Underwater Wireless Optical Communications

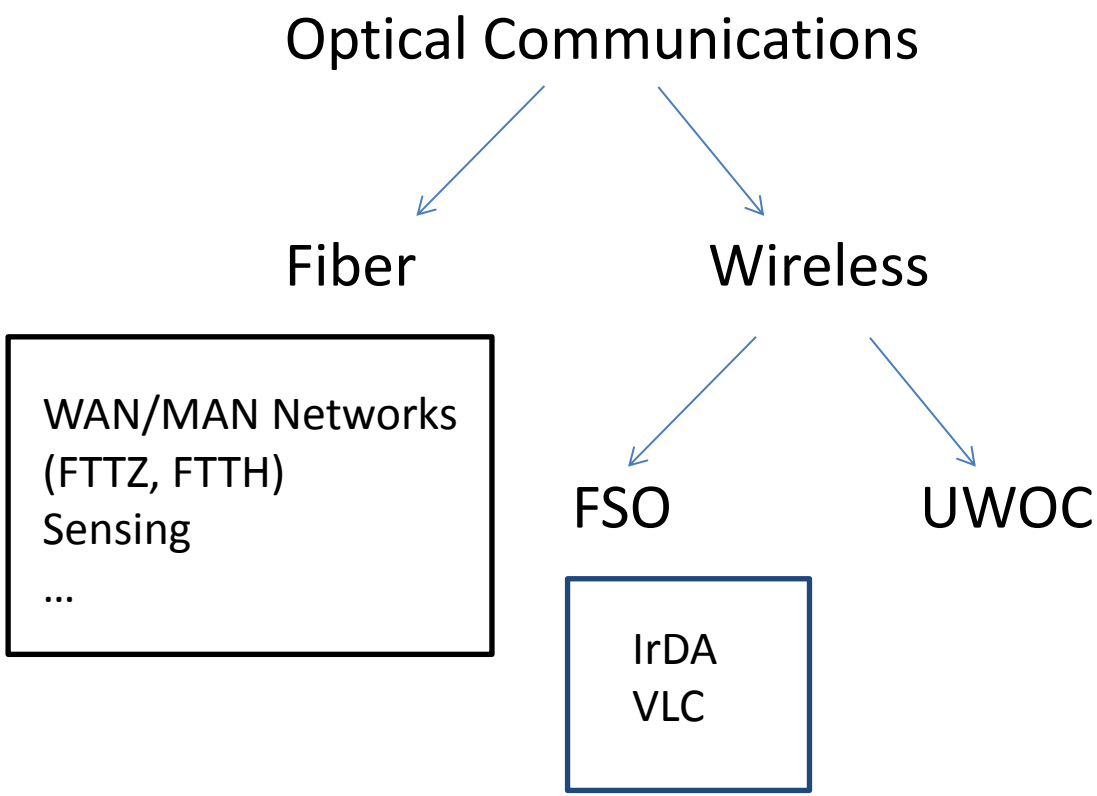
Víctor Guerra

INDEX

- Introducción a UWOC
- Ámbito de aplicación
- Estado del arte
- Características del canal
- Simulación de canal
- Aplicación para UWSN

Introducción a UWOC
Ámbito de aplicación
Estado del arte
Características del canal
Simulación de canal
Aplicación para UWSN

Taxonomía



Introducción a UWOC
Ámbito de aplicación
Estado del arte
Características del canal
Simulación de canal
Aplicación para UWSN

Otras tecnologías submarinas

Ultrasonidos

- Muy largo alcance
- Velocidades bajas debido a multipath
- Pueden dañar la fauna (cetáceos)

RF (Low Frequency)

- Tamaños de antena prohibitivos
- Velocidades muy bajas
- Absorción muy alta

Introducción a UWOC

Ámbito de aplicación

Estado del arte

Características del canal

Simulación de canal

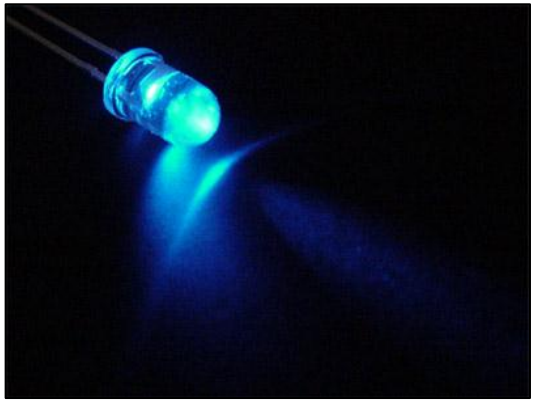
Aplicación para UWSN

Características de las UWOC

Corto alcance (fuentes LED)

Medio alcance (fuentes LASER)

Alta velocidad



Introducción a UWOC

Ámbito de aplicación

Estado del arte

Características del canal

Simulación de canal

Aplicación para UWSN

Aplicaciones

Comunicaciones con UUVs

Comunicación con ROVs

Comunicación con boyas

Comunicación entre submarinos

Redes de sensores (UWSN)

Introducción a UWOC

Ámbito de aplicación

Estado del arte

Características del canal

Simulación de canal

Aplicación para UWSN

Instituciones relacionadas

North Carolina (J. Simpson)

Genoa (D. Anguita)

Naval Air Station Patuxent River (D. Cocheneur)

Introducción a UWOC

Ámbito de aplicación

Estado del arte

Características del canal

Simulación de canal

Aplicación para UWSN

Estado del arte (Resumen)

Comunicaciones en ventana azul-verde (480 nm)

Demostradores de comunicación con ROVs

Soluciones analíticas de la respuesta impulsiva

Experimentos de fading

Implementación de UWSN

Introducción a UWOC

Ámbito de aplicación

Estado del arte

Características del canal

Simulación de canal

Aplicación para UWSN

Fenómenos físicos del canal

Interacción luz-materia

Reflexiones superficiales

Rebotes en el fondo

Turbulencias

Optical fouling

Introducción a UWOC
Ámbito de aplicación
Estado del arte
Características del canal
Simulación de canal
Aplicación para UWSN

Interacción luz materia

Dos mecanismos de pérdida de potencia

- Absorción del medio $\alpha(\lambda)$
- Scattering

Índice de refracción del agua, el cual define:

- Velocidad de propagación
- Ángulo de Brewster (TIR)
- Dispersión cromática

$$n(S,T,\lambda) = n_0 + \left(n_1 + n_2 T + n_3 T^2\right) S + n_4 T^2 + \frac{n_5 + n_6 S + n_7 T}{\lambda} + \frac{n_8}{\lambda^2} + \frac{n_9}{\lambda^3}$$

