

5T

5G

5G
Networks

IoT

5G

Más allá de 5G

Dra. Josefina Castañeda Camacho

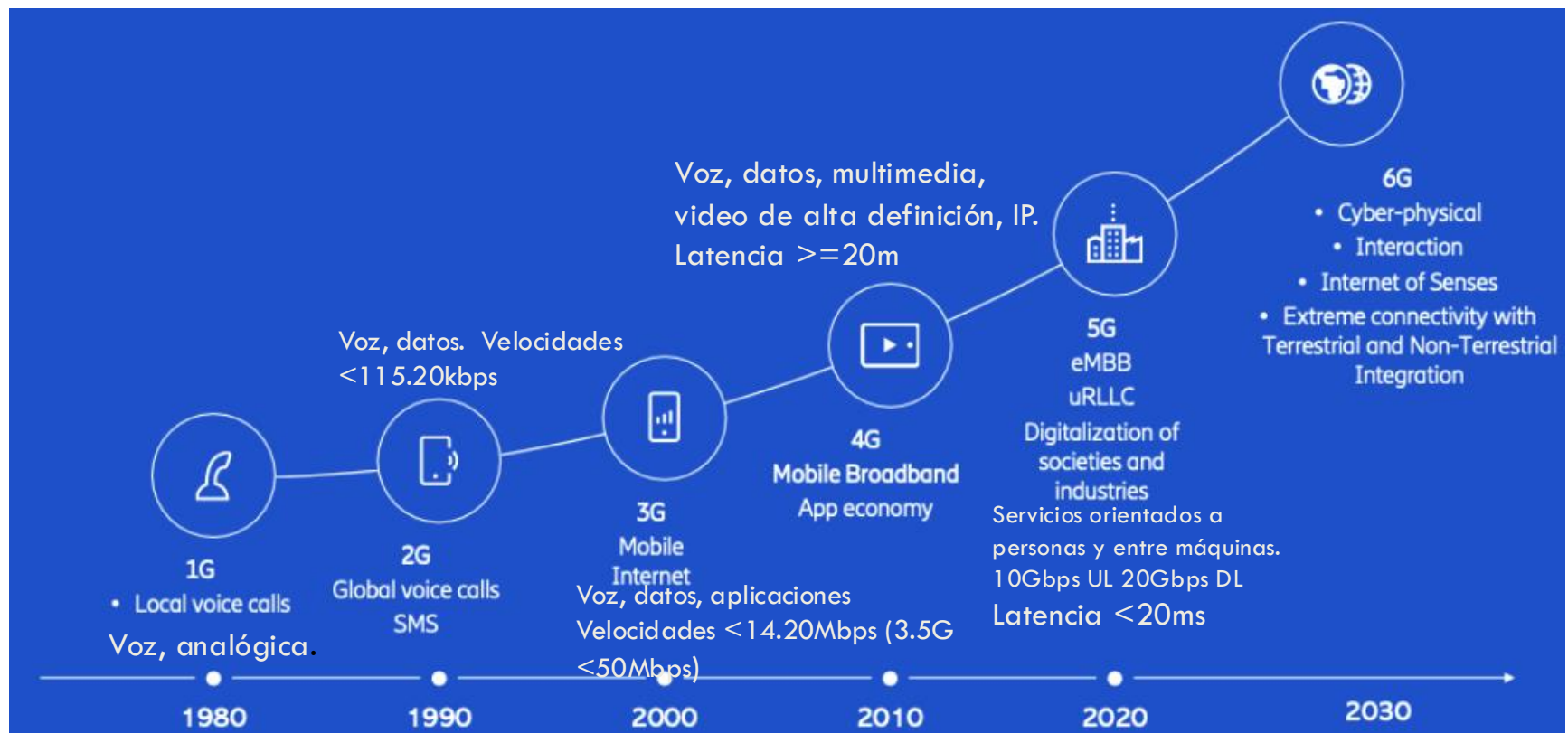
FCE BUAP

josefina.castaneda@correo.buap.mx

- 1. Pasado, presente y futuro*
- 2. Retos de la tecnología 5G y 6G*
- 3. Esquemas de acceso*
- 4. Esquema NOMA*
- 5. Sistemas de radio sobre fibra*
- 6. Modelado y simulación del Sistema RoF*
- 8. Líneas de interés*
- 9. Colaboradores y adscripción*

1. Pasado, presente y futuro

Desde la introducción de las redes 5G, la capacidad de conexión ha experimentado mejoras significativas en términos de velocidad, latencia, y conectividad masiva, impulsando aplicaciones innovadoras como el Internet de las Cosas (IoT).



eMBB (Enhanced Mobile Broadband)

URLLC (Ultra-Reliable Low Latency Communications) y **mMTC** (Massive Machine Type Communications)

	eMBB	uRLLC	mMTC
Objetivo Principal	Incremento de la velocidad y de la capacidad	Disminución de la latencia e incremento de la confiabilidad	Conexión de una gran cantidad de dispositivos IoT con eficiencia
1. Métricas de calidad			
Velocidad de transmisión	Muy alta GB	Media/Alta	Pequeños paquetes en intervalos largos
Latencia	Baja pero no crítica <100ms	Ultra baja <1ms	Tolerancia a la latencia
Confiabilidad	Media/Alta	Extremadamente alta	
Aplicaciones	Video 4K/8K, streaming, descargas rápidas	Vehículos autónomos, telemedicina, control industrial	Ciudades y agricultura inteligente, monitoreo industrial y gestión de recursos
Densidad de Usuarios	Alta	Baja	Alta

D. P. Moya Osorio *et al.*, "Towards 6G-Enabled Internet of Vehicles: Security and Privacy," in *IEEE*

Open Journal of the Communications Society, vol. 3, pp. 82-105, 2022, doi: 10.1109/OJCOMS.2022.3143098.

Josefina Castañeda Camacho

2. Retos de la tecnología 5G y 6G

Tecnología	Propósito	Aplicación
mmWave 2. Frecuencias de operación	>Ancho de Banda >Tasa de datos <Cobertura (limitada)	Zonas de alta densidad urbana Áreas interiores Estadios, centros comerciales
MIMO Masivo	>Eficiencia Espectral >Cantidad de Antenas >Capacidad y cobertura	Zonas de alta densidad urbana Áreas interiores Estadios, centros comerciales
Formación de Haz	>Direccionalidad >Eficiencia Espectral	Áreas urbanas donde existe mucha interferencia
Segmentación de red (Net Slicing)	>Optimización de recursos	Automóviles autónomos y redes IoT masivas
Full Duplex (Misma frecuencia)	>Eficiencia Espectral <Latencia	Comunicaciones en tiempo real
D2D y V2X (device to device, vehicle to everything) 3. Escenarios de interacción	<Latencia y <Ancho de banda	Comunicaciones dispositivo a dispositivo o dispositivo a infraestructura

M. Shafi et. al., "5G: A tutorial overview of standards, trials, challenges, deployment and practice," IEEE J. On Select. Areas Commun., Vol. 35, No. 6, pp. 1201-1221, 2017.

Josefina Castañeda Camacho

Esquema	Ventajas/Desventajas	Aplicación
OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)	>Eficiencia Espectral >Robustez a la interferencia y al fading	Enlaces de bajada eMBB (Ancho de banda mejorado)
SC-FDMA (Single Carrier FDMA) OFDMA de portadora única	>Eficiencia Energética	Enlace de subida por su menor demanda de potencia
NOMA (Non-orthogonal Multiple Access)	>Capacidad de Usuarios >Eficiencia Espectral	mMTC (Comunicaciones masivas)
FBMC (Filter Bank Multicarrier) Variante OFDMA con bancos de filtros	<Interferencia entre subportadoras >Eficiencia Espectral	Futuras aplicaciones
CSS	>Robustez a la interferencia >Cobertura <Consumo energético	lot Complemento 5G para mMTC (comunicaciones masivas)

