

DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA TECNOLÓGICA PARA FORTALECER LA CONECTIVIDAD EN EL MALECÓN DE PUERTO CAYO

DESIGN OF TECHNOLOGICAL INFRASTRUCTURE TO STRENGTHEN CONNECTIVITY IN THE MALECON OF PUERTO CAYO

Andrés Patricio Calderón Parrales ^{1*}

¹ Ingeniero en Computación y Redes. Estudiante de la Maestría en Tecnologías de la Información y la Comunicación en el Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí. Docente de Unidad de Admisión y Nivelación de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, Carrera de TIC, Materia Técnicas de Flujo de P II 2021, PI 2022, P II 2022, PI 2023, Manabí. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8228-4315>. Correo: andres-calderon6364@unesum.edu.ec

José Efraín Álava Cruzatty ²

² Ingeniero en Telecomunicaciones y Máster en Telecomunicaciones. Personal académico auxiliar Profesor, Responsable de la Comisión de Aseguramiento de la Calidad de la Carrera de Tecnologías de la Información. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Manabí – Ecuador. Doctorante de la Universidad Nacional de Piura. Manabí. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2133-7556>. Correo: jose.alava@unesum.edu.ec

* Autor para correspondencia: andres-calderon6364@unesum.edu.ec

Resumen

La infraestructura tecnológica es el conjunto de recursos físicos, hardware, software, servicios y herramientas que permiten a una organización o empresa operar y llevar a cabo sus procesos de manera eficiente y efectiva. Este trabajo de investigación tuvo como objetivo diseñar una infraestructura tecnológica para el fortalecimiento de la conectividad en el Malecón de Puerto Cayo, a través de la tecnología IRS (Superficie Reflectante Inteligente), que puede mejorar significativamente el rendimiento de las redes de comunicación inalámbricas, al reconfigurar de manera inteligente el entorno de propagación inalámbrica con el uso de elementos reflectantes pasivos masivos de bajo costo integrados en una superficie plana. Para ello se empleó una metodología de orden cuali-cuantitativo, bajo un diseño descriptivo de corte transversal. Los principales resultados evidencian que la superficie reflectante inteligente es capaz de mejorar significativamente la calidad de la señal inalámbrica alrededor de la superficie y puede utilizarse para mejorar la cobertura y la capacidad de las redes inalámbricas, especialmente en entornos urbanos y de alta densidad de usuarios como el Malecón. En conclusión, la implementación de la IRS en Puerto Cayo podría tener varios beneficios en

términos de comunicaciones inalámbricas y eficiencia energética. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la ejecución de esta tecnología puede ser costosa y puede requerir una inversión significativa en infraestructura y equipos, por lo que se necesitaría una evaluación cuidadosa de los costos y beneficios antes de tomar una decisión sobre su implantación.

Palabras clave: comunicación inalámbrica; entorno inteligente; Puerto Cayo; servicios de internet; tecnología IRS

Abstract

Technological infrastructure is the set of physical resources, hardware, software, services and tools that allow an organization or company to operate and carry out its processes efficiently and effectively. The objective of this research work was to design a technological infrastructure for the strengthening of connectivity in the Puerto Cayo Malecon, through IRS (Intelligent Reflective Surface) technology, which can significantly improve the performance of wireless communication networks, by intelligently reconfiguring the wireless propagation environment with the use of low-cost massive passive reflective elements integrated in a flat surface. For this purpose, a quali-quantitative methodology was used, under a descriptive cross-sectional design. The main results show that the smart reflective surface is able to significantly improve the quality of the wireless signal around the surface and can be used to improve the coverage and capacity of wireless networks, especially in urban and high user density environments such as the Malecon. In conclusion, the implementation of IRS in Puerto Cayo could have several benefits in terms of wireless communications and energy efficiency. However, it should be kept in mind that the implementation of this technology can be costly and may require significant investment in infrastructure and equipment, so a careful evaluation of costs and benefits would be needed before making a decision on its implementation.

Keywords: intelligent environment; internet services; IRS technology; Puerto Cayo; wireless communication

Fecha de recibido: 05/05/2023

Fecha de aceptado: 17/06/2023

Fecha de publicado: 10/07/2023

Introducción

En la actualidad, la infraestructura tecnológica es esencial para muchos aspectos de la vida cotidiana, desde el trabajo y la educación hasta el entretenimiento y las compras. La infraestructura tecnológica incluye redes de comunicación, dispositivos electrónicos, software, centros de datos y otros componentes que permiten el acceso y la distribución de información digital. En particular, la pandemia del COVID-19 ha resaltado aún más la importancia de la infraestructura tecnológica para permitir el trabajo remoto, el aprendizaje en línea,

las consultas médicas virtuales, el entretenimiento en casa y la conexión social a través de las redes sociales y otras aplicaciones.

Los científicos tienen una variedad de opiniones sobre la infraestructura tecnológica, dependiendo del contexto específico y de las preocupaciones científicas involucradas. En general, muchos científicos creen que la infraestructura tecnológica es esencial para apoyar la investigación científica y para hacer posible el desarrollo de nuevas tecnologías. Sin embargo, algunos científicos también tienen preocupaciones sobre cómo la infraestructura tecnológica puede impactar la investigación científica y la sociedad en general. Por ejemplo, algunos se preocupan por la dependencia excesiva de la tecnología en la investigación, lo que puede llevar a una falta de habilidades técnicas y científicas fundamentales. Otros pueden estar preocupados por la privacidad y la seguridad de los datos en una era de tecnología avanzada, o sobre el impacto social y ético de la tecnología en áreas como la inteligencia artificial y la robótica.

El problema en el Malecón Puerto Cayo es la falta de una infraestructura tecnológica adecuada que permita una conectividad de calidad a los usuarios. Actualmente, la disponibilidad y calidad de los servicios de telecomunicaciones en la zona son limitados, lo que afecta a residentes y turistas que necesitan estar conectados para trabajar, estudiar o entretenerse. Además, la falta de una infraestructura tecnológica adecuada también puede limitar la capacidad de la zona para atraer turismo y generar ingresos.

Muchos turistas esperan tener acceso a servicios de telecomunicaciones de alta calidad durante su estadía, por lo que la falta de conectividad puede disuadirlos de visitar el Malecón Puerto Cayo. En síntesis, la falta de una infraestructura tecnológica adecuada es un problema que afecta la calidad de vida de los residentes, limita el potencial turístico de la zona y dificulta el acceso a oportunidades educativas y laborales que dependen de una conectividad adecuada.