Introducción a UWOC

Ámbito de aplicación

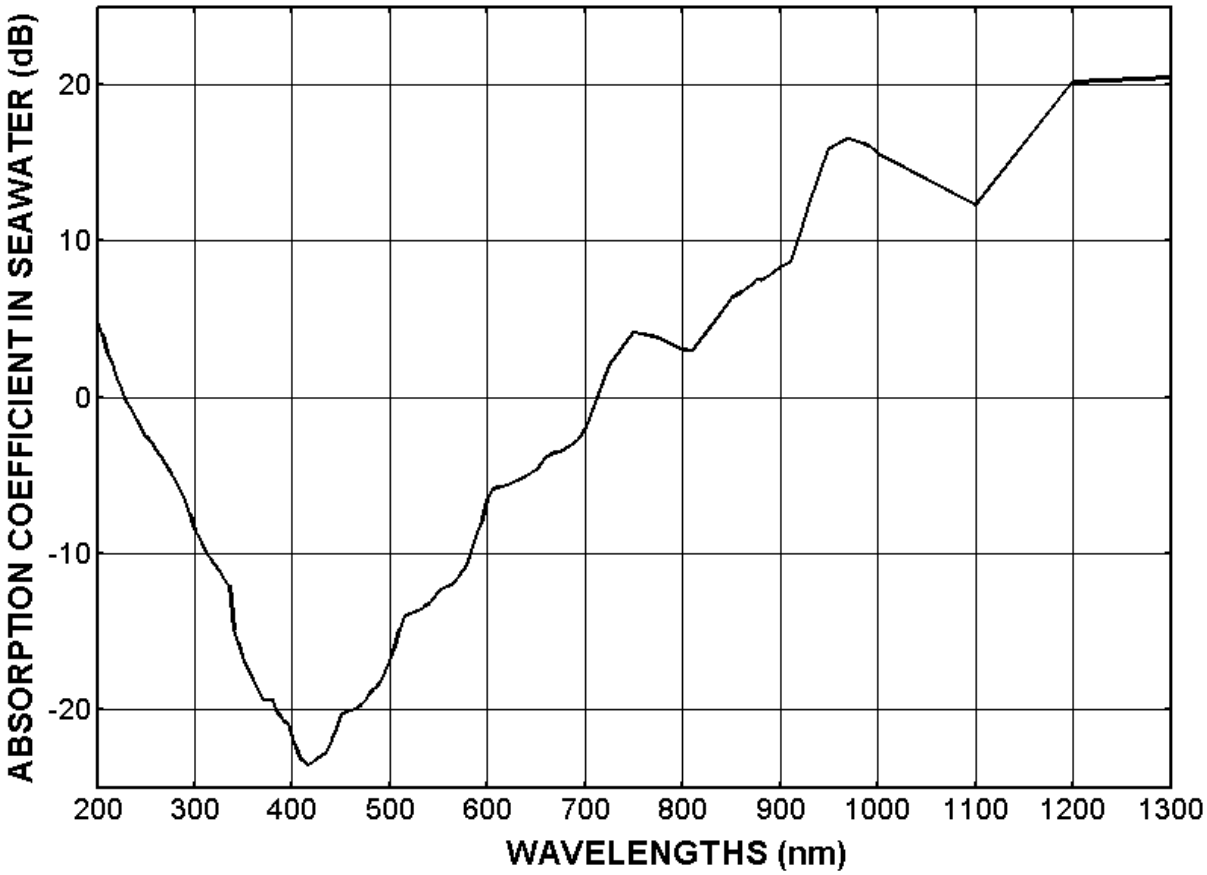
Estado del arte

Características del canal

Simulación de canal

Aplicación para UWSN

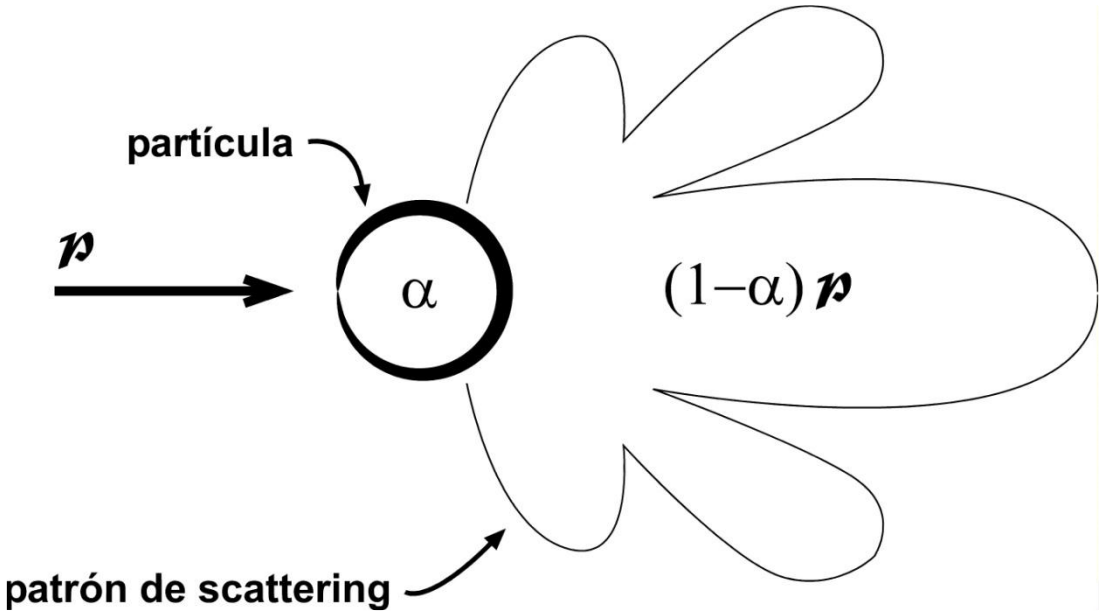
Interacción luz materia



Introducción a UWOC
Ámbito de aplicación
Estado del arte
Características del canal
Simulación de canal
Aplicación para UWSN

Interacción luz materia

Scattering definido por análisis de Mie



Introducción a UWOC
Ámbito de aplicación
Estado del arte
Características del canal
Simulación de canal
Aplicación para UWSN

Interacción luz materia

Vector Radiative Transfer Theory (VRTT)

$$\mu \frac{dI(\tau,\mu,\varphi)}{d\tau} = \alpha(\lambda) I(\tau,\mu,\varphi) - \mathfrak{J}(\tau,\mu,\varphi)$$

$$\mathfrak{J}(\tau,\mu,\varphi) = \frac{1}{4\pi} \int_{-1}^{+1} \int_{0}^{2\pi} p(\mu,\varphi) I(\tau,\mu,\varphi) d\mu d\varphi$$

Patrón de scattering

Introducción a UWOC

Ámbito de aplicación

Estado del arte

Características del canal

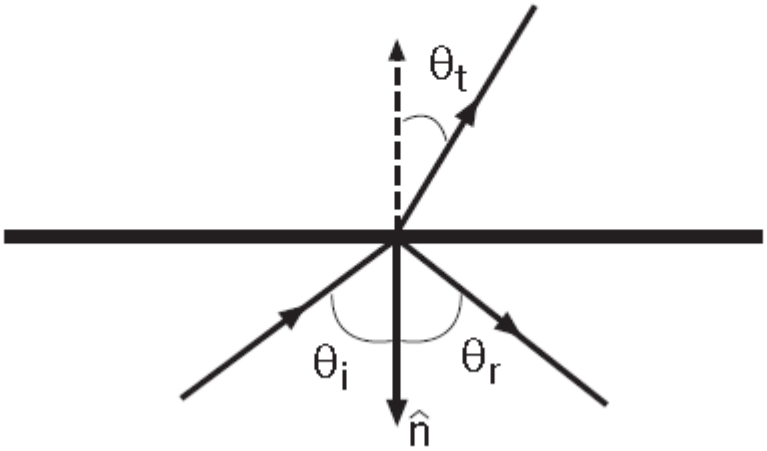
Simulación de canal

Aplicación para UWSN

Reflexiones superficiales

Ángulos definidos por la ley de Snell

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

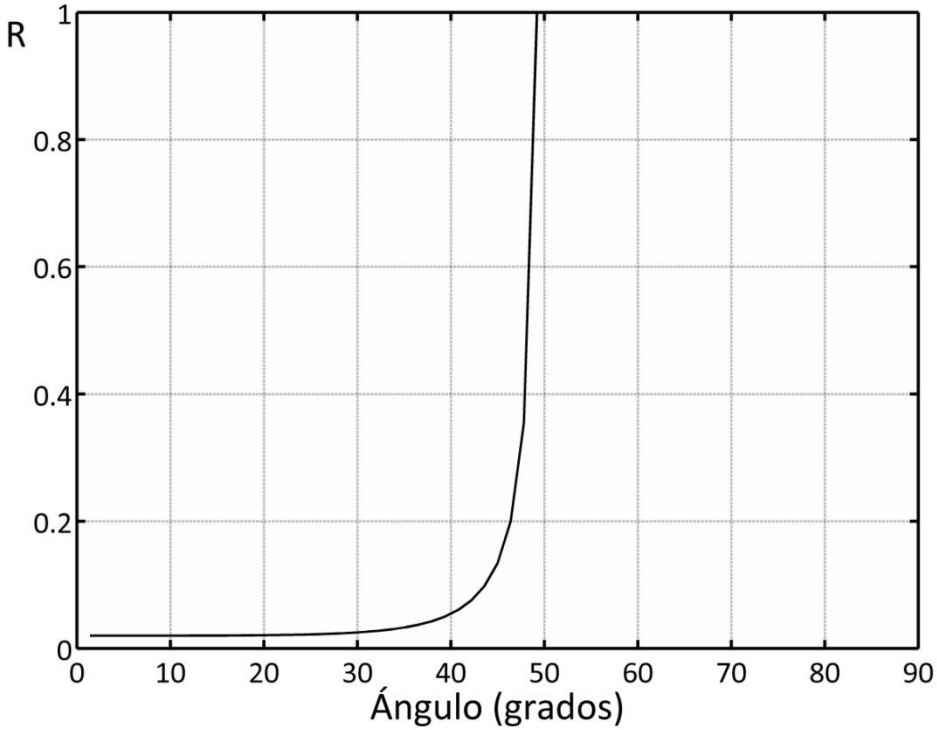


$\theta crit = 48^o$

Introducción a UWOC
Ámbito de aplicación
Estado del arte
Características del canal
Simulación de canal
Aplicación para UWSN

Reflexiones superficiales

Potencias definidas por fórmulas de Fresnel



Introducción a UWOC

Ámbito de aplicación

Estado del arte

Características del canal

Simulación de canal

Aplicación para UWSN

Simulación de Monte Carlo

Se ha implementado un simulador Monte Carlo de respuesta impulsiva del canal submarino

Integra la ecuación de la VRTT

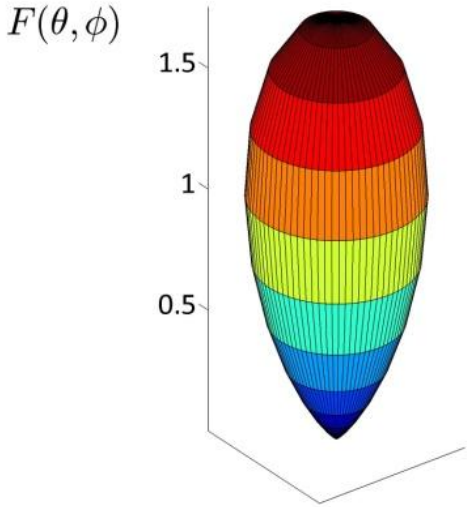
Influencia de los distintos parámetros del agua sobre el delay spread

Introducción a UWOC
Ámbito de aplicación
Estado del arte
Características del canal
Simulación de canal
Aplicación para UWSN

Simulación de Monte Carlo

Se emplea fuente LED:

- N-1 Rayos aleatorios
- 1 Rayo directo
- Los rayos son generados según patrón de emisión



$$I(\theta) = I_0 \frac{m+1}{2\pi} \cos^m(\theta)$$

Introducción a UWOC
Ámbito de aplicación
Estado del arte
Características del canal
Simulación de canal
Aplicación para UWSN

Simulación de Monte Carlo

La propagación de cada rayo es igual

- Probabilidad de colisión con partículas
- Absorción de potencia

$$p_{col} = 1 - e^{-\mu d} \qquad P_i = \frac{P_T}{N} L_{abs} \cdot \prod_{j=1}^{k} L_j$$

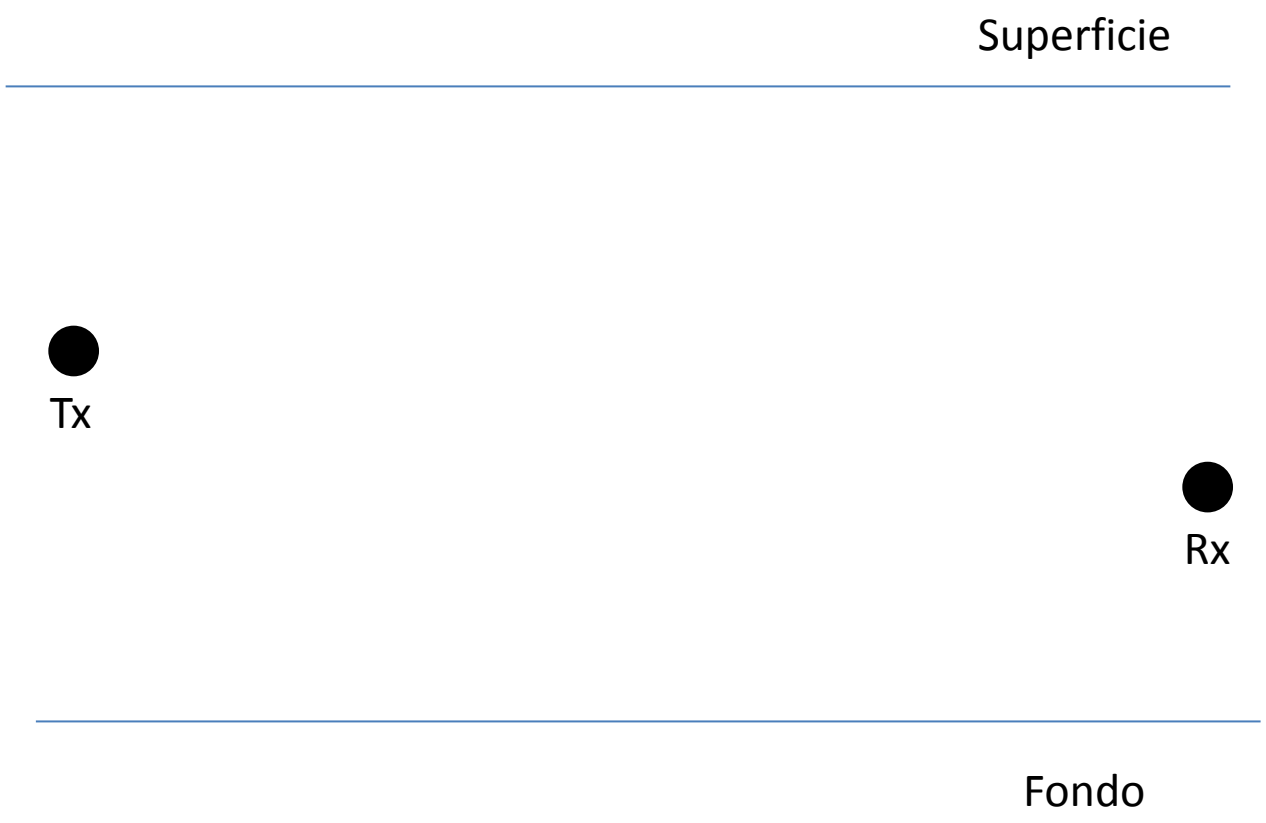
Al final se obtiene la suma de las aportaciones de cada rayo

$$h(t,\lambda) = \sum_{i=1}^{M} P_i \cdot \delta\left(t - \frac{d_i \cdot n(\lambda, S, T)}{c_0}\right)$$

Introducción a UWOC
Ámbito de aplicación
Estado del arte
Características del canal
Simulación de canal
Aplicación para UWSN

Simulación de Monte Carlo

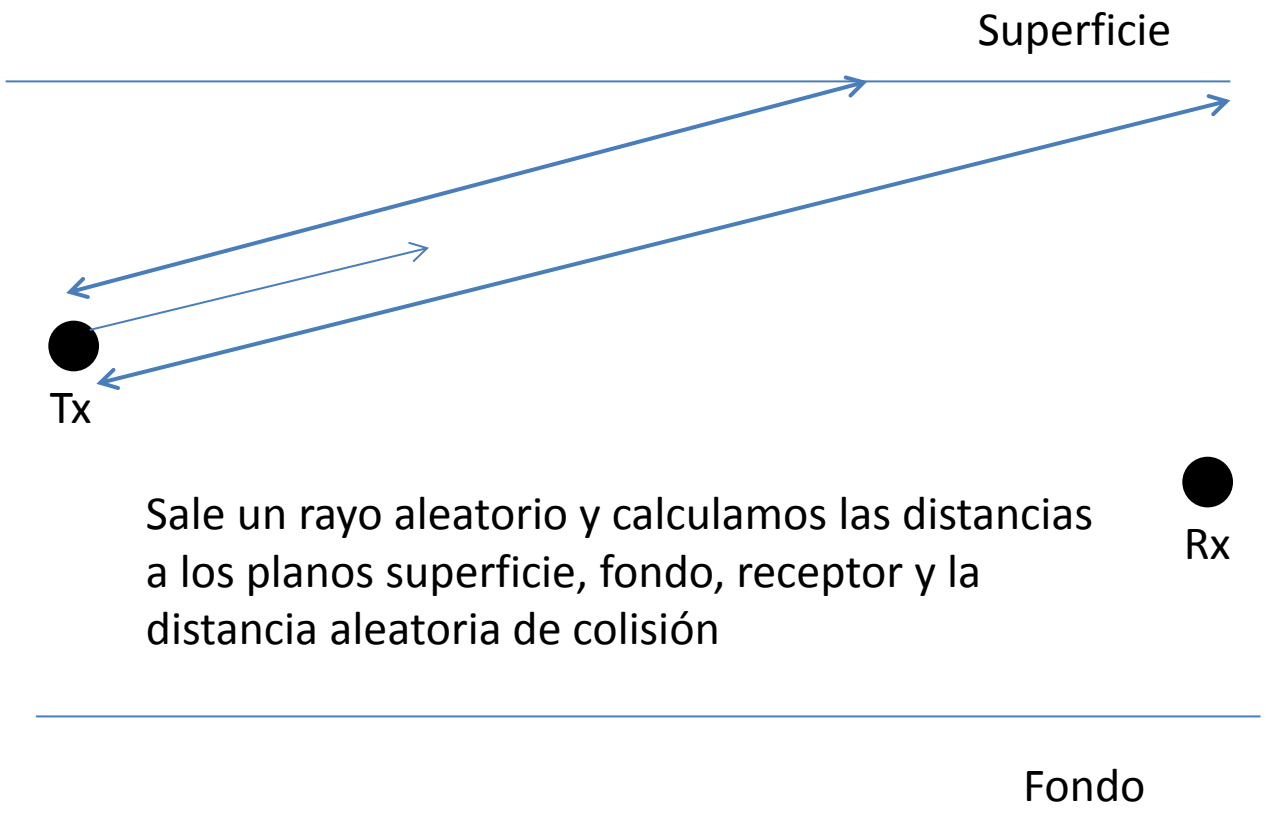
A continuación, un ejemplo de cálculo:



Introducción a UWOC
Ámbito de aplicación
Estado del arte
Características del canal
Simulación de canal
Aplicación para UWSN

Simulación de Monte Carlo

A continuación, un ejemplo de cálculo:

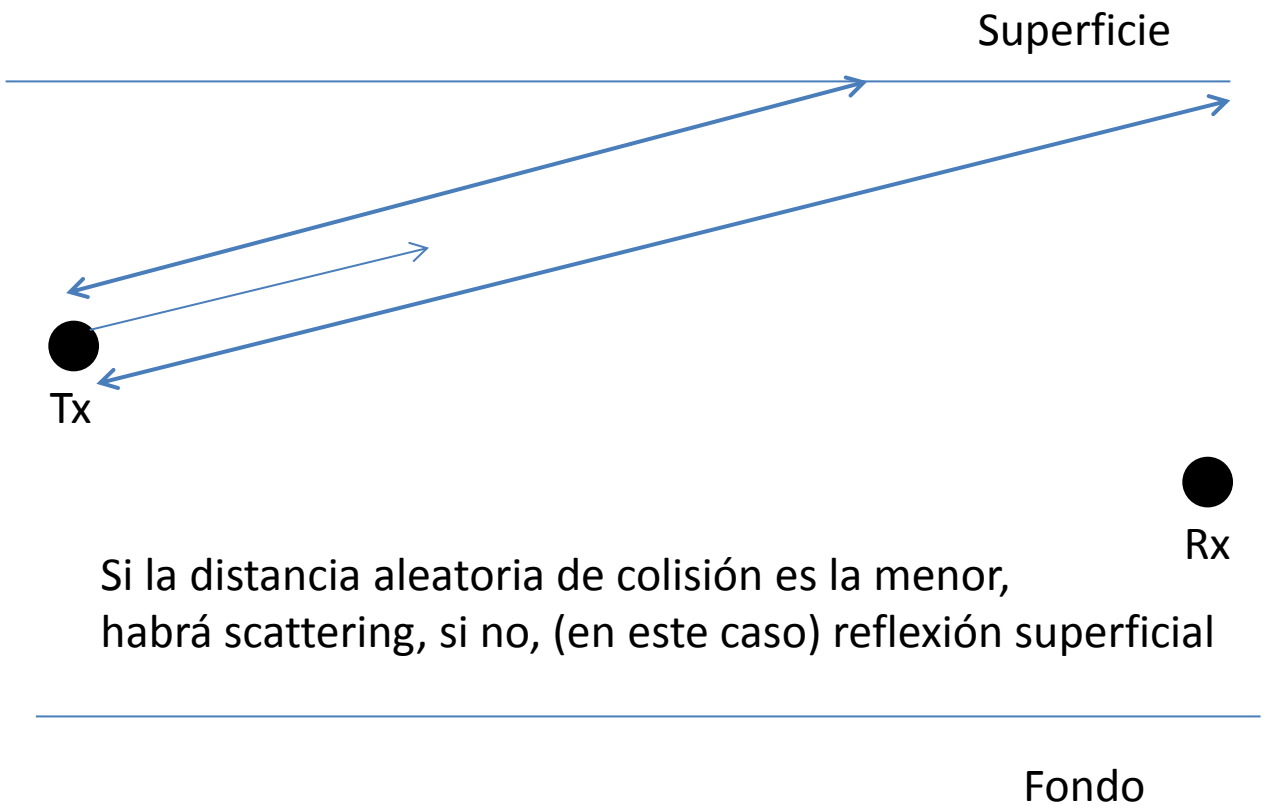


Sale un rayo aleatorio y calculamos las distancias a los planos superficie, fondo, receptor y la distancia aleatoria de colisión

Introducción a UWOC
Ámbito de aplicación
Estado del arte
Características del canal
Simulación de canal
Aplicación para UWSN

Simulación de Monte Carlo

A continuación, un ejemplo de cálculo:

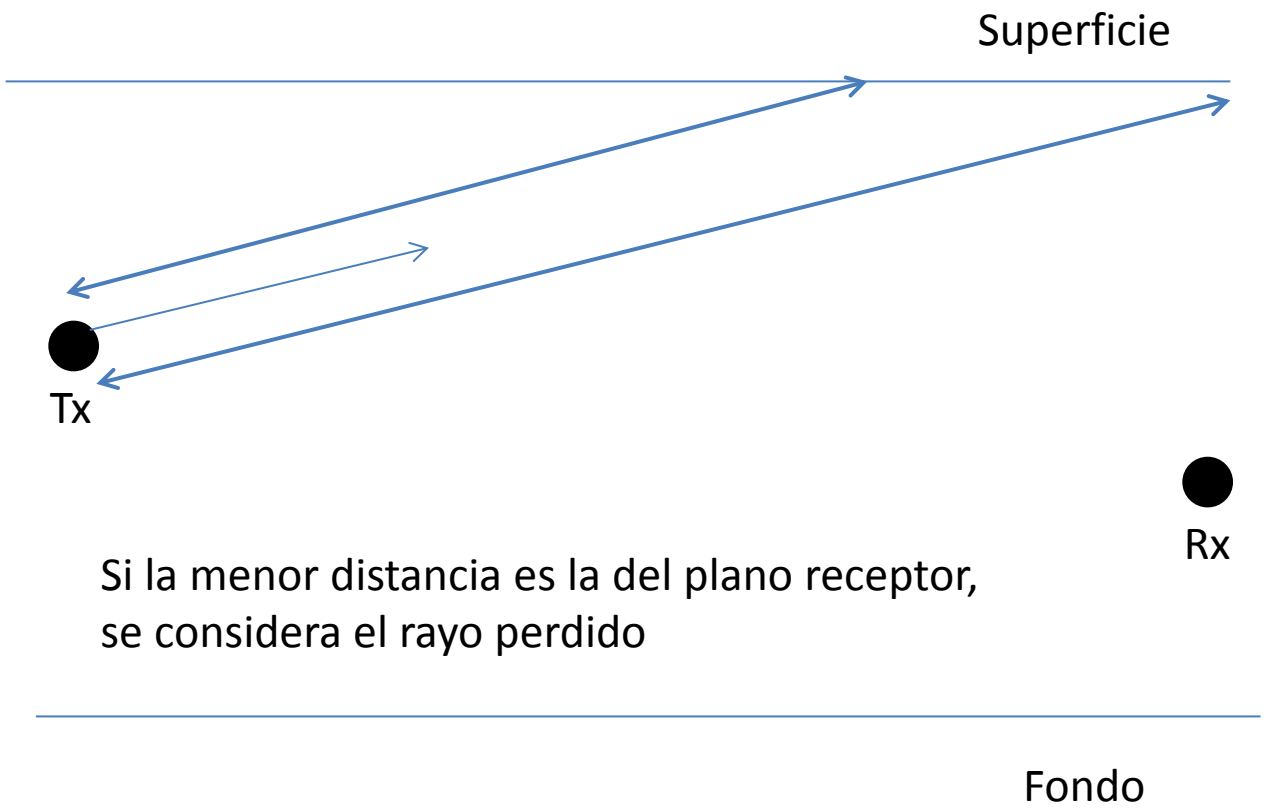


Si la distancia aleatoria de colisión es la menor, habrá scattering, si no, (en este caso) reflexión superficial

Introducción a UWOC
Ámbito de aplicación
Estado del arte
Características del canal
Simulación de canal
Aplicación para UWSN

Simulación de Monte Carlo

A continuación, un ejemplo de cálculo:

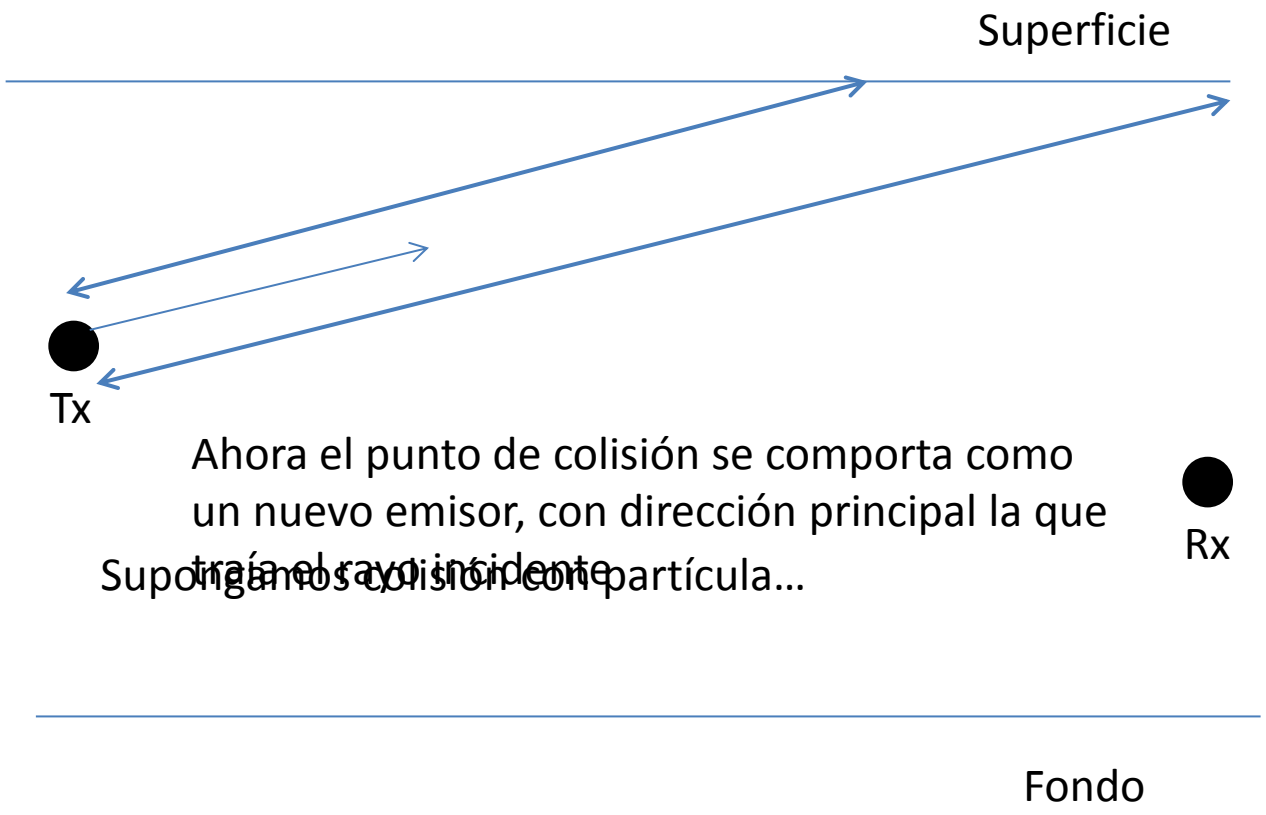


Si la menor distancia es la del plano receptor, se considera el rayo perdido

Introducción a UWOC
Ámbito de aplicación
Estado del arte
Características del canal
Simulación de canal
Aplicación para UWSN