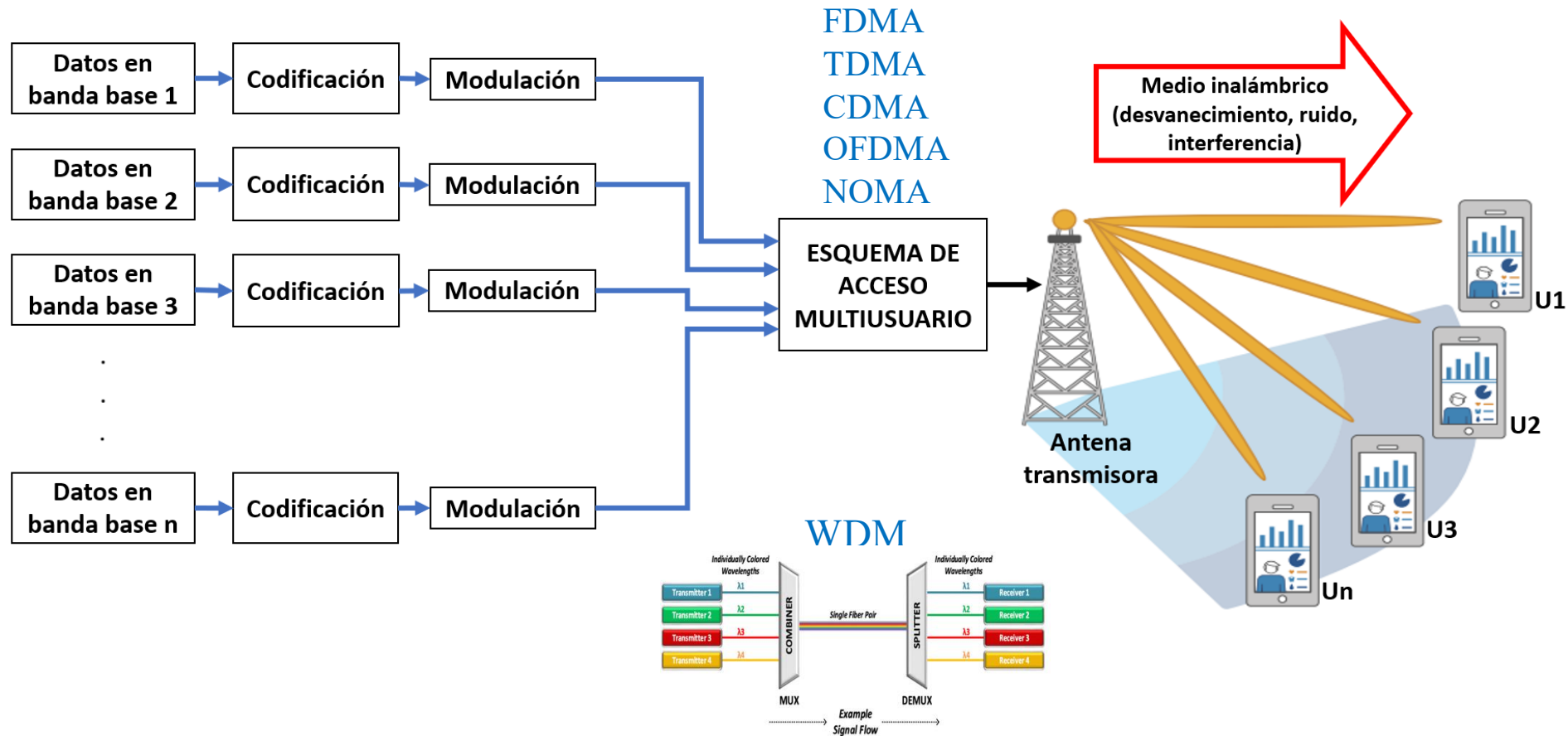
4. Esquemas de acceso

Y. Yang *et al.*, "6G Network AI Architecture for Everyone-Centric Customized Services," in *IEEE Network*, vol. 37, no. 5, pp. 71-80, Sept. 2023, doi: 10.1109/MNET.124.2200241.

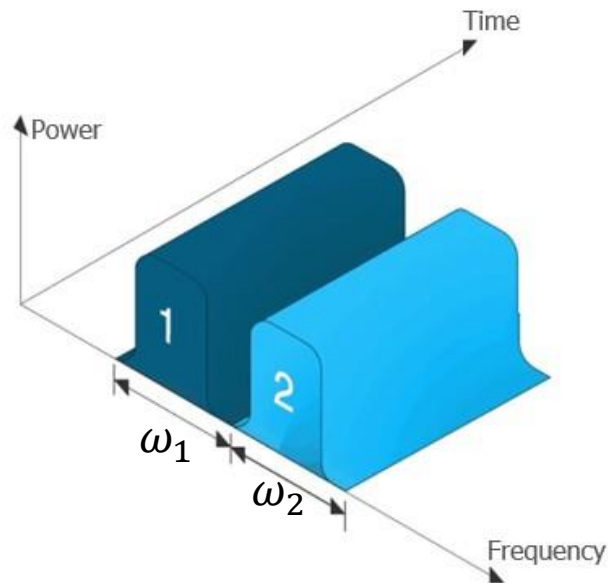
Josefina Castañeda Camacho

3. Esquemas de acceso

Un esquema de acceso multiusuario permite a múltiples señales integrarse en una sola para su transmisión simultánea.

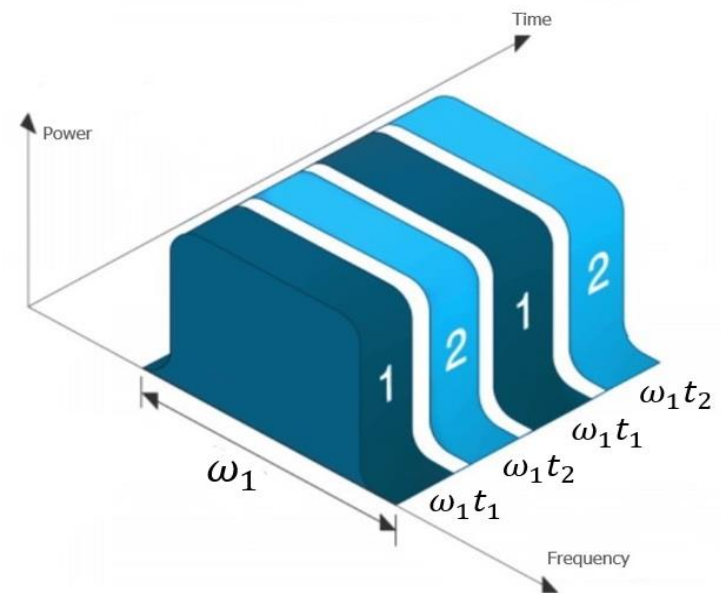


Acceso Múltiple por División de Frecuencia



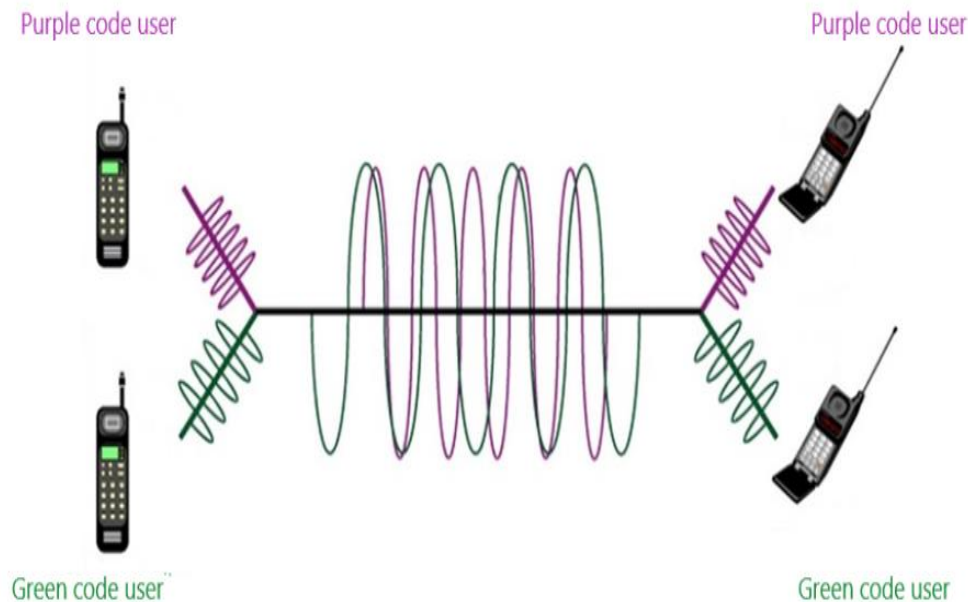
FDMA (1G, 1980's) : Asignación de una frecuencia por usuario

Acceso Múltiple por División de Tiempo

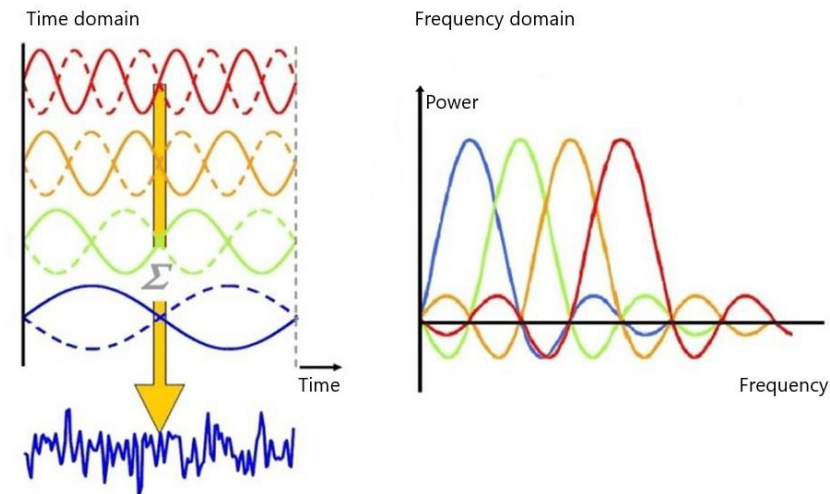


TDMA (2G, 1990's): Asignación de ranuras de tiempo, lo que permite múltiples usuarios por cada frecuencia.

