



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**TÍTULO**

**OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA EN REDES 5G URBANAS USANDO  
DIGITAL TWINS Y TÉCNICAS DE RAY TRACING**

**AUTOR**

**Muñoz Jimbo, Christian Oswaldo**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previo a la obtención del grado académico en  
**MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**

**TUTOR**

**Velásquez Vargas, Washington Adrián**

**Santa Elena, Ecuador**

**Año 2026**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**Ing. Alicia Andrade Vera, Mgtr.  
COORDINADORA DEL  
PROGRAMA**

---

**Ing. Washington Velásquez Vargas, Ph.D.  
TUTOR**

---

**Ing. Luis Amaya Fariño, Mgtr.  
DOCENTE  
ESPECIALISTA**

---

**Ing. Daniel Jaramillo Chamba, Mgtr.  
DOCENTE  
ESPECIALISTA**

---

**Abg. María Rivera González, Mgtr.  
SECRETARIA GENERAL  
UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por Christian Oswaldo Muñoz Jimbo, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Telecomunicaciones.

**TUTOR**

---

**Ing. Washington Velásquez Vargas, Ph.D.**

Santa Elena, 24 de Marzo de 2026



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Yo, Christian Oswaldo Muñoz Jimbo**

**DECLARO QUE:**

El trabajo de Titulación, OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA EN REDES 5G URBANAS USANDO DIGITAL TWINS Y TÉCNICAS DE RAY TRACING previo a la obtención del título en Magíster en Telecomunicaciones, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, 24 de Marzo de 2026

**EL AUTOR**

---

**Christian Oswaldo Muñoz Jimbo**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**AUTORIZACIÓN**

**Yo, Christian Oswaldo Muñoz Jimbo**

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de artículo profesional de alto nivel con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este artículo académico dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Santa Elena, 24 de Marzo de 2026

**EL AUTOR**

---

**Christian Oswaldo Muñoz Jimbo**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**TEMA: Optimización De Cobertura En Redes 5g Urbanas Usando Digital Twins Y  
Técnicas De Ray Tracing**

**Autor: Christian Muñoz Jimbo**

**Tutor: Ing. Washington Velásquez Vargas Ph.D.**

**RESUMEN**

Este estudio implementa un gemelo digital del centro histórico de Cuenca para evaluar y optimizar la cobertura 5G en un entorno urbano denso. La alta concentración de edificaciones genera zonas de sombra y afecta la calidad del servicio, lo que hace necesario el uso de modelos de propagación de alta fidelidad como el ray tracing para la planificación de redes. Se construyó un entorno virtual tridimensional y se empleó Sionna RT para simular la propagación de la señal en la banda media de 3.5 GHz. A diferencia de los enfoques de optimización angular simple, este trabajo propuso una metodología de optimización de dos etapas: primero, se optimizaron las posiciones de los transmisores (Tx) tipo ULA mediante un algoritmo de Enjambre de Partículas (PSO); segundo, con los Tx en estas posiciones óptimas, se configuraron con arreglos MIMO UPA (4x4) y se optimizó su orientación mediante un algoritmo Bayesiano, siempre con el objetivo de mejorar el desempeño del enlace en términos de SINR. La cobertura funcional ( $P(\text{SINR} > 0 \text{ dB})$ ) pasó de 39.84% en el escenario base a 43.04% tras la optimización de posición, mientras que la optimización angular permitió elevar

la calidad del enlace, logrando que regiones específicas superaran los 5 dB de SINR, a pesar de una cobertura funcional del 39.95%. Esto confirma que la integración de las herramientas utilizadas es un método robusto para mejorar la cobertura urbana y reducir riesgos de pre-despliegue.

**Palabras claves:** cobertura 5g, gemelo digital, optimización bayesiana, optimización por enjambre de partículas, ray tracing.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**TEMA: Optimización De Cobertura En Redes 5g Urbanas Usando Digital Twins Y  
Técnicas De Ray Tracing**

**Autor: Christian Muñoz Jimbo**

**Tutor: Ing. Washington Velásquez Vargas Ph.D.**

**ABSTRACT**

This study implements a digital twin of the historic center of Cuenca to evaluate and optimize 5G coverage in a dense urban environment. The high concentration of buildings generates shadowed areas and affects service quality, making the use of high-fidelity propagation models like ray tracing necessary for network planning. A three-dimensional virtual environment was built, and Sionna RT was employed with the 3GPP UMi channel model to simulate signal propagation. Unlike simple angular optimization approaches, this work proposed a two-stage hybrid optimization methodology: first, the positions (x, y) of the transmitters (Tx) were optimized using a Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm; second, with the Tx in these optimal positions, they were configured with MIMO UPA (4×4) arrays, and their orientation (azimuth and elevation) was optimized using a Bayesian algorithm, with the aim of improving link performance in terms of SINR. Functional coverage ( $P(\text{SINR} > 0 \text{ dB})$ ) increased from 39.84% in the baseline scenario to 43.04% after position optimization, while angular optimization improved link

quality, with specific regions exceeding 5 dB SINR, even with a functional coverage of 39.95%. This confirms that integrating the tools used is a robust method for improving urban coverage and reducing pre-deployment risks.

**Keywords:** 5g coverage, bayesian optimization, digital twins, particle swarm optimization, ray tracing.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**TEMA: Optimización De Cobertura En Redes 5g Urbanas Usando Digital Twins Y  
Técnicas De Ray Tracing**

**CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN PARA PUBLICACIÓN**



Samborondón, 09 de marzo de 2026

**CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN**

El Comité Editorial de Revista Científica ECOCIENCIA con ISSN 1390-9320 indexada en LATINDEX Catálogo 2.0 (folio 24698), CLASE (Citas Latinoamericanas en Ciencias Sociales y Humanidades), PROQUEST, MIAR, ROAD (International Standard Serial Number International Centre), CIRC, REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico), Google Scholar, LIVRE (Revistas de libre acceso), ERIHPLUS (European Reference Index For The Humanities And Social Sciences), LATINREV y DIALNET, notifica a los autores *Christian Muñoz Jimbo y Washington Velasquez*, que su artículo ha sido aceptado para su publicación en el Volumen 13, Número 1, marzo del 2026 (<http://revistas.ecotec.edu.ec/index.php/ecociencia>). El artículo se titula:

**“OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA EN REDES 5G URBANAS USANDO  
DIGITAL TWINS Y TÉCNICAS DE RAY TRACING”**

El Comité Editorial exhorta a los autores a continuar colaborando con su quehacer científico en próximos números de la revista.

Atentamente,



Gabriel Adolfo Morey  
León

Gabriel Morey León, Ph.D.  
Director de Investigación



• Campus Samborondón Km. 13.5 Vía Samborondón • Campus Juan Tanco Marengo, Av. Juan Tanco Marengo Km. 2  
• Campus La Costa, Vía a la Costa, Km. 16.5 • P.BX: (04) 372 3400 • [www.ecotec.edu.ec](http://www.ecotec.edu.ec)  
Ecuador

Facebook: @universidadecotec Instagram: @uecotec Twitter: @univecotec YouTube: Universidad.Ecotec

Nombre de la revista

ECOCIENCIA Revista Científica Latindex, catálogo 2.0  
<https://revistas.ecotec.edu.ec/index.php/ecociencia>