Simulación de Monte Carlo

A continuación, un ejemplo de cálculo:



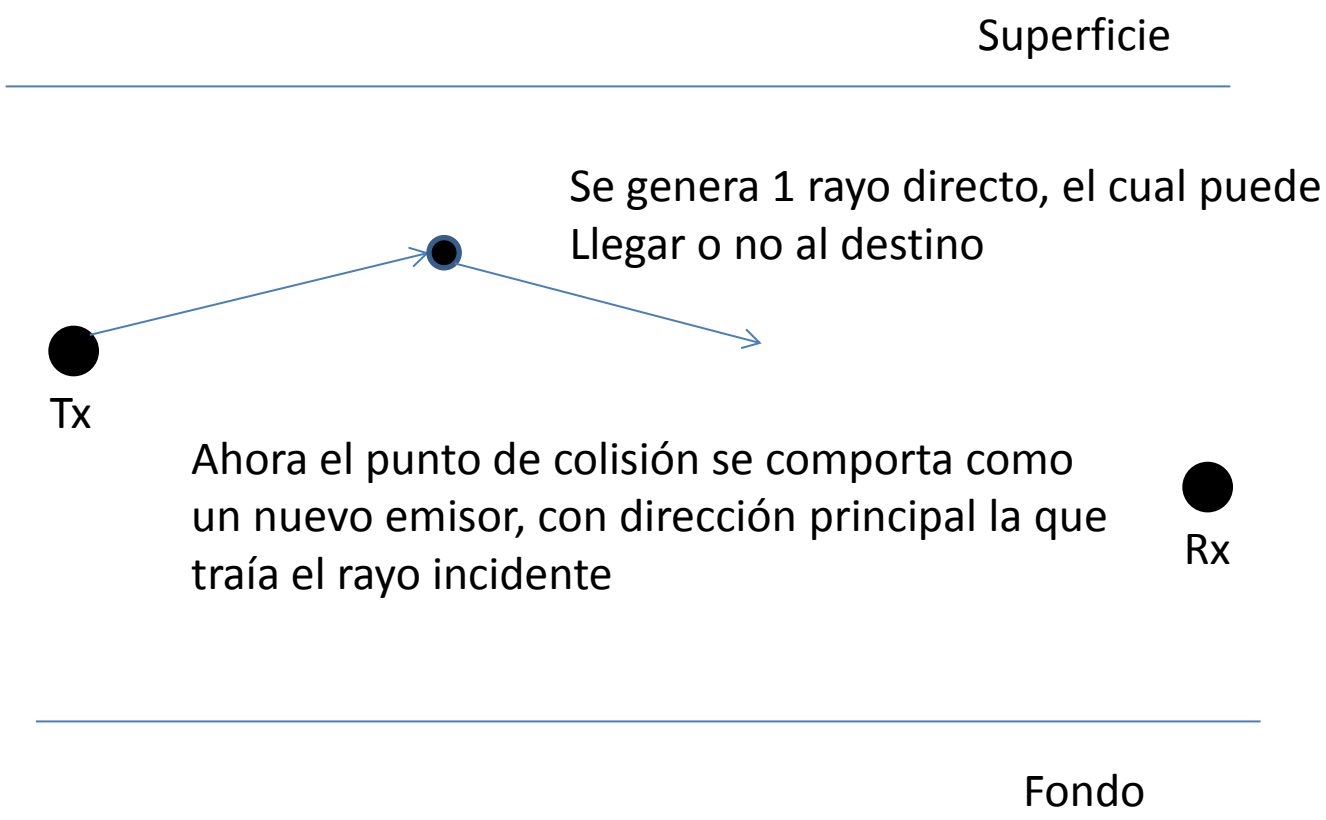
Ahora el punto de colisión se comporta como un nuevo emisor, con dirección principal la que traía el rayo incidente

Supongamos colisión con partícula…

Introducción a UWOC
Ámbito de aplicación
Estado del arte
Características del canal
Simulación de canal
Aplicación para UWSN

Simulación de Monte Carlo

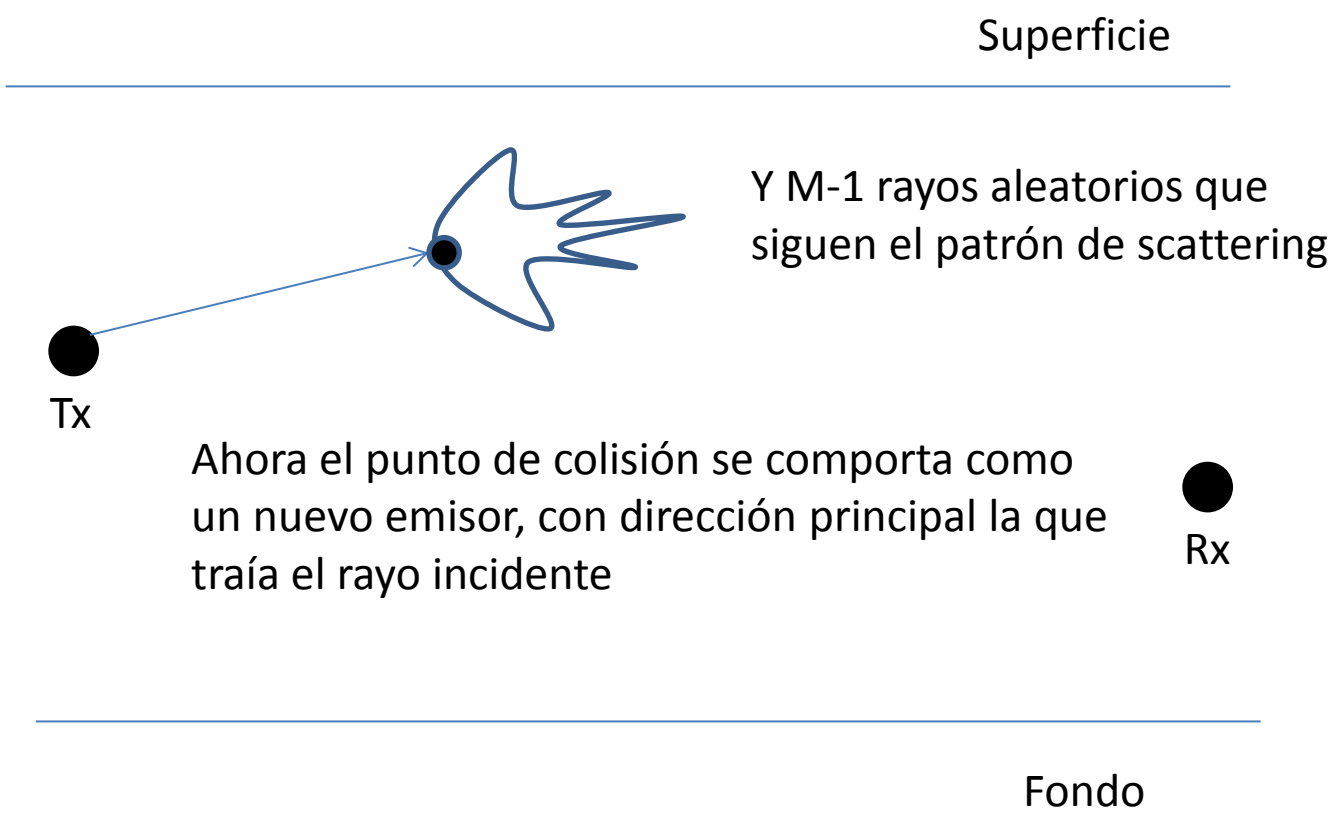
A continuación, un ejemplo de cálculo:



Introducción a UWOC
Ámbito de aplicación
Estado del arte
Características del canal
Simulación de canal
Aplicación para UWSN

Simulación de Monte Carlo

A continuación, un ejemplo de cálculo:



Introducción a UWOC

Ámbito de aplicación

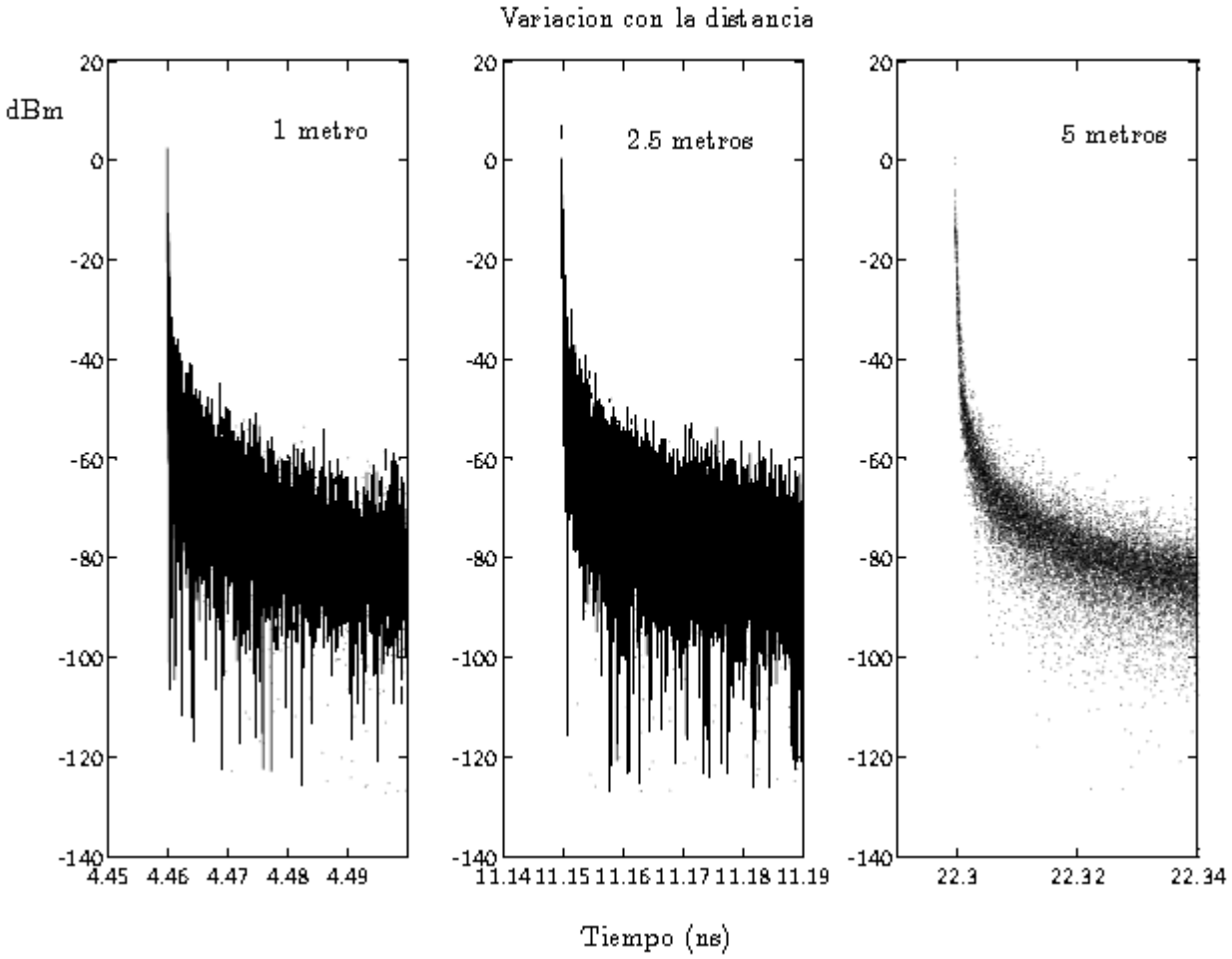
Estado del arte

Características del canal

Simulación de canal

Aplicación para UWSN

Simulación de Monte Carlo



Introducción a UWOC

Ámbito de aplicación

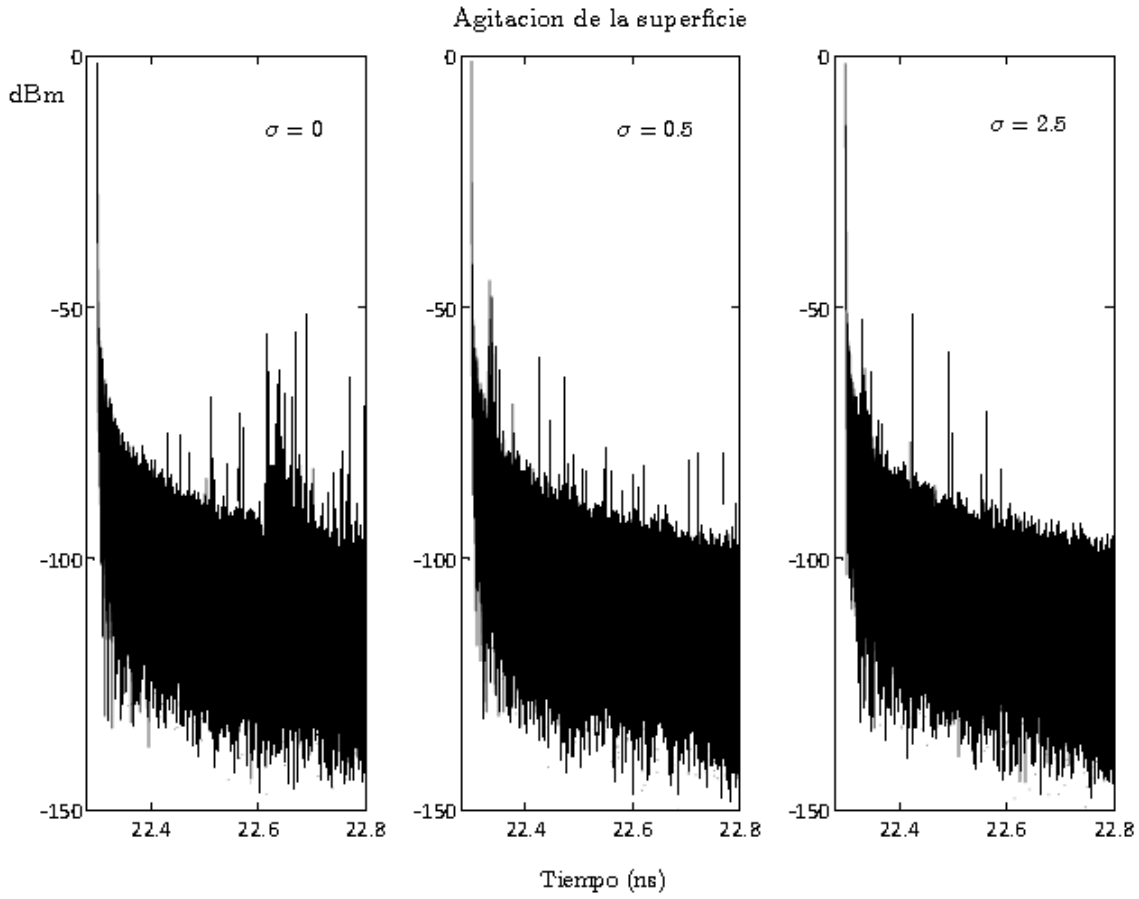
Estado del arte

Características del canal

Simulación de canal

Aplicación para UWSN

Simulación de Monte Carlo



Introducción a UWOC

Ámbito de aplicación

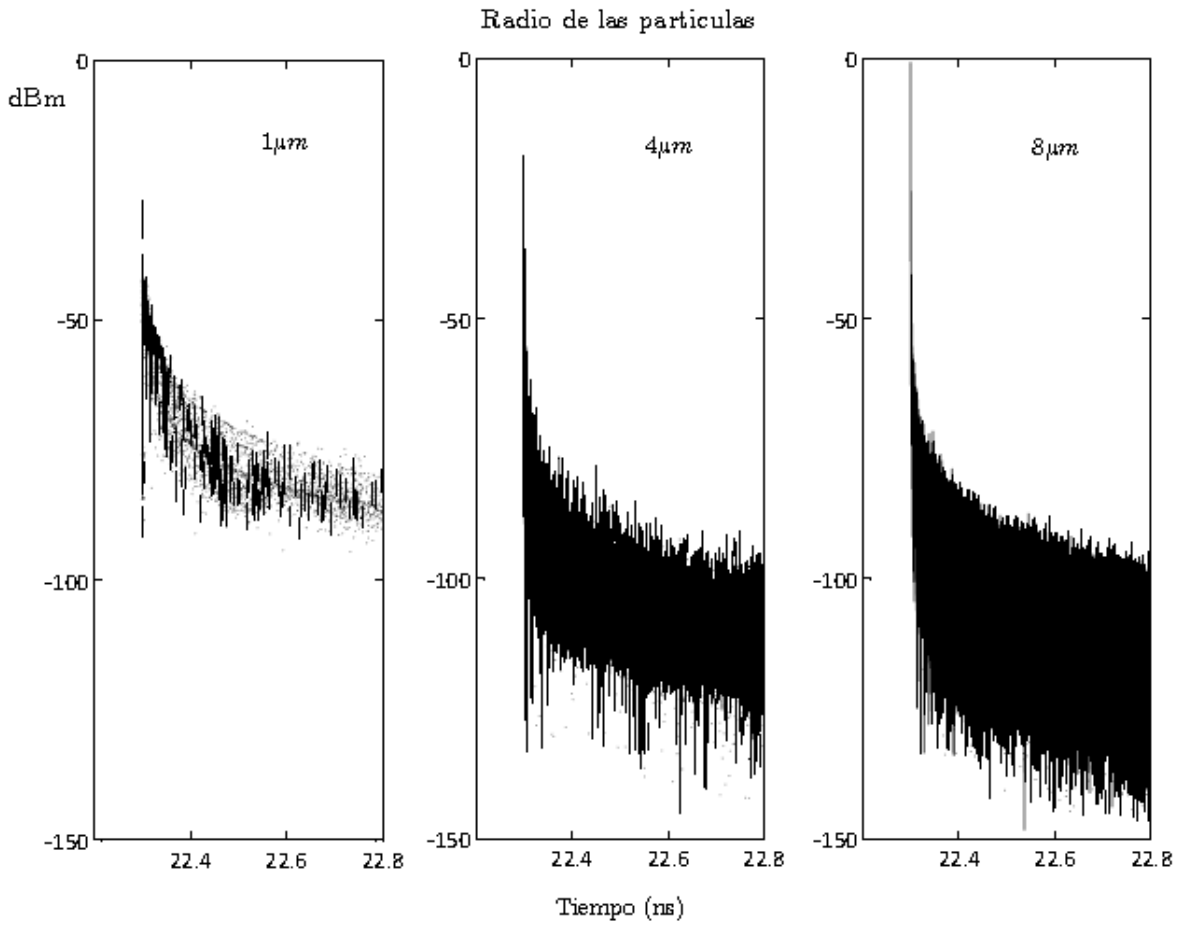
Estado del arte

Características del canal

Simulación de canal

Aplicación para UWSN