Con estos antecedentes, el objetivo del presente manuscrito se centró en diseñar una infraestructura tecnológica que fortalezca la conectividad en el Malecón Puerto Cayo, considerando que para fortalecer la conectividad en el Malecón, es importante llevar a cabo una evaluación de la situación actual, identificar las necesidades, diseñar una red de infraestructura tecnológica, seleccionar proveedores de servicios confiables, implementar y mantener la red, y ofrecer educación y capacitación a los usuarios. Finalmente, el diseño e implementación de una infraestructura tecnológica adecuada para fortalecer la conectividad en el Malecón Puerto Cayo puede contribuir a mejorar la calidad de vida de los residentes, atraer turismo y promover el desarrollo económico, así como permitir el acceso a oportunidades educativas y laborales y mejorar la eficiencia en los procesos empresariales.

Materiales y métodos

Este estudio se realizó con una orientación mixta de enfoque cualitativo-cuantitativo, se emplearon métodos de la investigación científica tales como: histórico-lógico, inducción-deducción, análisis-síntesis, bibliográfico y estadístico-matemático. Se obtuvo una investigación aplicada, lo que permite una alta comprensión del tema y de campo, lo que significa que no se manipularon los sujetos ni el entorno, se empleó la observación y la entrevista como técnicas de investigación. Para contribuir aún más a la investigación, se realizó una amplia descripción de la tecnología IRS, incluyendo sus principales aplicaciones en la comunicación inalámbrica, las ventajas competitivas frente a las tecnologías existentes, la arquitectura

hardware y el nuevo modelo de sellado. A continuación, se describen los elementos teóricos que justifican las características y necesidades de la investigación.

Puerto Cayo

Puerto Cayo es una ciudad costera ubicada en la provincia de Manabí, en la costa suroeste de Ecuador. Es conocida por sus playas de arena blanca y aguas cristalinas, y es un destino popular entre los turistas locales y extranjeros. La ciudad cuenta con una amplia gama de actividades turísticas, incluyendo la pesca deportiva, el buceo y el surf. Además, es conocida por su cocina de mariscos frescos y su ambiente relajado y tranquilo.

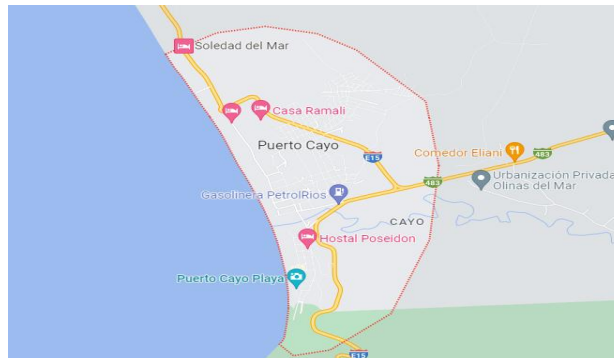


Figura 1: Ubicación de Puerto Cayo
Fuente: <https://goo.gl/maps/2Q7Fn98HATsJwG8v7>

Malecón Puerto Cayo

Es una avenida costera que se extiende a lo largo de la playa principal de la ciudad, en la provincia de Manabí, en la costa suroeste de Ecuador. Es un lugar popular entre turistas y locales para caminar, correr, andar en bicicleta y disfrutar de la vista del mar. El malecón está pavimentado con concreto y tiene varias áreas de descanso, bancos y pequeños jardines. También hay varios restaurantes, bares y tiendas de souvenirs a lo largo de él. En ciertas épocas del año, se pueden encontrar puestos de venta de productos locales como artesanías y comida típica.

El malecón ofrece una vista panorámica de la playa, el océano y las colinas circundantes. Además, cuenta con una pequeña playa pública con sombrillas y tumbonas disponibles para alquilar. La conectividad y la eficiencia de la infraestructura tecnológica del lugar varían dependiendo de varios factores, como la ubicación, la cantidad de visitantes, la inversión en infraestructura, entre otros.

El malecón de Puerto Cayo experimenta algunos problemas con la conectividad y la infraestructura tecnológica durante los periodos de alta temporada, debido al aumento en el número de visitantes y el uso de dispositivos móviles y redes sociales. Sin embargo, se espera dar solución a esta problemática, pues su mejoramiento depende de la inversión en infraestructura y la capacidad de las empresas de telecomunicaciones locales que gestione el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Puerto Cayo para satisfacer la demanda de conectividad.



Figura 2: Malecón Puerto Cayo

Fuente: (Jipijapa, 2019)

Superficie Reflectante Inteligente (IRS)

En informática, *Intelligent Reflecting Surface* o Superficie Reflectante Inteligente (IRS) se refiere a una técnica de comunicación inalámbrica que utiliza superficies reflectantes para mejorar la calidad de la señal y aumentar la velocidad de transmisión de datos en redes inalámbricas. La tecnología de superficie reflectante inteligente en informática utiliza múltiples elementos de superficie que actúan como espejos, reflejando y redirigiendo las señales de radiofrecuencia entre un transmisor y un receptor. Estos elementos se pueden colocar en paredes, techos, muebles y otros objetos para crear una superficie reflectante.

El IRS en informática se utiliza en redes inalámbricas de alta velocidad, como las redes 5G y Wi-Fi, para mejorar la cobertura de la señal y reducir la interferencia en ambientes con obstáculos físicos, como paredes y muebles. La superficie reflectante inteligente puede mejorar la calidad de la señal y aumentar la velocidad de transmisión de datos, lo que puede mejorar la experiencia del usuario y reducir los tiempos de latencia (Tao et al., 2020).

La Superficie Reflectante Inteligente (IRS) se puede implementar cerca del mar

Sí, la superficie reflectante inteligente (IRS) se puede implementar cerca del mar siempre y cuando se tenga en cuenta ciertos factores. El IRS es un tipo de tecnología de mitigación de calor que consiste en superficies reflectantes diseñadas para reflejar la radiación solar y reducir la cantidad de calor absorbido por edificios y otras estructuras. Esta tecnología se puede utilizar en una variedad de entornos, incluyendo áreas urbanas, zonas rurales e incluso cerca del mar.

Sin embargo, cuando se implementa cerca del mar, es importante tener en cuenta los efectos de la corrosión y la salinidad del agua. El ambiente marino puede ser extremadamente corrosivo y puede dañar rápidamente los materiales no resistentes a la corrosión. Por lo tanto, es importante seleccionar materiales adecuados y resistentes a la corrosión para la implementación del IRS cerca del mar. Además, también es importante considerar el efecto de la reflectividad en el ecosistema marino. Las superficies reflectantes pueden reflejar la luz solar directamente en el agua, lo que puede afectar la vida marina. Por lo tanto, se debe llevar a cabo un análisis de impacto ambiental antes de implementar esta tecnología.

Aplicaciones potenciales de la Tecnología IRS

Una de las aplicaciones potenciales de la tecnología IRS es la reducción del calentamiento global mediante la reflexión de la luz solar y la radiación infrarroja de la superficie terrestre de regreso al espacio. Al colocar paneles reflectantes en áreas costeras, se puede reflejar parte de la radiación solar incidente de vuelta al espacio, lo que puede reducir la absorción de calor en la superficie terrestre y en los océanos.

