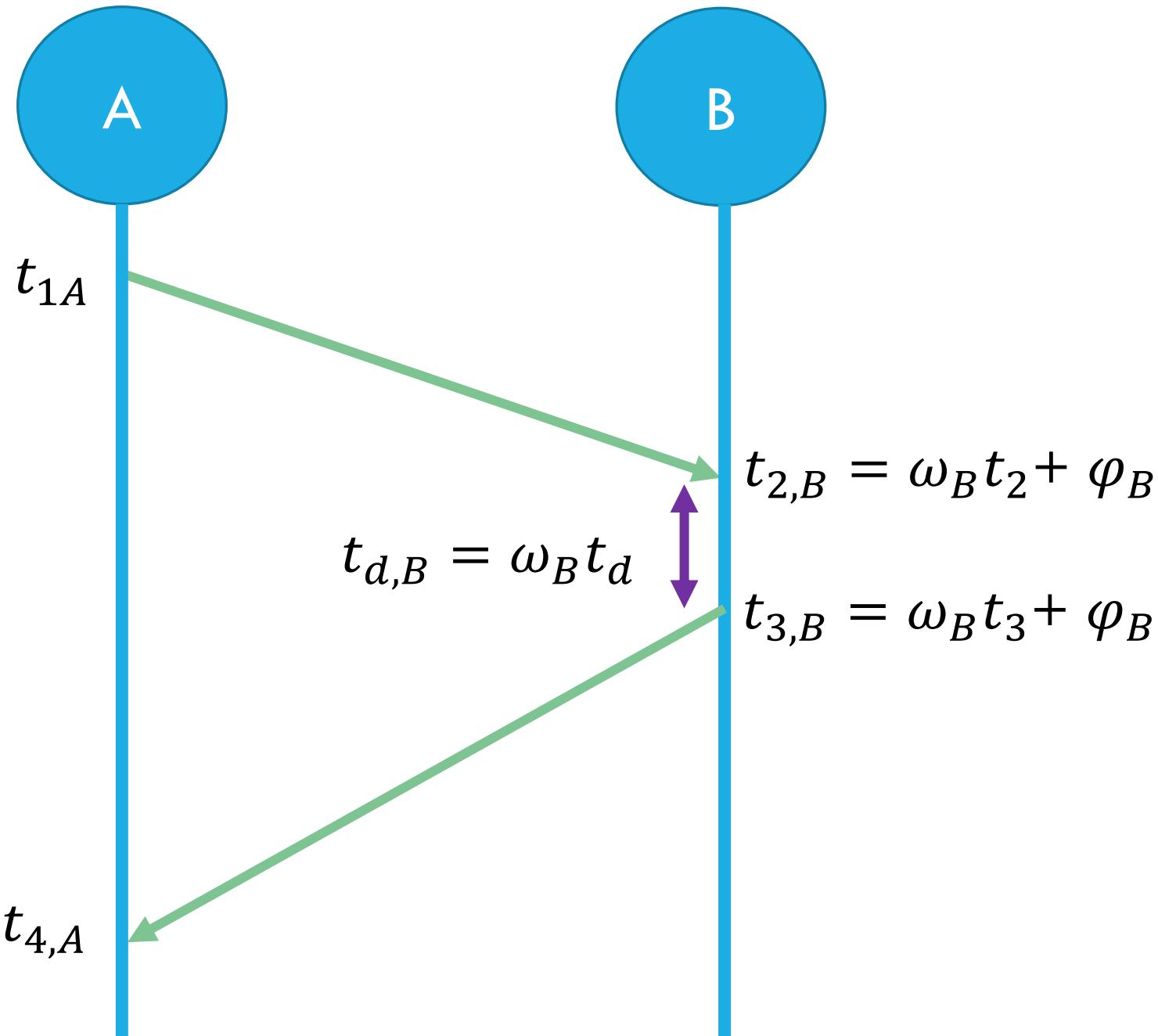
$$\tau_{\text{obs}} = t_{4,A} - t_{1,A} - t_d$$