Simulación de Monte Carlo



Introducción a UWOC

Ámbito de aplicación

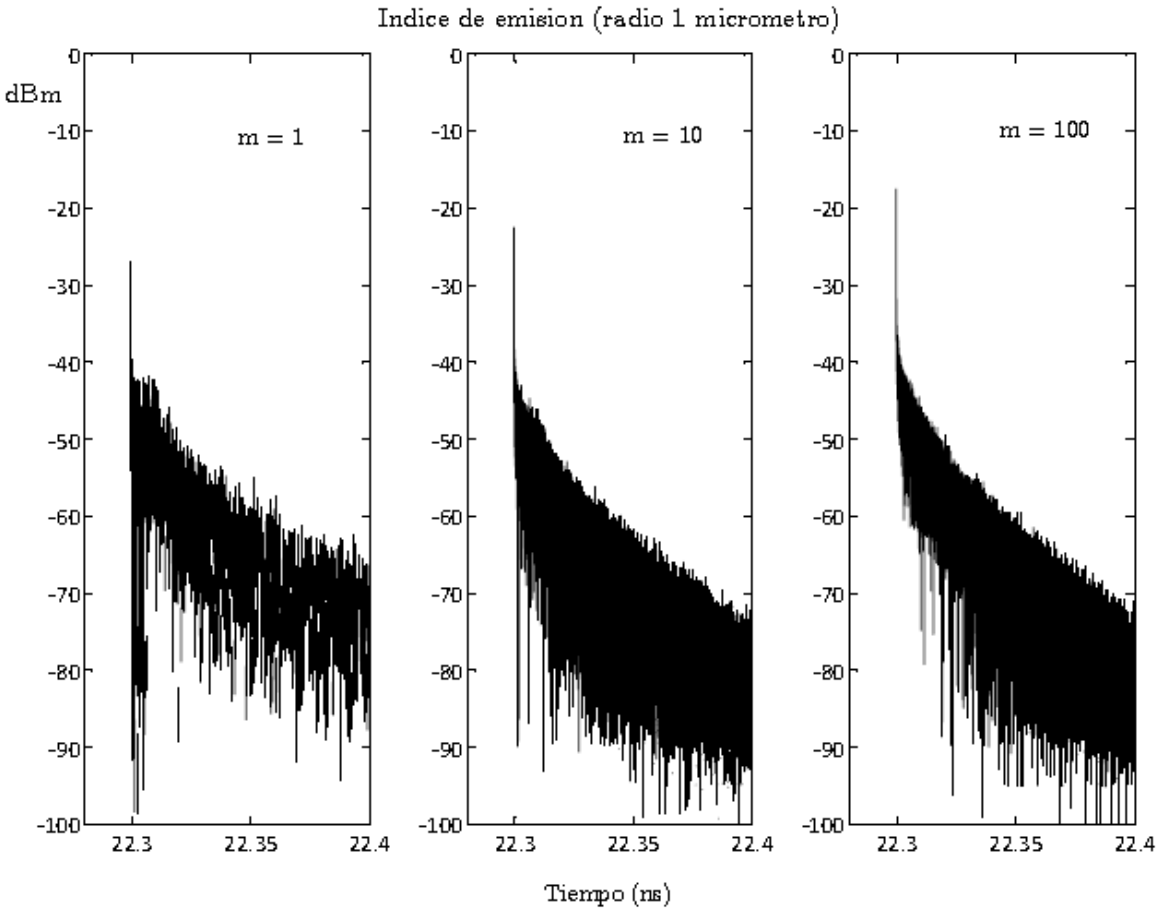
Estado del arte

Características del canal

Simulación de canal

Aplicación para UWSN

Simulación de Monte Carlo



Introducción a UWOC

Ámbito de aplicación

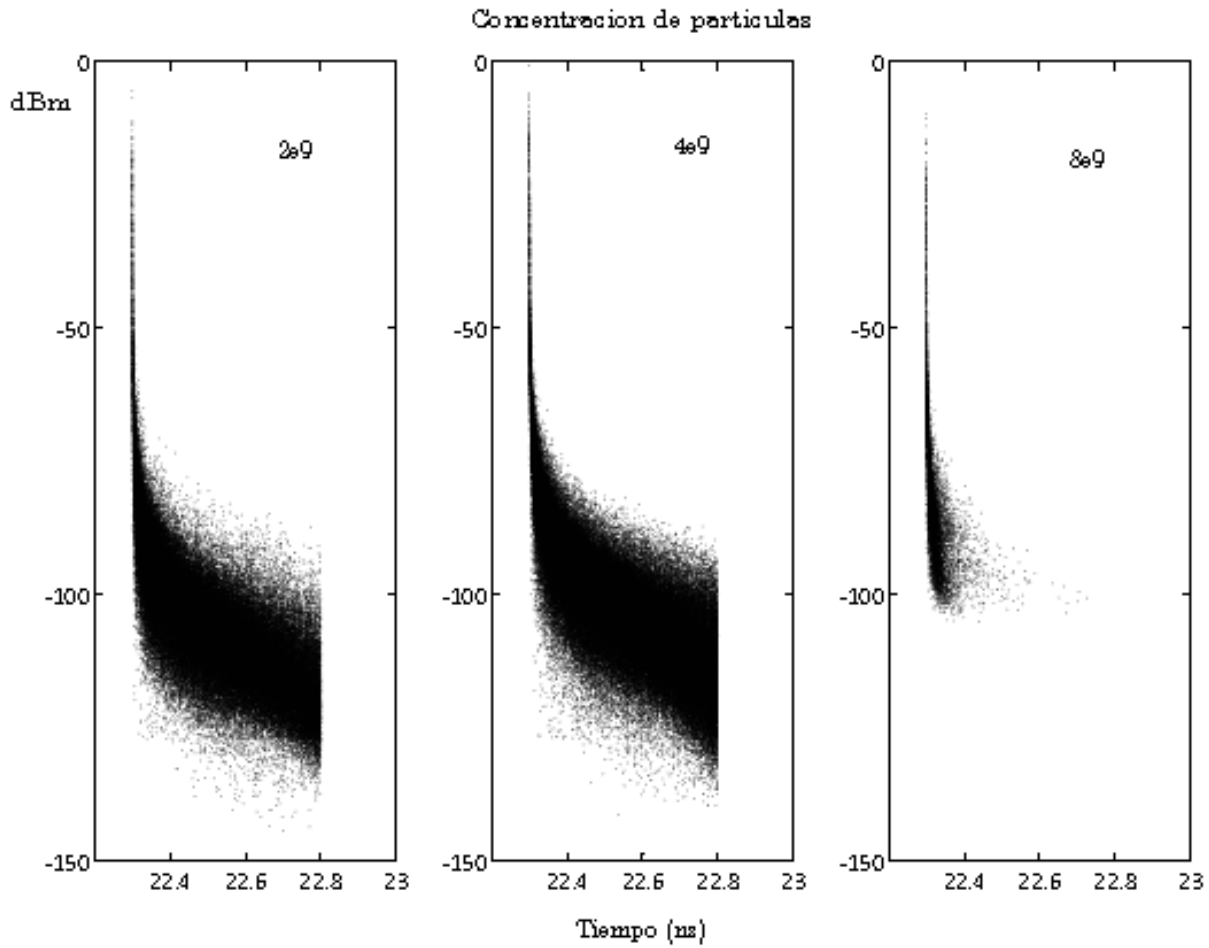
Estado del arte

Características del canal

Simulación de canal

Aplicación para UWSN

Simulación de Monte Carlo



Introducción a UWOC
Ámbito de aplicación
Estado del arte
Características del canal
Simulación de canal
Aplicación para UWSN