Además, la implementación de IRS cerca del mar puede tener otros beneficios, como la reducción de la temperatura en las ciudades costeras y la mejora de la eficiencia energética de los edificios cercanos al mar. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la implementación de IRS debe llevarse a cabo con precaución y considerando cuidadosamente los posibles impactos ambientales y socioeconómicos (Okogbaa et al., 2022).

Efectos de la tecnología *Intelligent Reflecting Surfaces*

El uso de superficies reflectantes inteligentes o *Intelligent Reflecting Surfaces* (IRS) cerca del mar puede tener tanto efectos positivos como negativos, que se describen a continuación:

Efectos positivos. Aumento de la cobertura de señal: El uso de IRS en áreas costeras puede mejorar la calidad de la señal inalámbrica, proporcionando una mayor cobertura de señal y reduciendo las zonas muertas. Reducción de la interferencia: La implementación de IRS puede ayudar a reducir la interferencia en áreas densamente pobladas y en zonas costeras donde hay múltiples fuentes de señal. Aumento de la eficiencia energética: Al mejorar la calidad de la señal, se reduce la necesidad de transmitir con mayor potencia, lo que puede ayudar a ahorrar energía y reducir el impacto ambiental. Mejora de la seguridad en el mar: La implementación de IRS en áreas costeras puede mejorar la seguridad marítima al permitir una mejor comunicación entre los barcos y los servicios de emergencia.

Efectos negativos. Posibles efectos ambientales: La implementación de IRS puede tener un impacto en la fauna marina, particularmente en la vida acuática que depende de las señales electromagnéticas para la navegación y la comunicación. Impacto visual: Las IRS se colocan en lugares visibles, lo que puede tener un impacto visual negativo en el paisaje costero. Costos y mantenimiento: El costo de implementar y mantener la infraestructura necesaria para las IRS puede ser alto y requiere una inversión continua en mantenimiento y actualización. Riesgos de seguridad: La implementación de IRS puede plantear riesgos de seguridad si los sistemas son vulnerables a los ataques cibernéticos o si se utilizan para interceptar información (Okogbaa et al., 2022).

En síntesis, el uso de superficies reflectantes inteligentes cerca del mar puede tener tanto efectos positivos como negativos, y cualquier implementación debe evaluarse cuidadosamente para maximizar los beneficios y minimizar los impactos negativos en el medio ambiente, la seguridad y el paisaje costero.

Características de una infraestructura tecnológica potente con IRS

La cantidad de usuarios que pueden conectarse a Internet utilizando una superficie reflectante inteligente o *Intelligent Reflecting Surface* (IRS) depende de varios factores, como la frecuencia utilizada, la potencia de la señal y la configuración de la red.

En teoría, una IRS puede aumentar significativamente la capacidad de la red inalámbrica al mejorar la calidad de la señal y reducir la interferencia. Se espera que las IRS puedan soportar cientos o incluso miles de

dispositivos conectados simultáneamente. Sin embargo, la implementación de una IRS en un entorno real puede estar limitada por factores como la disponibilidad de energía y el costo de los materiales. Además, la cantidad de usuarios que pueden conectarse a una red también dependerá de la capacidad de la red y el ancho de banda disponible.

La frecuencia máxima, la potencia de la señal máxima y la configuración de la red máxima para que muchos usuarios puedan conectarse a Internet a través de una superficie reflectante inteligente o Intelligent Reflecting Surface (IRS), dependerá de varios factores, como la distancia entre los dispositivos, el tipo de aplicaciones utilizadas y la densidad de usuarios. En general, las frecuencias utilizadas para la comunicación inalámbrica suelen estar entre 2.4 GHz y 5 GHz. Sin embargo, algunas tecnologías de redes inalámbricas de alta velocidad, como WiGig y 5G, utilizan frecuencias de hasta 60 GHz. En teoría, una superficie reflectante inteligente puede mejorar la calidad de la señal en cualquier frecuencia. En cuanto a la potencia de la señal, esta dependerá de la distancia entre los dispositivos y la densidad de usuarios en la red. En general, las redes inalámbricas suelen funcionar mejor cuando se utilizan niveles de potencia de señal más bajos para evitar la interferencia.

La configuración de la red también puede ser un factor importante en la cantidad de usuarios que pueden conectarse a través de una superficie reflectante inteligente. Una red bien diseñada y configurada puede soportar más usuarios que una red mal diseñada. Además, el uso de tecnologías de múltiples antenas y la asignación adecuada de canales también puede mejorar la capacidad de la red. En resumen, la frecuencia máxima, la potencia de la señal máxima y la configuración de la red máxima para que muchos usuarios puedan conectarse a Internet a través de una superficie reflectante inteligente dependerán de varios factores y no existe una respuesta única y universal para esta pregunta (Kadoch, 2021).

Aplicaciones típicas de la red inalámbrica asistida por el IRS

En la Figura 3 (a), un usuario está ubicado en una zona muerta donde el enlace directo entre él y su BS de servicio está severamente bloqueado por un obstáculo. En este caso, implementar un IRS que tenga vínculos claros con la BS y el usuario ayuda a sortear el obstáculo a través del reflejo de la señal inteligente y, por lo tanto, crea un vínculo virtual de línea de visión (LoS) entre ellos. Esto es particularmente útil para la extensión de cobertura en comunicaciones mmWave que son altamente vulnerables a bloqueos en interiores.

La Figura 3 (b) muestra el uso de IRS para mejorar la seguridad de la capa física. En marcado contraste con las técnicas de adaptación de enlaces inalámbricos existentes en el transmisor/receptor, IRS modifica proactivamente el canal inalámbrico entre ellos a través de una reflexión de señal inteligente y altamente controlable. Esto proporciona un nuevo grado de libertad (DoF) para mejorar aún más el rendimiento del enlace inalámbrico y allana el camino para lograr un entorno inalámbrico inteligente y programable. Al ajustar correctamente la formación de haces pasivos 3D, la señal reflejada por IRS puede sumarse constructivamente a las de los otros caminos para mejorar la potencia de la señal deseada en el receptor, o destructivamente para cancelar la señal no deseada, como la interferencia cocanal. Dado que IRS elimina el uso de cadenas de transmisión de RF y opera solo en un rango corto, puede implementarse densamente con un costo escalable y bajo consumo de energía, pero sin la necesidad de una gestión de interferencia sofisticada entre los IRS pasivos.