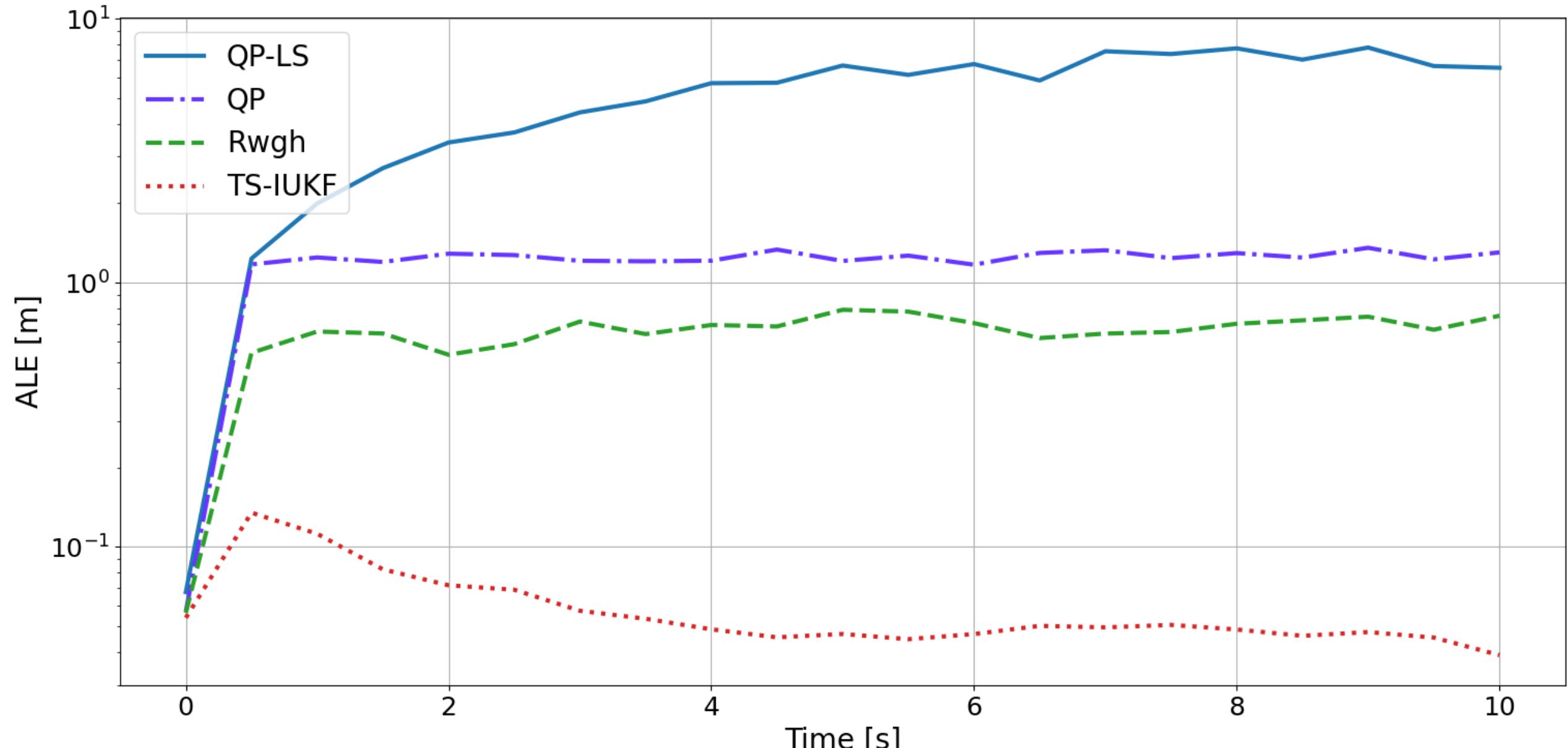


- ✓ No-lineal: Extended Kalman Filter & Unscented Kalman Filter



- ✓ En caso de NLOS, hay un error no-negativo: no es la misma condición para todos
- ✓ Se puede intentar detectar NLOS
- ✓ Se puede incorporar información extra
- ✓ ¿Se pueden estimar la posición, velocidad, skew y offset?





Grisales Campeón & Fierens (enviado)

**¡GRACIAS!**

---



# REFERENCIAS

- Langlois, Christopher, Saideep Tiku, and Sudeep Pasricha. "Indoor localization with smartphones: Harnessing the sensor suite in your pocket." *IEEE Consumer Electronics Magazine* 6.4 (2017): 70-80.
- Decawave. "DWM1000 Datasheet", v. 1.7 (2016).
- Liu, Ying, et al. "Prospective positioning architecture and technologies in 5G networks." *IEEE Network* 31.6 (2017): 115-121.
- Cupillard, Frédéric, Francois Bremond, and Monique Thonnat. "Tracking groups of people for video surveillance." *Video-Based Surveillance Systems*. Springer, Boston, MA, 2002. 89-100.
- Goldsmith, Andreas. *Wireless Communications*. Cambridge University Press, 2005.
- Dardari, Davide, Emanuela Falletti, Marco Luise (Eds.). *Satellite and Terrestrial Radio Positioning Techniques, A Signal Processing Perspective*. Academic Press, 2012.

# REFERENCIAS

Wang, Jules. [Update: Toggle arrives in Q Beta 5] Android started heavily throttling Wi-Fi scanning in Pie, Google confirms it's here to stay.

<https://www.androidpolice.com/2019/07/10/android-started-heavily-throttling-wi-fi-scanning-in-pie-google-confirms-its-here-to-stay/>

Accedido 14/10/2019.

Li, Xinrong, and Kaveh Pahlavan. "Super-resolution TOA estimation with diversity for indoor geolocation." *IEEE Transactions on Wireless Communications* 3.1 (2004): 224-234.