Acceso Múltiple por División de Código

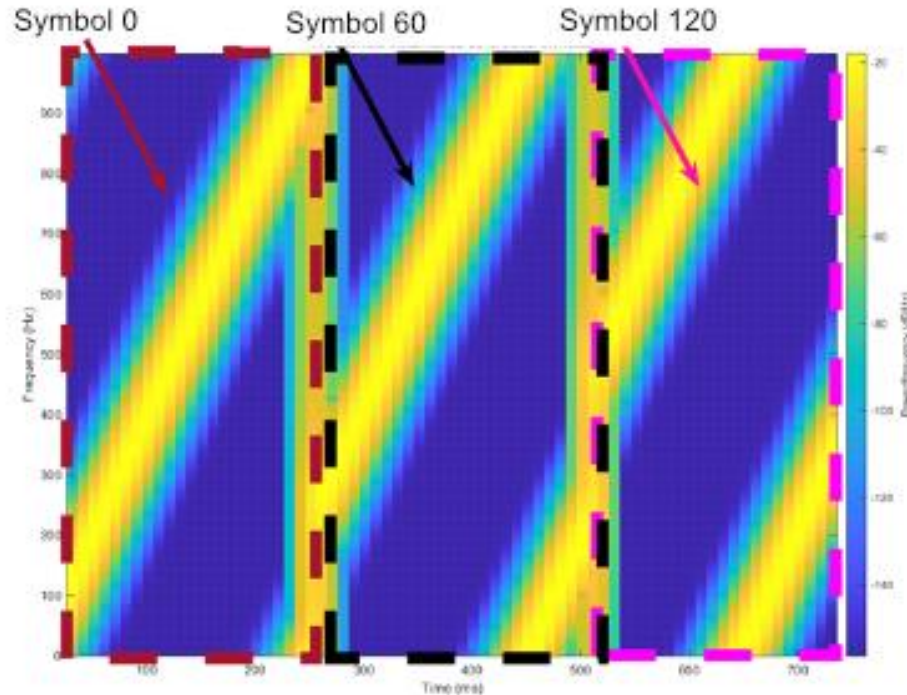


Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal



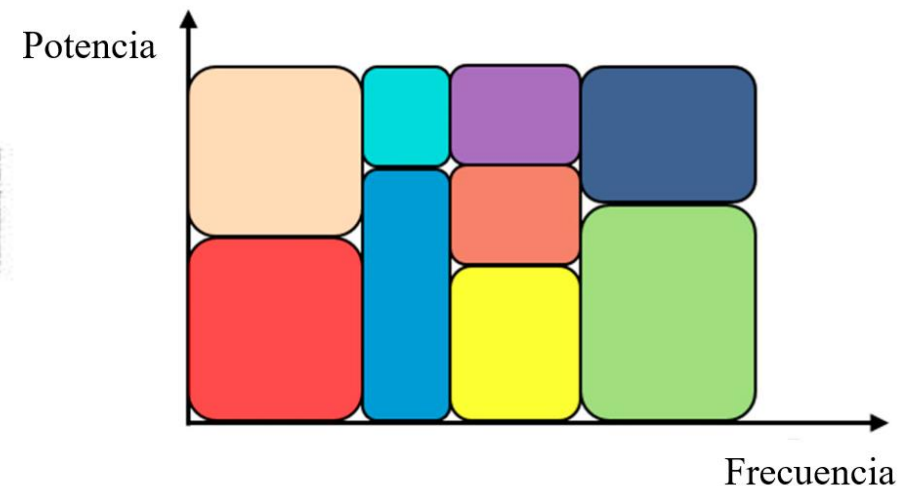
CDMA (2G,3G,4G 2000's): Un Código de identificación se asigna a cada usuario.

OFDMA (4G y 5G 2010's): Ortogonalidad en la separación de frecuencias.



CSS (2020 5G)

Acceso Múltiple no ortogonal



(b)

NOMA (5G y 6G)

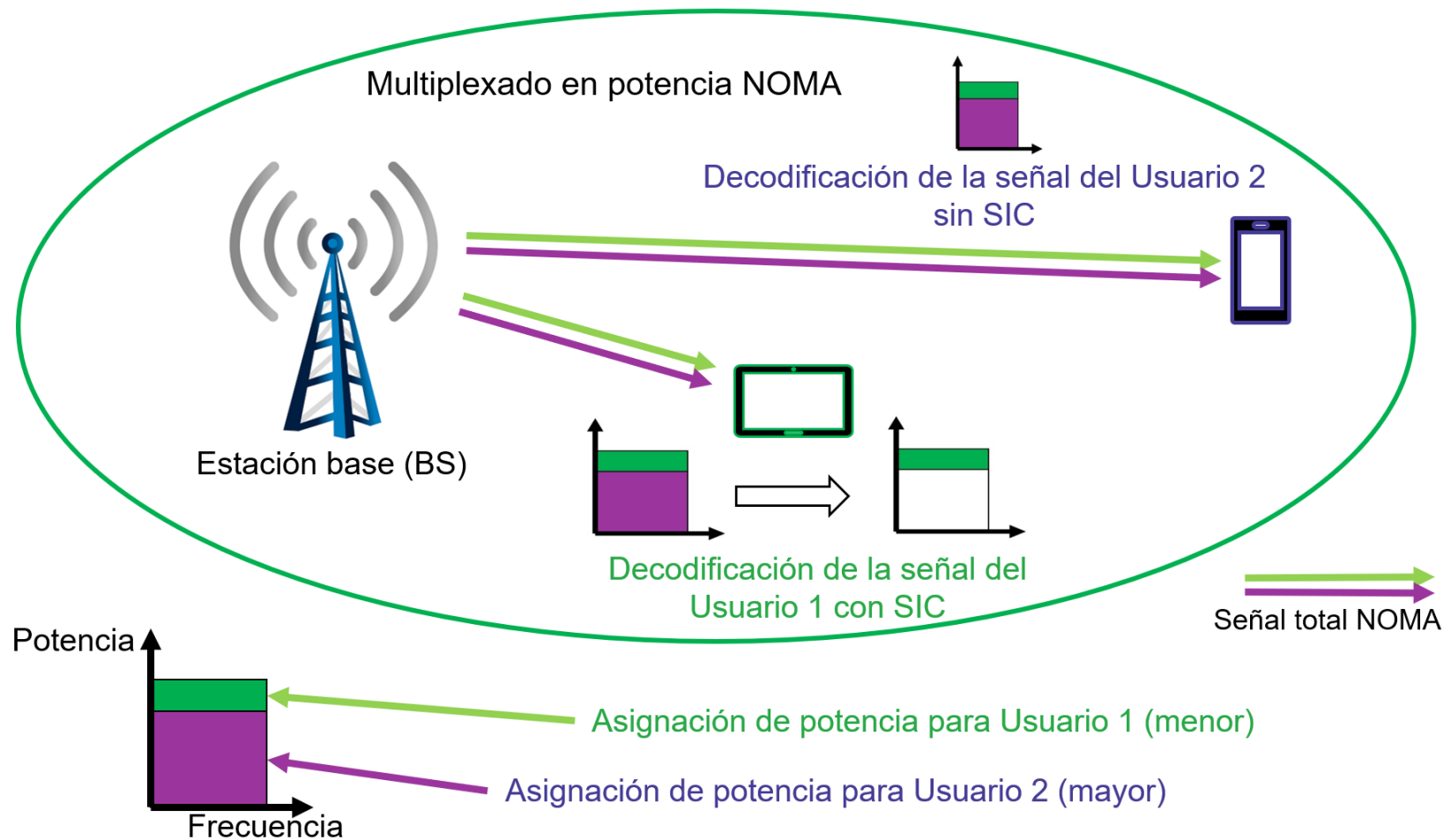
Cheon, J., & Cho, H. S. (2017). "SRM Power Allocation Scheme in Underwater Channels and Their Issues", en Power allocation scheme for non-orthogonal multiple access in underwater acoustic communications. P 5.