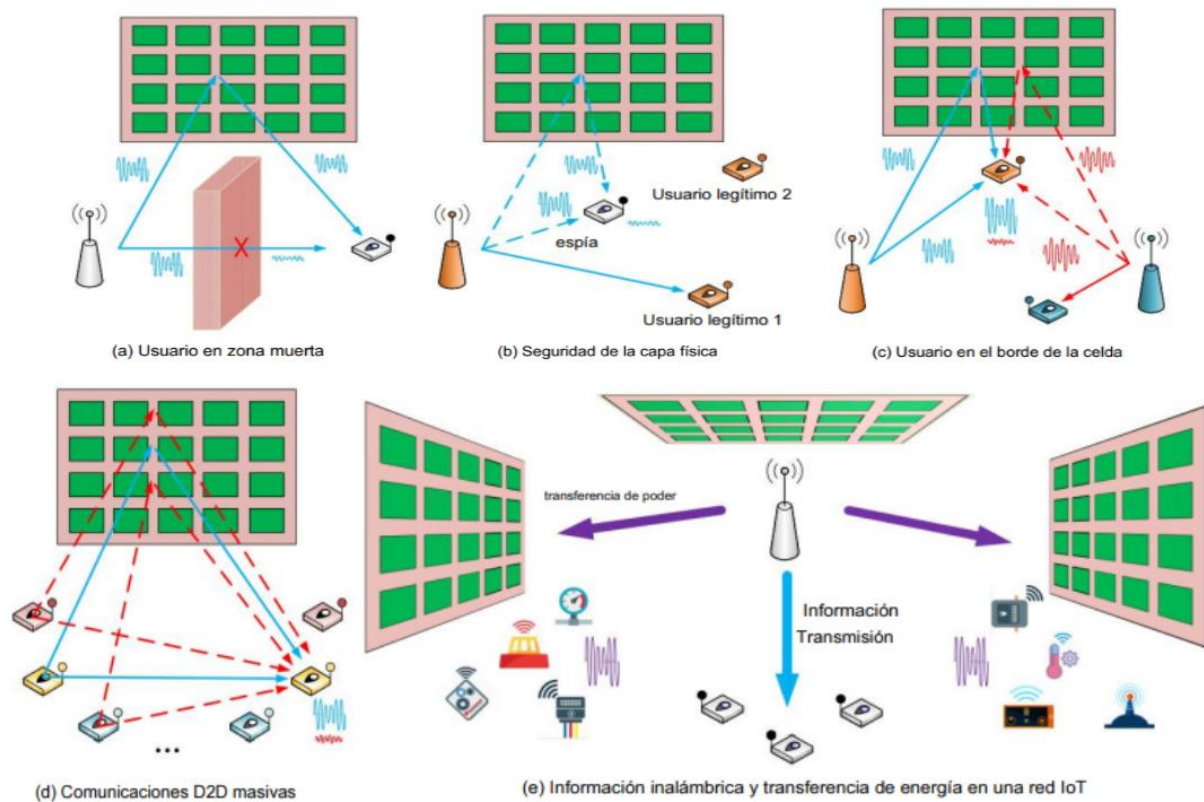


Figura 3: Aplicaciones típicas del IRS en una red inalámbrica.

Aunque las tecnologías de capa física 5G son generalmente capaces de adaptarse al entorno inalámbrico variable en el tiempo y el espacio, la propagación de la señal es esencialmente aleatoria y en gran medida incontrolable. Motivado por lo anterior, la superficie reflectante inteligente (IRS) se ha propuesto recientemente como una nueva tecnología prometedora para reconfigurar la red inalámbrica. Cuando la distancia del enlace de la BS al intruso es menor que la del usuario legítimo (p. ej., usuario 1), o el intruso se encuentra en la misma dirección que el usuario legítimo (p. ej., usuario 2), la tasa de comunicación secreta alcanzables son muy limitado (incluso empleando formación de haces de transmisión en la BS en el último caso). Sin embargo, si se despliega un IRS cerca del intruso, la señal reflejada por el IRS puede ajustarse para cancelar la señal (no reflejada por el IRS) de la BS en el intruso, reduciendo así efectivamente la fuga de información.

En la Figura 3 (c), para un usuario en el borde de la celda que sufre una alta atenuación de la señal de su BS servidor y una grave interferencia cocanal de una BS vecina, se puede implementar un IRS en el borde de la celda para ayudar no solo a mejorar la potencia de señal deseada, sino que también suprime la interferencia mediante el diseño adecuado de su formación de haz reflejado, creando así un "punto de acceso de señal" y una "zona libre de interferencias" en su vecindad.

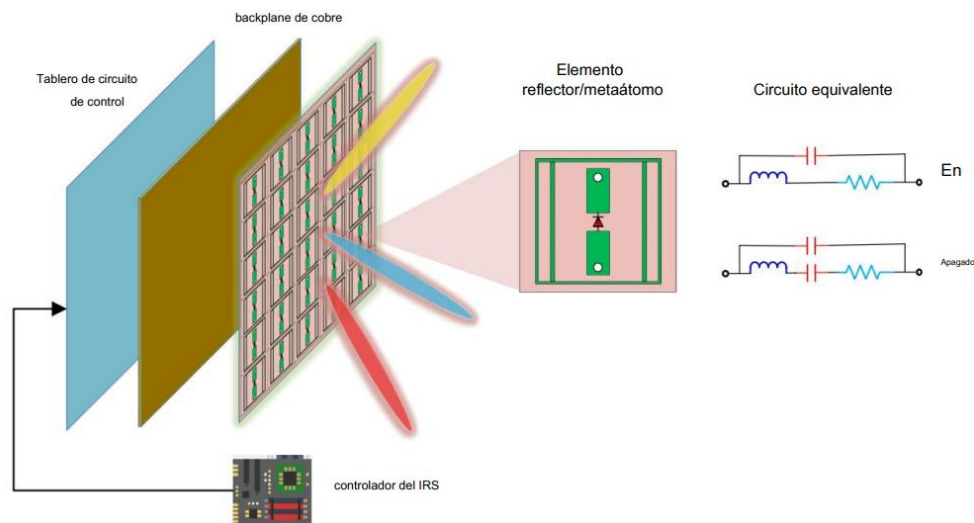
La Figura 3 (d) ilustra el uso de IRS para habilitar comunicaciones masivas de dispositivo a dispositivo (D2D) donde el IRS actúa como un centro de reflexión de señales para admitir transmisiones simultáneas de baja potencia a través de la mitigación de interferencias.

Por último, la Figura 3 (e) muestra la aplicación de IRS para realizar la transferencia inalámbrica simultánea de información y energía (SWIPT) a dispositivos diversos en una red de Internet de las cosas (IoT), donde la gran apertura de IRS se aprovecha para compensar la pérdida significativa de energía a larga distancia a través de la formación pasiva de haces a los dispositivos IoT cercanos para mejorar la eficiencia de la transferencia inalámbrica de energía a ellos (Wu & Zhang, 2020).