Simulación de Monte Carlo

Distancia (m)	t_{rms}
1	153 fs
2.5	206 fs
5	274 fs

R (um)	t_{rms}
1	28.312 ps
4	1.38 ps
8	274 fs

Concent. (·1e9)	t_{rms}
2	274 fs
4	274 fs
8	286 fs

Índice emisor	t_{rms}
1	28.312 ps
10	23.74 ps
100	20.41 ps

Introducción a UWOC

Ámbito de aplicación

Estado del arte

Características del canal

Simulación de canal

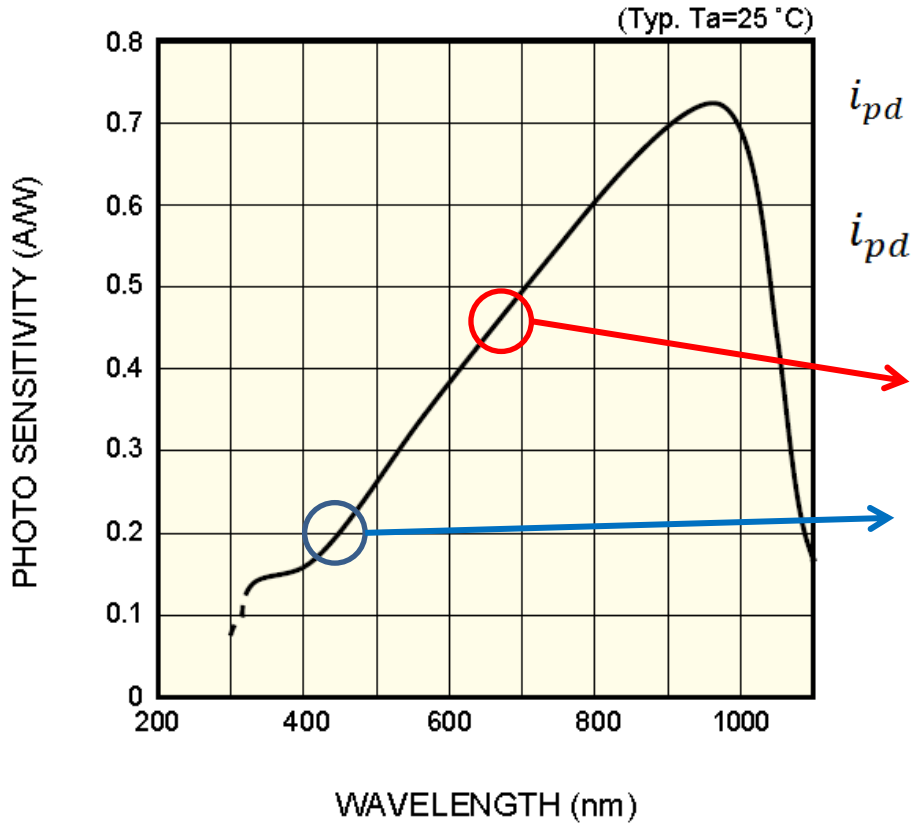
Aplicación para UWSN

Underwater Wireless Sensor Networks

- Eficiencia energética es crítica para cualquier SN
- Sistemas UWOC basados siempre en λ con menor $c(\lambda)$
- Para ciertas distancias, otras λ pueden ser más eficientes

Introducción a UWOC
Ámbito de aplicación
Estado del arte
Características del canal
Simulación de canal
Aplicación para UWSN

Respuesta de un fotodiodo vs. Absorción del agua



$$i_{pd} = \int \Re(\lambda) P_{Rx}(\lambda) d\lambda$$

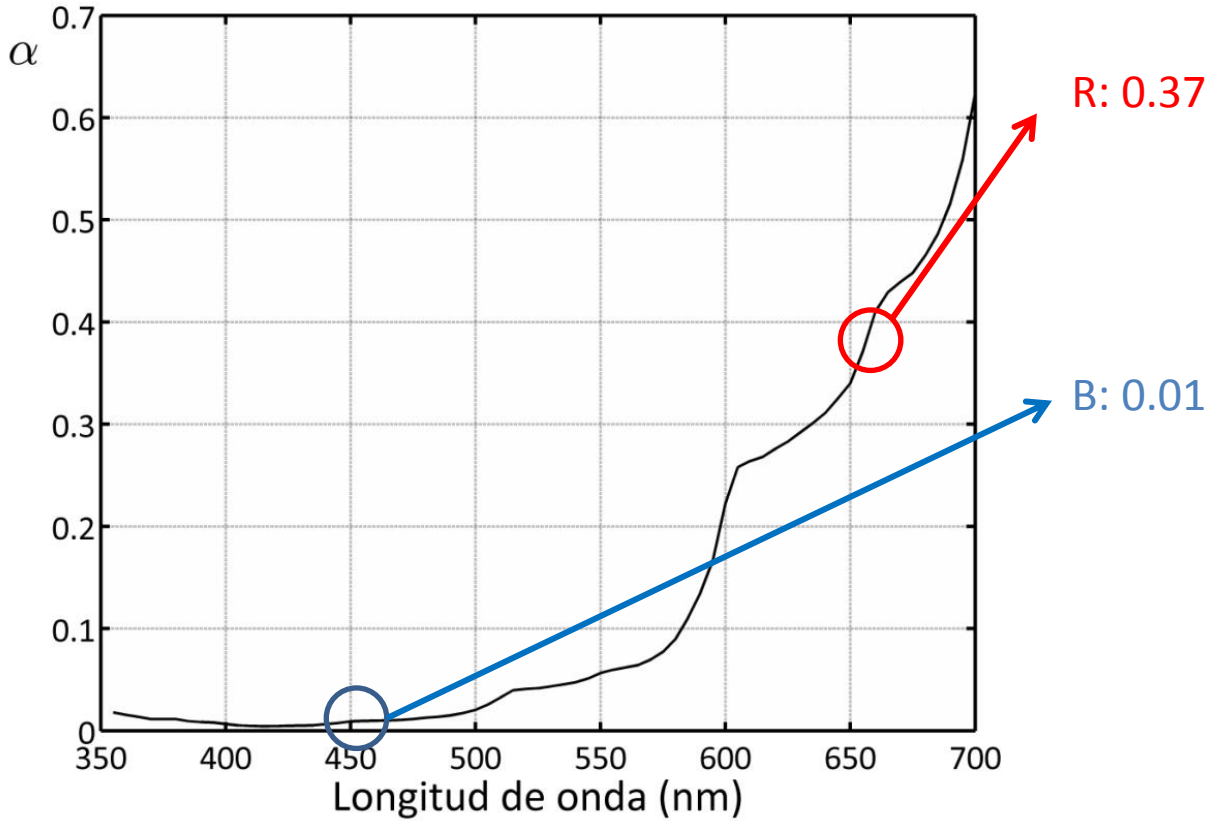
$$i_{pd} = \Re(\lambda_0) P_{Rx}(\lambda_0)$$

R: 0.45

B: 0.2

Introducción a UWOC
Ámbito de aplicación
Estado del arte
Características del canal
Simulación de canal
Aplicación para UWSN

Respuesta de un fotodiodo vs. Absorción del agua



Introducción a UWOC

Ámbito de aplicación

Estado del arte

Características del canal

Simulación de canal

Aplicación para UWSN

Respuesta de un fotodiodo vs. Absorción del agua

$$\frac{i_{pd}}{P_{elec}} = S(\lambda, d) = \frac{P_{Tx}\,\Re(\lambda)}{P_{elec}}\, e^{-\alpha(\lambda)d}\, L_{sph}$$

$$S(\lambda, d) = \eta\, e^{-\alpha(\lambda)d}$$

$$d_{cross} = \frac{\ln\left(\frac{\overline{\eta_1}}{\overline{\eta_2}}\right)}{\alpha_1 - \alpha_2} \qquad d_{cross} \approx 2.05\ m$$

Introducción a UWOC

Ámbito de aplicación

Estado del arte

Características del canal

Simulación de canal

Aplicación para UWSN

Consecuencia

- Emisiones en rojo permiten un ahorro energético por debajo de los dos metros

- Se puede proponer un protocolo eficiente de descubrimiento de nodos en UWOC

- Cada nodo quedaría configurado con una longitud de onda u otra

Introducción a UWOC

Ámbito de aplicación

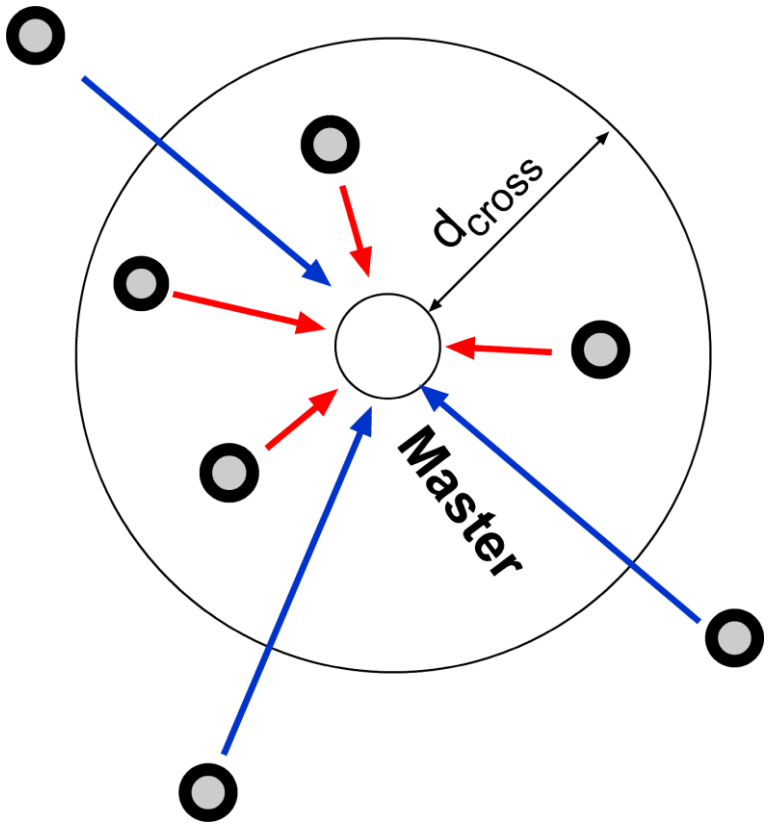
Estado del arte

Características del canal

Simulación de canal

Aplicación para UWSN

Consecuencia



Introducción a UWOC

Ámbito de aplicación

Estado del arte

Características del canal

Simulación de canal

Aplicación para UWSN

THE END