Josefina Castañeda Camacho

Junio 2026

4. Esquema NOMA

Esquema NOMA de transmisión-recepción de enlace para 2 usuarios.



5. Sistema RoF

Sistemas de Radio sobre Fibra (FIBRA-RADIO)

Transmisión inalámbrica

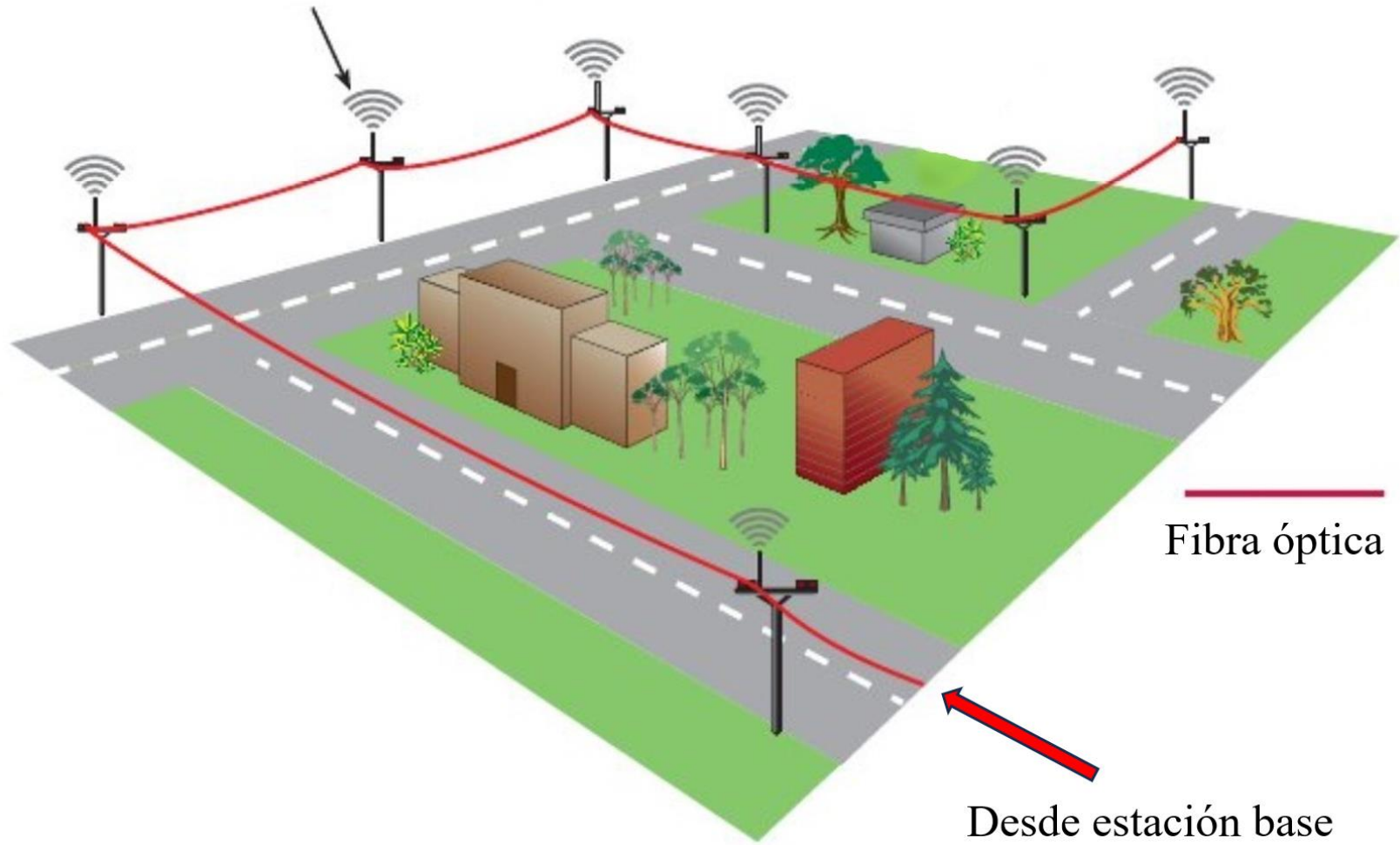
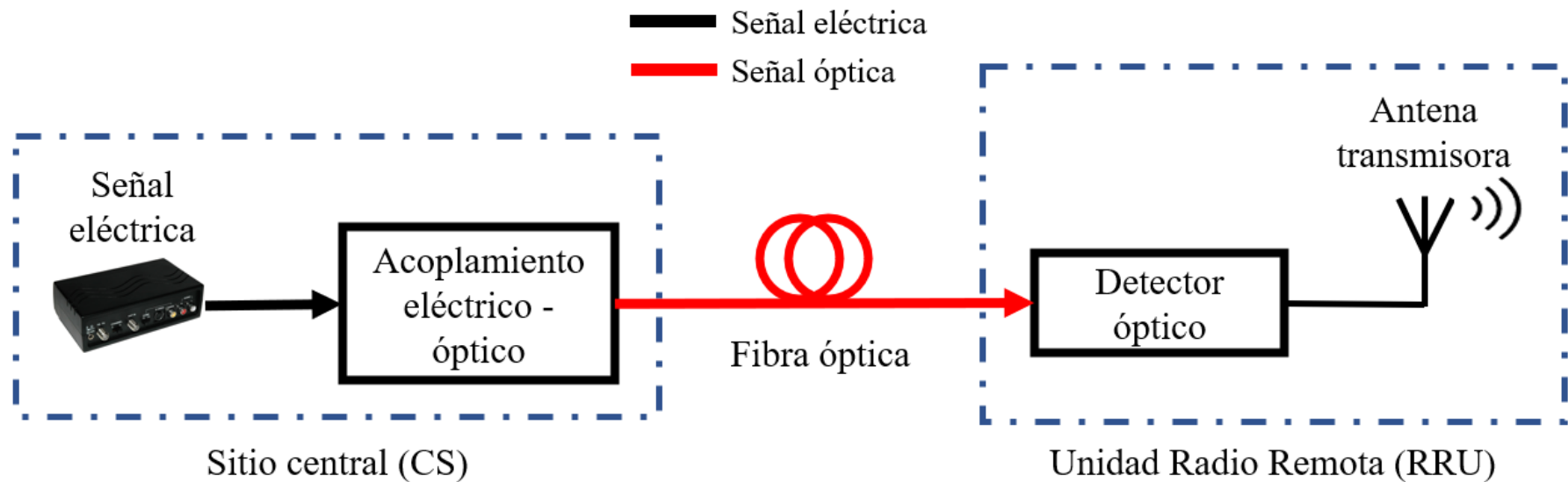
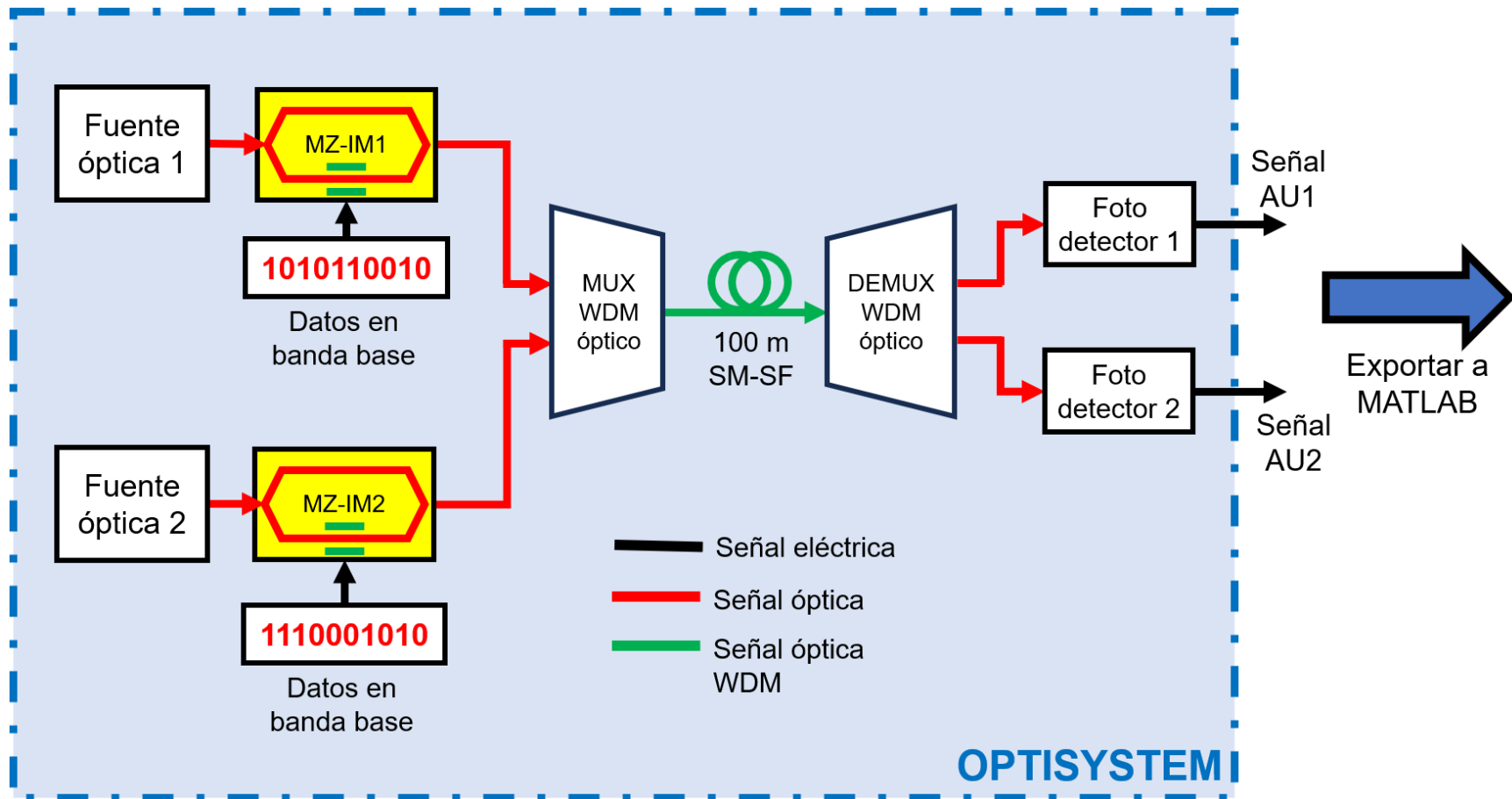