Ventajas

Además de las prometedoras aplicaciones anteriores, el IRS también posee atractivas ventajas desde el punto de vista de la implementación. En primer lugar, los IRS suelen fabricarse con perfil bajo, peso ligero y geometría conformada, lo que facilita montarlos o quitarlos de la pared, techo, fachadas de edificios, paneles publicitarios, etc. Además, dado que el IRS es un dispositivo complementario en redes inalámbricas, implementarlo en sistemas inalámbricos existentes (por ejemplo, celular o WiFi) no requiere cambiar su estandarización y hardware, mientras que solo es suficiente la modificación necesaria de los protocolos de comunicación. Como resultado, la integración de IRS en las redes inalámbricas puede hacerse transparente para los usuarios, proporcionando así una gran flexibilidad y una compatibilidad superior con los sistemas inalámbricos existentes. Por lo tanto, IRS puede implementarse e integrarse prácticamente en redes inalámbricas a bajo costo.

A pesar de sus muchos beneficios, la red inalámbrica asistida por el IRS constituye tanto componentes activos (BS, AP, terminal de usuario) como pasivos (IRS), por lo que se diferencian significativamente de la red tradicional compuesta únicamente por componentes activos. Esto motiva este artículo para brindar una descripción general de IRS, incluido su modelo de señal, arquitectura de hardware, diseño de formación de haces pasivos, adquisición de canales, implementación de nodos, etc. Además, permite analizar si es convincente su implementación en el Malecón de Puerto Cayo. En particular, se destacan los principales desafíos y sus posibles soluciones para diseñar e implementar redes inalámbricas asistidas por el IRS para inspirar futuras investigaciones. También se proporcionan resultados numéricos para validar la eficacia del IRS en aplicaciones inalámbricas representativas.

**Figura 4:** Arquitectura del IRS

Modelo de señal

Como se muestra en la Figura 3 (a), el canal compuesto desde la BS al usuario a través de cada elemento del IRS es una concatenación de tres componentes, a saber, el enlace BS-IRS, la reflexión del IRS y el enlace IRS-usuario. Dicho canal compuesto generalmente se denomina canal de retrodispersión diádica en comunicaciones RFID, que se comporta de manera diferente al canal directo punto a punto convencional. Específicamente, se parece a una propagación ojo de cerradura/ojo de alfiler donde cada elemento del IRS recibe las señales de caminos múltiples superpuestas del transmisor, y luego dispersa la señal combinada con amplitud y/o fase ajustable como si fuera de una sola fuente puntual, lo que conduce a un modelo de canal “multiplicativo”.

Arquitectura de Hardware

La implementación de hardware de IRS se basa en el concepto de "metasuperficie", que está hecha de metamaterial bidimensional (2D) que es controlable digitalmente. Específicamente, la metasuperficie es una matriz plana que consta de una gran cantidad de elementos o los llamados metaátomos con espesor eléctrico en el orden de la sublongitud de onda de la frecuencia operativa de interés. Al diseñar correctamente los elementos, incluida la forma geométrica (p. ej., cuadrado o anillo dividido), tamaño/dimensión, orientación, disposición, etc., su respuesta de señal individual (amplitud de reflexión y cambio de fase) puede modificarse en consecuencia. En las aplicaciones de comunicación inalámbrica, el coeficiente de reflexión de cada elemento debe poder ajustarse para adaptarse a los canales inalámbricos dinámicos que surgen de la movilidad del usuario, lo que requiere reconfigurabilidad en tiempo real. Esto se puede lograr aprovechando dispositivos electrónicos como diodos positivos-negativos intrínsecos (PIN), transistores de efecto de campo (FET) o interruptores de sistemas microelectromecánicos (MEMS).

Como se muestra en la Figura 4, una arquitectura típica de IRS puede constar de tres capas y un controlador inteligente. En la capa exterior, se imprime una gran cantidad de parches (elementos) metálicos sobre un

sustrato dieléctrico para interactuar directamente con las señales incidentes. Detrás de esta capa, se utiliza una placa de cobre para evitar la fuga de energía de la señal. Por último, la capa interna es una placa de circuito de control que es responsable de ajustar el cambio de amplitud/fase de reflexión de cada elemento, activado por un controlador inteligente conectado al IRS.

Desafíos del diseño

Un desafío del diseño de formación de haces pasivos por IRS en la práctica radica en los niveles discretos de amplitud y cambio de fase antes mencionados de cada elemento. Dan como resultado órdenes de complejidad que crecen exponencialmente en términos del número de elementos IRS, N , para buscar los valores discretos óptimos de amplitud/ cambio de fase, lo que hace que el problema de optimización sea NP-difícil a medida que N se vuelve grande.

El enfoque es primero relajar tales restricciones y resolver el problema con valores continuos de amplitud/cambio de fase, luego cuantificar las soluciones obtenidas a sus valores más cercanos en los conjuntos discretos correspondientes. Si bien este enfoque generalmente puede reducir significativamente el tiempo de cálculo a órdenes polinómicos de N , puede sufrir varias pérdidas en el rendimiento en comparación con la solución de valor continuo debido a errores de cuantificación, dependiendo del número de niveles de cuantificación, así como de N , y también es generalmente subóptima para el problema de optimización discreta original. Para mejorar aún más el rendimiento del enfoque anterior, se puede aplicar la técnica de optimización alternante heurística para optimizar iterativamente los valores discretos de amplitud/cambio de fase de cada elemento fijando los de todos los demás en cada iteración.

Por otro lado, la formación de haces de reflexión pasiva de IRS en general debe diseñarse conjuntamente con la formación de haces de transmisión de otros componentes activos en la red, como las BS, para optimizar el rendimiento de la red. Por ejemplo, en la Figura 3 (a) donde el enlace directo entre la BS y el usuario está severamente bloqueado, la formación de haces de transmisión de la BS debe apuntar hacia el IRS para maximizar su reflexión de señal para servir al usuario. Por el contrario, cuando la atenuación de la señal del enlace de usuario de la BS es comparable a la del enlace reflejado por IRS, la formación del haz de transmisión de la BS debe diseñarse adecuadamente para lograr un equilibrio entre las direcciones del usuario y del IRS.

Para la configuración multiusuario más general, un sistema asistido por IRS se beneficia no solo de la formación de haces de la señal deseada, sino también de la supresión de la interferencia multiusuario. Por ejemplo, el usuario más cercano al IRS en la Figura 3 (c) puede tolerar más interferencia de una BS vecina, porque la formación de haces reflejados del IRS (a través del control de amplitud y cambio de fase) puede diseñarse de tal manera que la interferencia reflejada por el IRS puede agregar destructivamente con eso directamente desde la BS que interfiere para cancelarlo al máximo en el receptor del usuario. Esto, a su vez, proporciona más flexibilidad para diseñar la formación de haces de transmisión en la BS vecina para servir a otros usuarios fuera de la región cubierta por el IRS.