Decawave. APS011 Application Note. Sources of Error in DW1000 Based Two-way Ranging (TWR) Schemes. Version 1.1. 2014.

Rajan, Raj Thilak, and Alle-Jan van der Veen. "Joint ranging and synchronization for an anchorless network of mobile nodes." *IEEE Transactions on Signal Processing* 63.8 (2015): 1925-1940.

# REFERENCIAS

"IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks—Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications". "IEEE Std 802.11-2016 (Revision of IEEE Std 802.11-2012)", pages 1–3534, Dec 2016.

IEEE P802.11 – Task Group AZ. *Status of IEEE 802.11az*. [http://www.ieee802.org/11/Reports/tgaz\\_update.htm](http://www.ieee802.org/11/Reports/tgaz_update.htm). Accedido 14/10/2019.

Ibrahim, Mohamed, et al. "Verification: Accuracy evaluation of WiFi fine time measurements on an open platform." *Proceedings of the 24th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*. ACM, 2018.

Banin, Leor, et al. "High-Accuracy Indoor Geolocation using Collaborative Time of Arrival (CToA)-Whitepaper." *IEEE 802* (2017): 17.

Li, Xinrong, et al. "Comparison of indoor geolocation methods in DSSS and OFDM wireless LAN systems." *Vehicular Technology Conference Fall 2000. IEEE VTS Fall VTC2000. 52nd Vehicular Technology Conference (Cat. No. 00CH37152)*. Vol. 6. IEEE, 2000.

# REFERENCIAS

- Niculescu, Dragoș, and Badri Nath. "VOR base stations for indoor 802.11 positioning." *Proceedings of the 10th annual international conference on Mobile computing and networking*. ACM, 2004.
- Xiong, Jie, and Kyle Jamieson. "Arraytrack: A fine-grained indoor location system." Presented as part of the 10th {USENIX} Symposium on Networked Systems Design and Implementation ({NSDI} 13). 2013.
- Kotaru, Manikanta, et al. "Spotfi: Decimeter level localization using wifi." *ACM SIGCOMM computer communication review*. Vol. 45. No. 4. ACM, 2015.
- Ding, Haichuan, and Kang G. Shin. "Accurate Angular Inference for 802.11 ad Devices Using Beam-Specific Measurements." *arXiv preprint arXiv:1907.10560* (2019).
- Kang, Hyunduk, et al. "Coexistence between 802.22 and 802.11 af over TV white space." *ICTC 2011*. IEEE, 2011.

# REFERENCIAS

- Grisales Campeón, JP, et al. "Indoor Positioning based on RSSI of WiFi signals: how accurate can it be?." *2018 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*. IEEE, 2018.
- Li, Binghao, et al. "How feasible is the use of magnetic field alone for indoor positioning?." *2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*. IEEE, 2012.
- Subbu, Kalyan Pathapati, Brandon Gozick, and Ram Dantu. "LocateMe: Magnetic-fields-based indoor localization using smartphones." *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)* 4.4 (2013): 73.
- Xie, Hongwei, et al. "MaLoc: A practical magnetic fingerprinting approach to indoor localization using smartphones." *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*. ACM, 2014.
- Bai, Yuntian Brian, Tao Gu, and Andong Hu. "Integrating Wi-Fi and magnetic field for fingerprinting based indoor positioning system." *2016 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*. IEEE, 2016.
- Torres-Sospedra, Joaquín, et al. "Providing databases for different indoor positioning technologies: Pros and cons of magnetic field and Wi-Fi based positioning." *Mobile Information Systems* 2016 (2016).

# REFERENCIAS

- Liu, Ran, et al. "Indoor positioning using similarity-based sequence and dead reckoning without training." *2017 IEEE 18th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)*. IEEE, 2017.
- Grisales Campeón, JP, et al. "Fusion of magnetic and WiFi fingerprints for indoor positioning." *2018 Congreso Argentino de Ciencias de la Informática y Desarrollos de Investigación (CACIDI)*. IEEE, 2018.
- Sen, Souvik, et al. "Precise indoor localization using PHY layer information." *Proceedings of the 10th ACM Workshop on hot topics in networks*. ACM, 2011.
- Sen, Souvik, et al. "You are facing the Mona Lisa: Spot localization using PHY layer information." *Proceedings of the 10th international conference on Mobile systems, applications, and services*. ACM, 2012.
- Wu, Kaishun, et al. "CSI-based indoor localization." *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems* 24.7 (2012): 1300-1309.
- Wang, Xuyu, et al. "CSI-based fingerprinting for indoor localization: A deep learning approach." *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 66.1 (2016): 763-776.

# REFERENCIAS

Grisales Campeón, JP, Fierens, PI, "Joint position and clock tracking of wireless nodes." *Computer Networks* 197 (2021): 108296.