Diagrama a bloques del Sistema de comunicaciones de radio sobre fibra

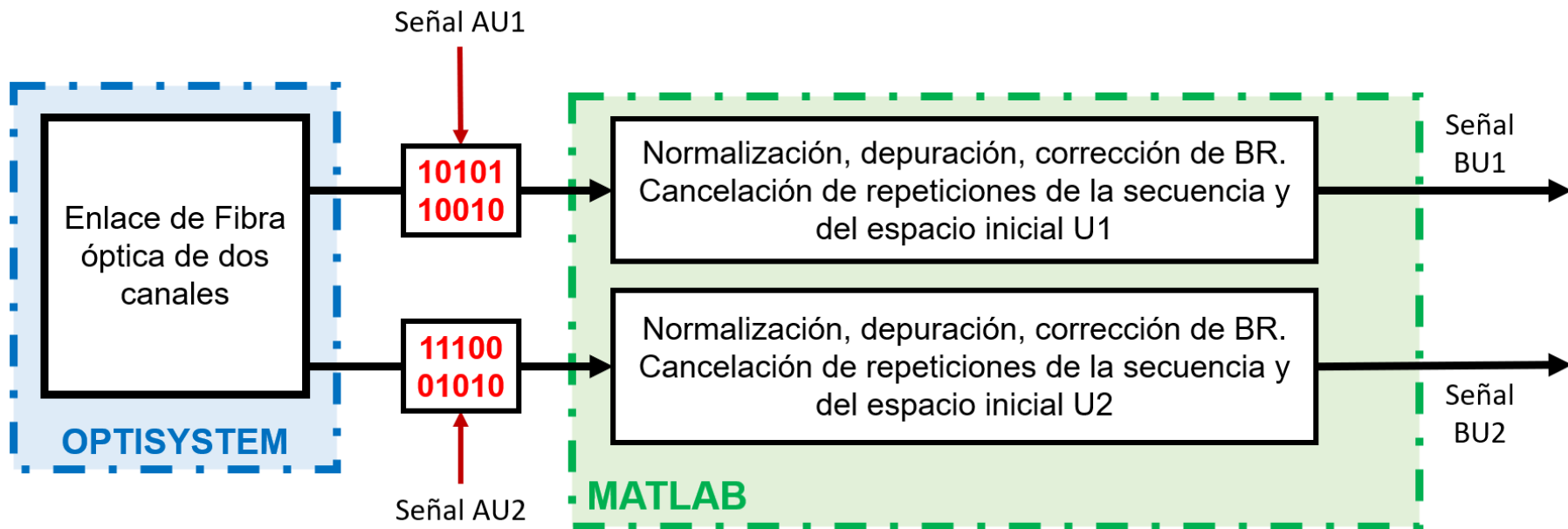


6. Modelado y simulación del sistema RoF

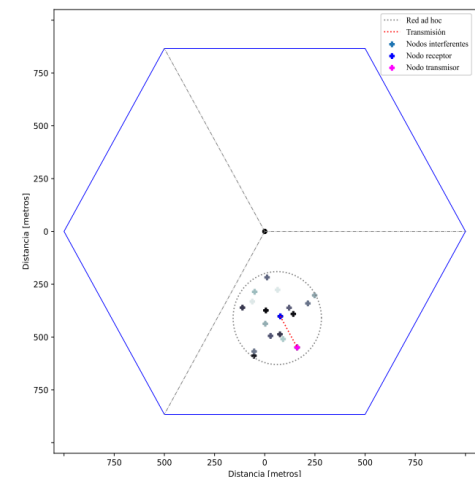
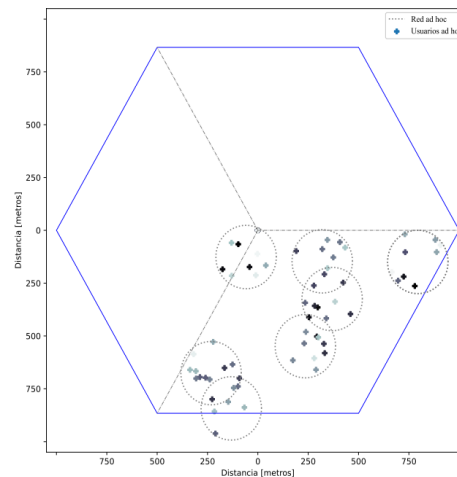
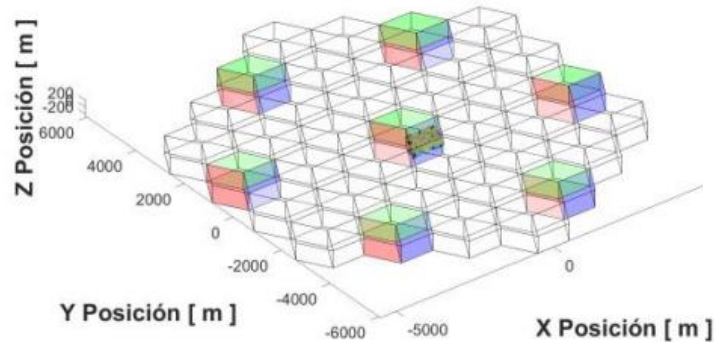
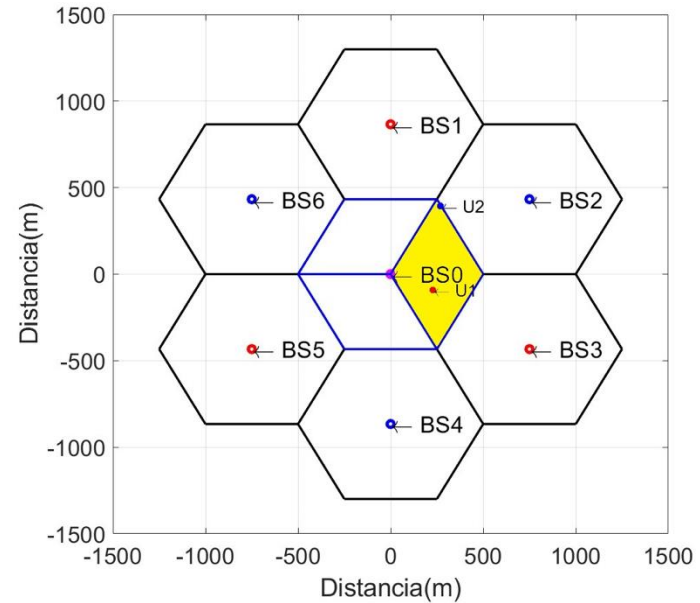
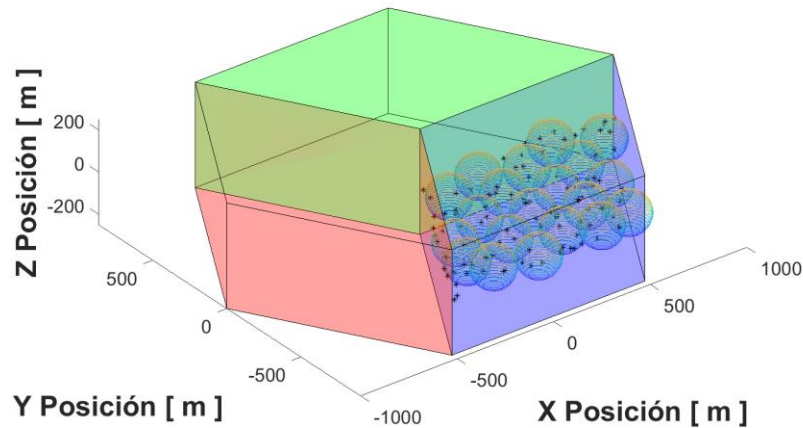
Considerando 2 señales multiplexadas por WDM en el sistema óptico y por NOMA en el sistema de radio, el diagrama del sistema óptico es el siguiente.