A pesar de los beneficios anteriores, los diseños de formación de haces activo y pasivo en general están estrechamente acoplados y su diseño conjunto suele conducir a complicados problemas de optimización que son difíciles de resolver de manera óptima y eficiente. Para reducir esta alta complejidad, se puede aplicar la optimización alterna para obtener soluciones subóptimas, optimizando iterativamente una de las formaciones de haz de transmisión y reflexión con la otra siendo fija, hasta alcanzar la convergencia.

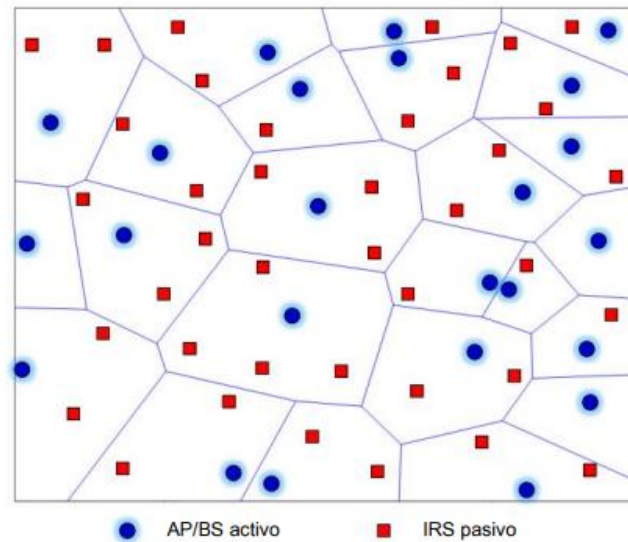


Figura 5: Ilustración de una red inalámbrica híbrida con BS activos e IRS pasivo

Despliegue del IRS

Cómo implementar juiciosamente los IRS en una red inalámbrica híbrida que comprende tanto BS activos como IRS pasivos (como se muestra en la Figura 5) para optimizar su rendimiento es otro problema crucial a resolver. En términos generales, este problema debe tener consideraciones diferentes en comparación con el despliegue de BS/relés activos en la red inalámbrica tradicional. Como los IRS se implementan solo para cobertura local, sus rangos operativos suelen ser mucho más cortos que los de los BS/relés activos, lo que facilita la implementación práctica de los IRS sin interferir entre sí (Wu & Zhang, 2020).

En primer lugar, desde el punto de vista de optimizar el rendimiento en una configuración de celda única, el IRS debe implementarse intuitivamente en una ubicación con LoS despejado desde la BS para maximizar la potencia de la señal recibida para la formación de haces pasivos. Sin embargo, cuando el IRS necesita admitir transmisiones simultáneas entre la BS y los usuarios en su región de cobertura, una estrategia de implementación tan sencilla puede no funcionar bien. Esto se debe a que una sola ruta LoS entre el IRS y la BS da como resultado un canal MIMO de bajo rango entre ellos y, por lo tanto, una ganancia de multiplexación espacial muy limitada de los enlaces asistidos por IRS generales entre la BS y los usuarios atendidos. Por lo tanto, la ubicación desplegada para IRS es prácticamente preferible que posea una ruta de LoS sólida con la BS, así como una cantidad suficientemente grande de rutas que no sean de LoS para habilitar el canal MIMO de alto rango, a fin de resolver la compensación anterior. Además, la implementación de IRS también debe tener en cuenta la densidad espacial de usuarios, es decir, con una alta prioridad para implementarse en áreas de puntos calientes con una gran cantidad de usuarios, así como el problema de la interferencia entre celdas, por ejemplo, cuando hay es una necesidad urgente implementar un IRS cerca del límite de dos celdas adyacentes para ayudar a cancelar la interferencia cocanal entre ellas, como se muestra en la Figura 3 (c).

Por último, desde la perspectiva del diseño de una red inalámbrica multicelular, surge el siguiente problema nuevo e interesante: ¿cuál es el límite de capacidad fundamental de las redes inalámbricas asistidas por el IRS? Si bien UDN es sin duda el factor más importante del asombroso aumento de capacidad en las redes 5G, se sabe que para las redes inalámbricas solo con BS activas, aumentar la densidad espacial de las BS más allá de cierto umbral reducirá asintóticamente la capacidad de la red a cero, debido a la interferencia cada vez más severa. Sin embargo, este resultado pesimista no es aplicable a la red inalámbrica asistida por IRS con BS activos híbridos e IRS pasivos, como se mostró en la Figura 5.

Resultados y discusión

Para diseñar una infraestructura tecnológica que fortalezca la conectividad en el Malecón Puerto Cayo, se pueden considerar los siguientes pasos:

Evaluación de la situación actual: Es importante evaluar la infraestructura tecnológica actual en el área, incluyendo el acceso a Internet, la calidad de la señal y la disponibilidad de servicios de telecomunicaciones.

Identificación de necesidades: Una vez evaluada la situación actual, se pueden identificar las necesidades de conectividad en el Malecón Puerto Cayo. Esto puede incluir el acceso a Internet de alta velocidad y la disponibilidad de servicios de telecomunicaciones móviles.

Diseño de la red: En función de las necesidades identificadas, se puede diseñar una red de infraestructura tecnológica para fortalecer la conectividad en el área. Esto puede incluir la instalación de torres de telecomunicaciones, la expansión de redes de fibra óptica y la instalación de puntos de acceso a Internet.

Selección de proveedores de servicios: Para llevar a cabo el diseño de la infraestructura tecnológica, es importante seleccionar proveedores de servicios confiables y de calidad para garantizar la eficacia y eficiencia de la red.

Implementación y mantenimiento: Una vez que se ha diseñado la infraestructura tecnológica, se puede proceder a su implementación y mantenimiento. Es importante asegurarse de que la red se instale adecuadamente y que se lleve a cabo el mantenimiento necesario para garantizar su óptimo rendimiento.

Educación y capacitación: Para que la infraestructura tecnológica sea efectiva, es importante que los usuarios estén capacitados y educados sobre su uso. Se pueden realizar programas de capacitación para asegurarse de que los usuarios comprendan cómo utilizar la red y los servicios que se ofrecen.

Contribución del diseño e implementación de la infraestructura tecnológica

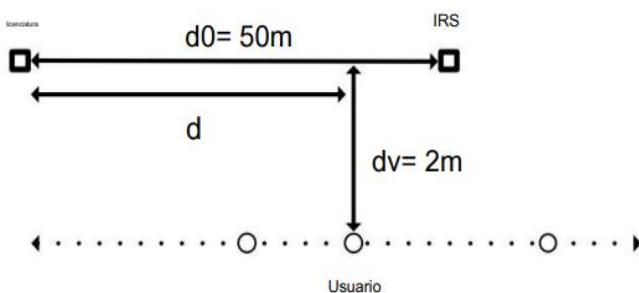
El diseño e implementación de una infraestructura tecnológica adecuada para fortalecer la conectividad en el Malecón Puerto Cayo contribuiría en varios aspectos, entre ellos: Mejora de la calidad de vida: El acceso a servicios de telecomunicaciones de calidad mejora la calidad de vida de los residentes, permitiéndoles trabajar y estudiar desde casa, mantenerse en contacto con amigos y familiares, acceder a servicios de salud en línea y disfrutar de entretenimiento en línea. Potencial turístico: El acceso a servicios de telecomunicaciones de alta calidad puede atraer a más turistas al Malecón Puerto Cayo, lo que puede generar ingresos para la zona y promover el desarrollo económico.

Acceso a oportunidades educativas y laborales: Una infraestructura tecnológica adecuada puede permitir a los residentes del Malecón Puerto Cayo acceder a oportunidades educativas y laborales en línea, lo que puede mejorar sus perspectivas de carrera y mejorar su calidad de vida. Mayor eficiencia en los procesos empresariales: Las empresas que operan en el Malecón Puerto Cayo podrían mejorar su eficiencia en los procesos empresariales y aumentar su competitividad mediante la implementación de tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

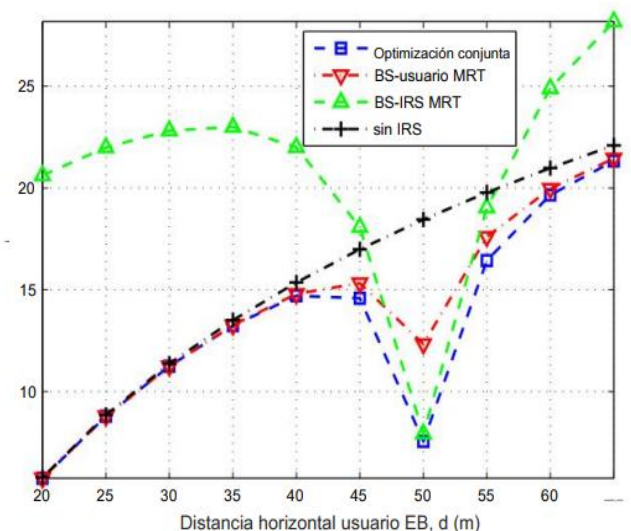
En esta sección también se proporcionan resultados numéricos para demostrar la eficacia del IRS propuesto en la creación de un "punto de acceso de señal" y una "zona libre de interferencias" que se muestran en la Figura 3, respectivamente. Consideramos una BS con M antenas, un IRS con N elementos y un usuario de una sola antena, cuyas ubicaciones se muestran en la Figura 6 (a). Indique la distancia horizontal entre la BS y el usuario por d metro (m). Se supone que el canal BS IRS está dominado por el enlace LoS debido a un despliegue adecuado con un exponente de pérdida de trayecto de 2,2, mientras que se supone que tanto los canales de usuario de BS como los de usuario IRS siguen el desvanecimiento de Rayleigh con un exponente de pérdida de trayecto de 3,2. La potencia de ruido en el receptor del usuario es -80 dBm.

Ley de mejora y escalamiento de la potencia de la señal en el Malecon

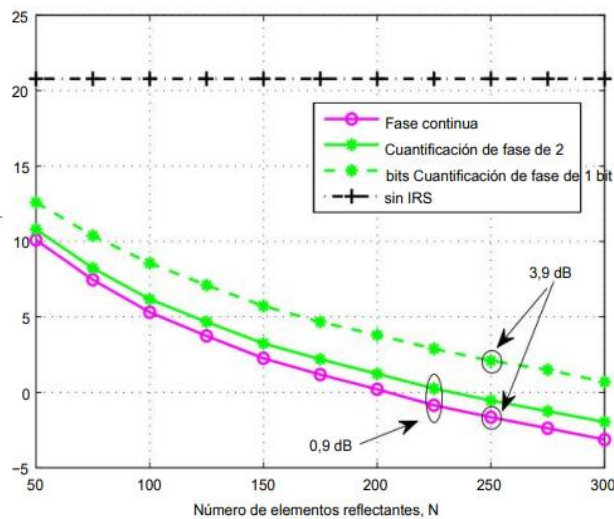
Para demostrar la capacidad de mejora de la potencia de la señal del IRS, asumimos que el usuario de la Figura 6 (a) necesita ser atendido por la BS con la ayuda del IRS, similar al escenario de la Figura 3 (a). Por lo tanto, la señal reflejada por el IRS debería sumarse constructivamente a la del enlace directo del usuario de la BS. Comparamos los siguientes cuatro esquemas bajo la configuración de $M = 5$ y $N = 40$: 1) Optimización conjunta donde la formación de haz de transmisión de BS activa y la formación de haz de reflexión de IRS pasivo se optimizan conjuntamente; 2) transmisión de relación máxima (MRT) del usuario de la EB, donde la EB emite hacia el canal del usuario de la EB; 3) BS-IRS MRT donde la BS emite hacia el canal de rango uno de BS-IRS; y 4) esquema de referencia sin el IRS donde la BS emite hacia el canal de usuario de la BS.



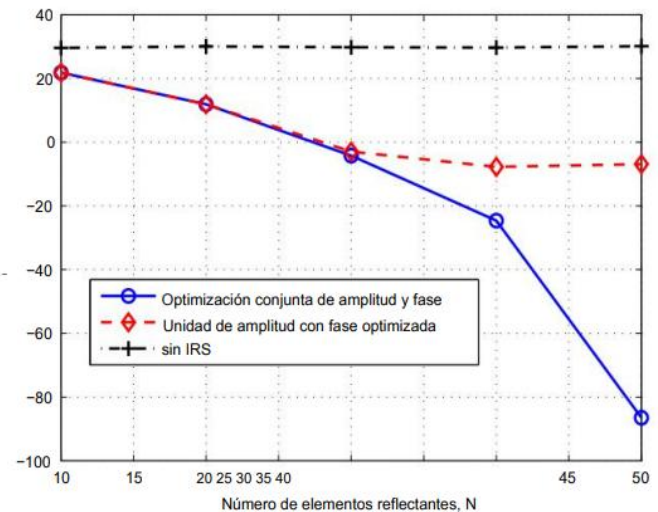
(a) Configuración de simulación del caso de un solo usuario.



(b) Potencia de transmisión de la BS en función de la distancia horizontal del usuario de la BS.



(c) Potencia de transmisión de BS frente a N.



(d) Potencia de interferencia normalizada frente a N.

Figura 6: Rendimiento de las redes inalámbricas asistidas por el IRS.

Como se muestra en la Figura 6 (b), al variar el valor de d , examinamos la potencia de transmisión mínima requerida en la BS para lograr una relación señal-ruido (SNR) del usuario objetivo de 20 dB. Primero, se observa que para el esquema sin IRS, alejar al usuario de la BS conduce a una mayor potencia de transmisión debido a la mayor atenuación de la señal. Sin embargo, este problema se alivia al implementar el IRS, que ayuda a mejorar significativamente la SNR cuando el usuario está cerca. Como resultado, el usuario cerca de la BS (p. ej., $d = 25$ m) o del IRS (p. ej., $d = 50$ m) requiere una potencia de transmisión menor que un usuario que se encuentra lejos de ambos (p. ej., $d = 40$ m).