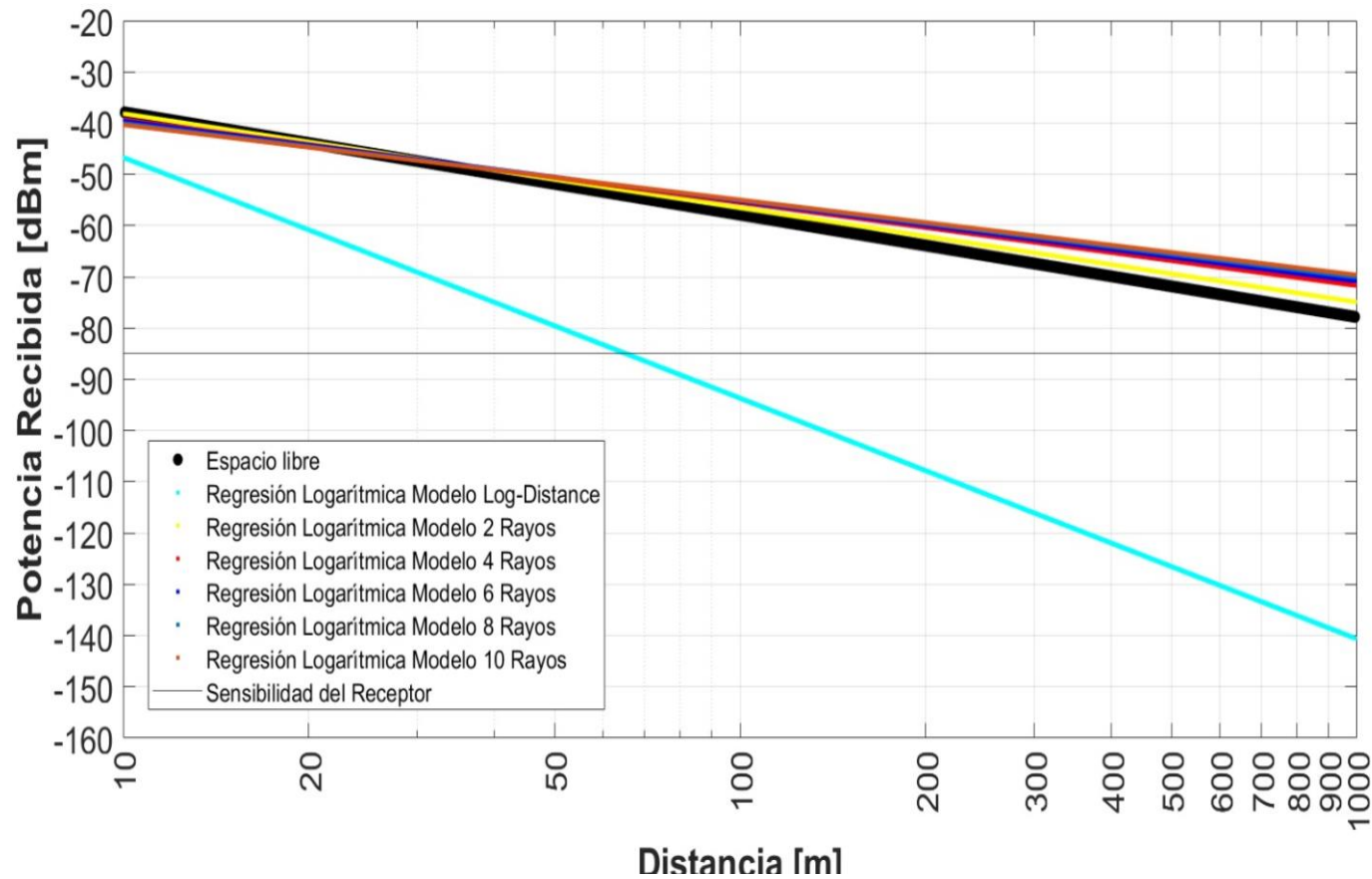
Importación de las señales de Optisystem para su procesamiento en MATLAB



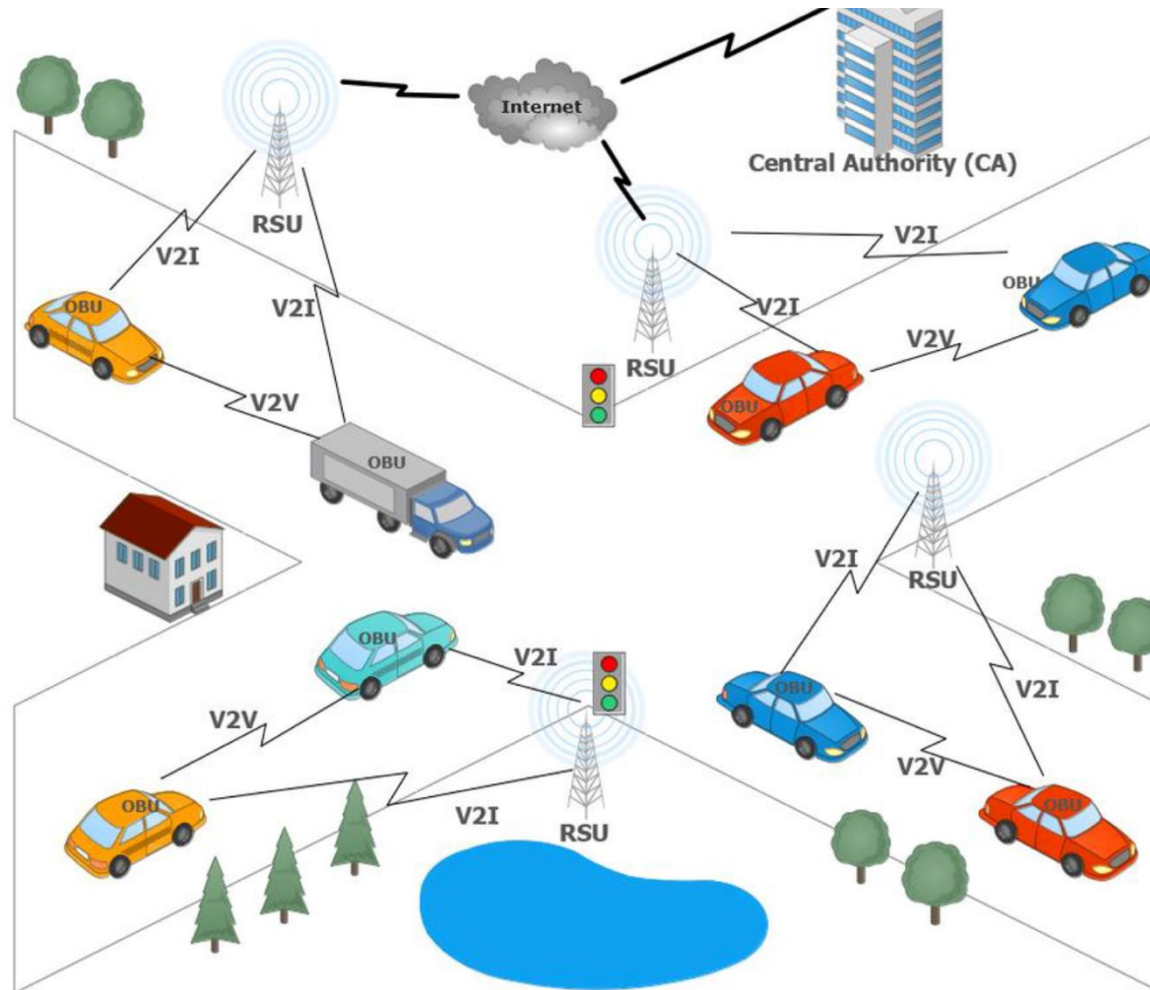
Topología y distribución de los usuarios



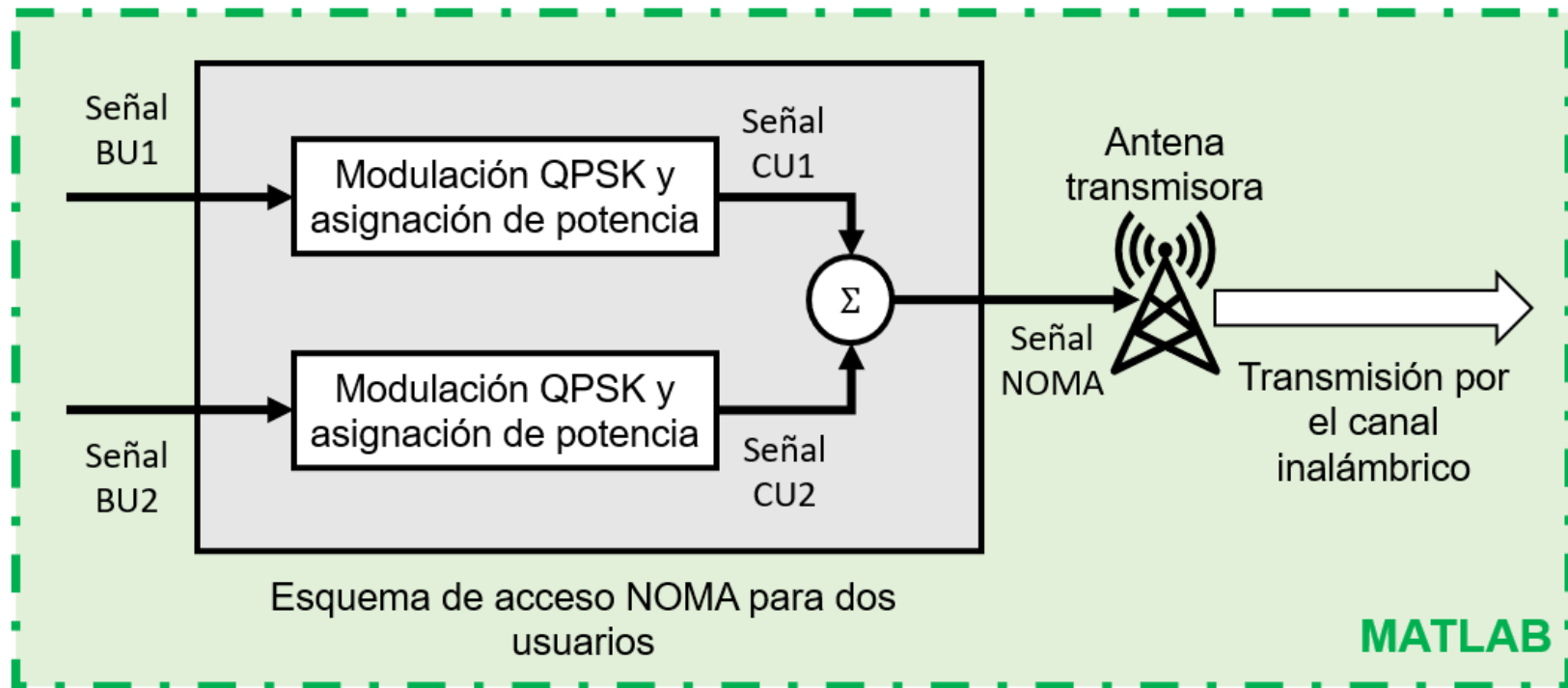
Modelos de propagación



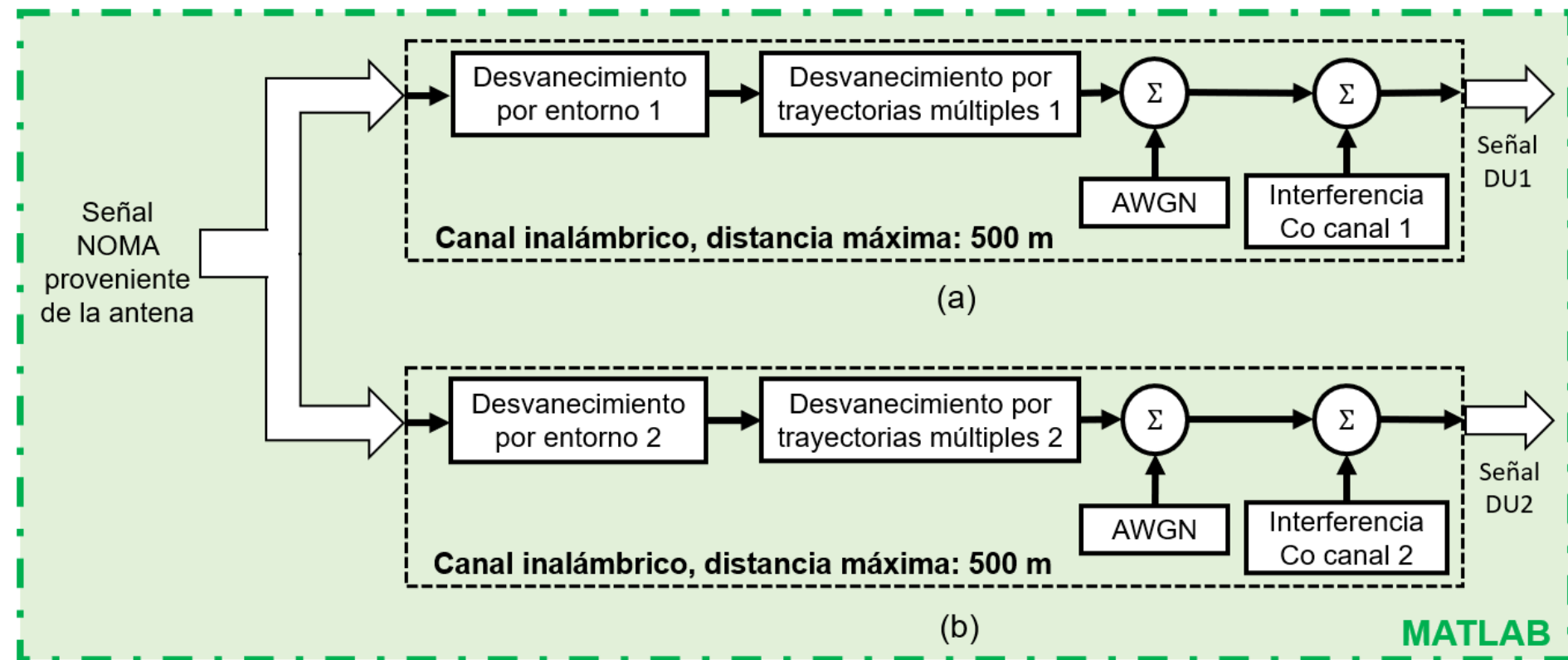
Escenarios de interacción



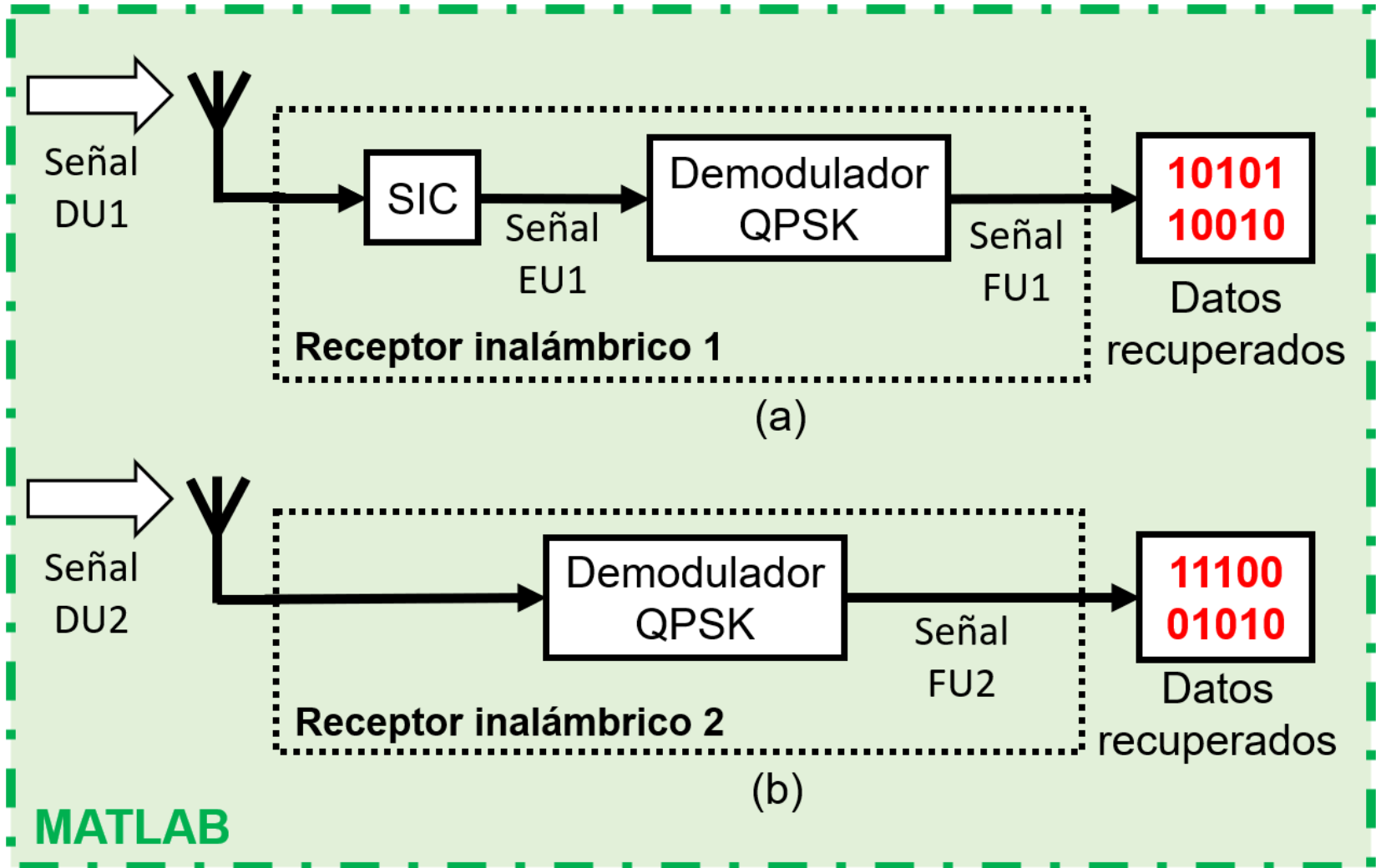
Procesamiento NOMA de las señales BU1 y BU2, considerando la topología, distribución de usuarios, estaciones base, escenarios de interacción, modulaciones y esquema de acceso NOMA.



Modelo de canal NOMA



Recuperación de la Señal NOMA

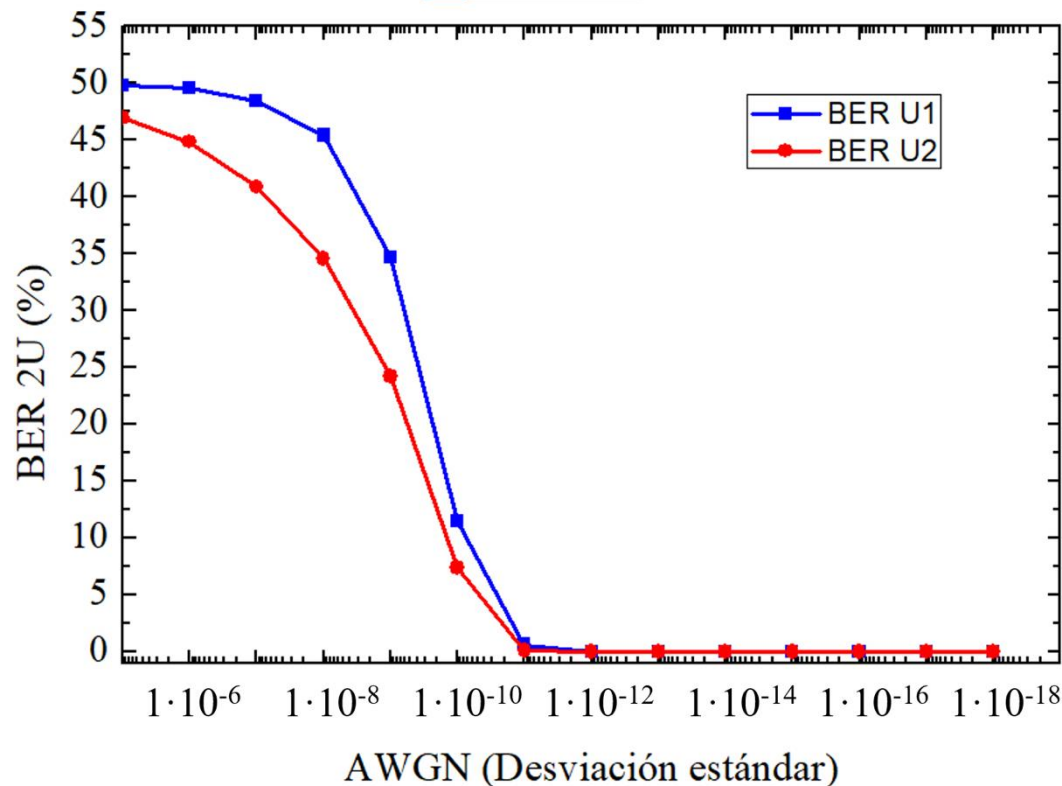


Receptores inalámbricos de U1 (a) y U2 (b)

Calidad, desempeño, propagación

$$\gamma = \left(\frac{E_b}{I_0} \right)_i = \frac{W_L}{R_i} SIR_i$$

$$R_i = \begin{cases} (W_L/\gamma) SIR_i & \text{if } SIR_i < m\gamma \\ mW_L & \text{if } SIR_i \geq m\gamma \end{cases}$$



7. Líneas de interés

Investigaciones en curso

- *Dimensionamiento de sistemas móviles celulares NOMA para N-usuarios con asignación dinámica de los pesos de potencia y propagación en SHF.
- * Dimensionamiento de sistemas V2I, V2V y V2X.
- *Diseño de redes de vehículos no tripulados con estrategias de enrutamiento adaptivo.
- *Diseño e implementación a nivel experimental de redes NOMA y CSS.
- *Análisis y generación de modelos de propagación de SHF.
- *Análisis y diseño de sistemas de radio sobre fibra .

PUCV

Dr. Mauricio Rodríguez

INAOEP

Dr. Ignacio Zaldivar Huerta

BUAP

Dr. Gerardo Mino Aguilar (Potencia)

Dr. Moisés Gutiérrez Arias (Control)

Dr. Germán Muñoz Ardul (Control)

Dr. Fermi Guerrero Castellanos (Control)

8. Adscripción

Profesora Investigadora Titular B de Tiempo Completo
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ciencias de la Electrónica

Integrante del Núcleo Académico de la Maestría en Ingeniería Electrónica Opción
Instrumentación Electrónica

Integrante del Núcleo Académico de la Maestría en Ciencias de la Electrónica
Opción Robótica y Control

Colaboradora en el posgrado de comunicaciones del área de electrónica del
INAOEP desde 2021

Colaboradora con el área de comunicaciones de la PUCV desde 2023

Josefina Castañeda Camacho