Esto demuestra la utilidad práctica del IRS en la creación de un "punto de acceso de señal" en su vecindad. Además, en comparación con otros esquemas heurísticos de formación de haz de transmisión de BS, el diseño de formación de haz activo y pasivo conjunto también logra un ahorro de energía sustancial en la BS. Tenga en cuenta que el esquema BS-IRS MRT funciona mal cuando el usuario está fuera de la cobertura del IRS, ya que en este caso la potencia de la señal recibida por el usuario está dominada por la del enlace directo del usuario BS y, por lo tanto, el BS-IRS MRT es ineficaz mientras transmite, el poder de BS hacia el IRS en lugar del usuario.

En la Figura 6 (c), se muestra el rendimiento del IRS, donde cada uno de sus elementos se refleja con una amplitud constante (que se supone que es el valor máximo de uno), pero con un práctico desfasador de b -bit cuantificado uniformemente. La potencia de transmisión de la BS se representa frente al número de elementos reflectantes del IRS, N , con $d = 50$ m. Primero, es interesante observar que para el caso ideal de fase continua ($b = \infty$), la potencia de transmisión de la BS se reduce con N aproximadamente en el orden de $O(N^2)$. A continuación, se demuestra la capacidad de supresión de interferencias del IRS, considerando ahora que la BS en la Figura 6 (a) es un transmisor vecino que causa interferencia cocanal al usuario con $d = 50$ m y, por

lo tanto, el IRS se implementa para ayudar a suprimir la interferencia recibida de esta BS, para el escenario que se muestra en la Figura 3 (c).

En cuanto se refiere a la discusión (Wu & Zhang, 2019) demuestra que, un sistema MIMO asistido por IRS puede lograr el mismo rendimiento de velocidad que un sistema MIMO masivo de referencia sin usar IRS, pero con antenas activas/cadenas de RF significativamente reducidas. Mientras que, en otro estudio semejante realizado por (Guan et al., 2020) , muestran que la incorporación del Ruido Artificial (AN) en la formación de haces de transmisión es beneficiosa en la nueva configuración con formación de haces de reflexión IRS. En particular, se revela que el diseño asistido por el IRS sin AN incluso funciona peor que el diseño asistido por AN sin el IRS a medida que aumenta el número de espías cerca del IRS.

De forma similar, (Bi et al., 2019) demuestra que el rendimiento de la comunicación inalámbrica está restringido fundamentalmente por la duración limitada de la batería de los dispositivos inalámbricos, cuyas operaciones se interrumpen con frecuencia debido a la necesidad de reemplazar/recargar manualmente la batería. Además, menciona que el reciente avance en la tecnología de transferencia de energía inalámbrica (WET) habilitada para RF proporciona una solución atractiva llamada comunicación inalámbrica (WPC), donde los dispositivos inalámbricos son alimentados por transmisores de energía inalámbricos dedicados a proporcionar energía de microondas continua y estable por aire. En el mismo contexto, el estudio realizado por (Griffin & Durgin, 2009) muestran que la radio de retrodispersión, la comunicación inalámbrica mediante la modulación de señales dispersas desde un transpondedor (etiqueta de RF), es fundamentalmente diferente de la radio convencional porque involucra dos enlaces distintos: el enlace de encendido para alimentar las etiquetas de RF pasivas y el enlace de retrodispersión para describir la comunicación de retrodispersión.

Conclusiones

En conclusión, la implementación de la tecnología de superficie reflectante inteligente (IRS) en el diseño de la infraestructura tecnológica para fortalecer la conectividad en el Malecón de Puerto Cayo podría ser una opción viable y efectiva para mejorar la calidad de la señal y aumentar la velocidad de transmisión de datos en redes inalámbricas. El uso de esta tecnología permitiría una mejor cobertura de la señal en ambientes con obstáculos físicos, como paredes y muebles, lo que podría mejorar la experiencia del usuario y reducir los tiempos de latencia. Además, la inclusión de la tecnología IRS en la infraestructura tecnológica del Malecón de Puerto Cayo podría proporcionar un mayor atractivo turístico, puesto que, esta tecnología se encuentra en la vanguardia de las soluciones de conectividad inalámbrica y puede ser una característica distintiva para la zona.

Referencias

- Bi, S., Ho, C. K., & Zhang, R. (2019). Wireless powered communication: Opportunities and challenges. *IEEE Communications Magazine*, 53(4), 117–125. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2015.7081084>
- Griffin, J. D., & Durgin, G. D. (2009). Complete link budgets for backscatter-radio and RFID systems. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 51(2), 11–25. <https://doi.org/10.1109/MAP.2009.5162013>
- Guan, X., Wu, Q., & Zhang, R. (2020). Intelligent Reflecting Surface Assisted Secrecy Communication: Is Artificial Noise Helpful or Not? *IEEE Wireless Communications Letters*, 9(6), 778–782.

<https://doi.org/10.1109/LWC.2020.2969629>

- Jipijapa, A. (2019). *Malecón en construcción en Puerto Cayo aporta al turismo*. Alcaldía Jipijapa. <https://jipijapa.gob.ec/index.php/noticias/item/104-malecon-en-construccion-en-puerto-cayo-aporta-al-turismo>
- Kadoch, Q. L. S. S. B. R. M. (2021). Intelligent Reflective Surface Based 6G Communications for Sustainable Energy Infrastructure. *IEEE Wireless Communications*, 28(6). <https://doi.org/10.1109/MWC.016.2100179>
- Okogbaa, F. C., Ahmed, Q. Z., Khan, F. A., Abbas, W. Bin, Che, F., Zaidi, S. A. R., & Alade, T. (2022). Design and Application of Intelligent Reflecting Surface (IRS) for Beyond 5G Wireless Networks: A Review. *PubMed*, 22(7). <https://doi.org/10.3390/s22072436>
- Tao, Q., Wang, J., & Zhong, C. (2020). Performance Analysis of Intelligent Reflecting Surface Aided Communication Systems. *IEEE Communications Letters*, 24(11), 2464–2468. <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2020.3011843>
- Wu, Q., & Zhang, R. (2019). Intelligent Reflecting Surface Enhanced Wireless Network via Joint Active and Passive Beamforming. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18(11), 5394–5409. <https://doi.org/10.1109/TWC.2019.2936025>
- Wu, Q., & Zhang, R. (2020). Towards Smart and Reconfigurable Environment: Intelligent Reflecting Surface Aided Wireless Network. *IEEE Communications Magazine*, 58(1), 106–112. <https://doi.org/10.1109/MCOM.001.1900107>