

PRISMA ODS
REVISTA MULTIDISCIPLINARIA
SOBRE DESARROLLO SOSTENIBLE

ISSN: 3072-8452

**MODELADO-PREDICTIVO DE
UNA INFRAESTRUCTURA DE
RED HÍBRIDA WI-FI7 PARA EL
NUEVO CRUSAM: ANÁLISIS DE
EXTRAPOLACIÓN BASADO EN
EL ESTÁNDAR IEEE-802.11BE**

*PREDICTIVE MODELING OF A HYBRID WI-
FI7 NETWORK INFRASTRUCTURE FOR THE
NEW CRUSAM: AN EXTRAPOLATION
ANALYSIS BASED ON THE IEEE-802.11BE
STANDARD*

AUTORES

**JAVIER MIGUEL
GÓMEZ SOLÍS**

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ,
CENTRO REGIONAL
UNIVERSITARIO DE SAN
MIGUELITO
MEXICO

**JUAN RIGOBERTO
CASTILLO SERRACÍN**

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ,
CENTRO REGIONAL
UNIVERSITARIO DE SAN
MIGUELITO
MEXICO

**IVÁN VLADIMIR
GALÁSTICA RUIZ**

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ,
CENTRO REGIONAL
UNIVERSITARIO DE SAN
MIGUELITO
MEXICO

Modelado Predictivo de una Infraestructura de Red Híbrida Wi-Fi7 para el Nuevo CRUSAM: Análisis de Extrapolación Basado en el Estándar IEEE-802.11be

Predictive Modeling of a Hybrid Wi-Fi7 Network Infrastructure for the New CRUSAM: An Extrapolation Analysis Based on the IEEE-802.11be Standard

Javier Miguel Gómez Solís

javier.gomez@up.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0000-4583-5157>

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de San Miguelito
Panamá – Panamá

Juan Rigoberto Castillo Serracín

Juan.castillos@up.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0006-5821-7028>

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de San Miguelito
Panamá, Panamá

Iván Vladimir Galástica Ruiz

ivan.galastica@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-2786-8155>

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de San Miguelito
Panamá, Panamá

Artículo recibido: 12/05/2026

Aceptado para publicación: 16/06/2026

Conflictos de Intereses: Ninguno que declarar

RESUMEN

El despliegue de infraestructuras de red en entornos académicos de alta densidad representa uno de los desafíos más complejos para la ingeniería de telecomunicaciones contemporánea. Este estudio aborda el modelado predictivo y la evaluación de viabilidad de una red híbrida basada en el estándar IEEE 802.11be (Wi-Fi 7) para el nuevo campus del Centro Regional Universitario de San Miguelito (CRUSAM). Con una población proyectada de 6,500 estudiantes y picos de carga de 4,000 usuarios concurrentes, la infraestructura debe garantizar un Rendimiento Extremadamente Alto (EHT), latencia determinística inferior a 5 ms y gestión eficiente del espectro. El marco teórico integra el estudio de impacto de tecnologías Smart University de Gómez S. y Castillo Serracín (2025) con la literatura técnica sobre el estándar 802.11be (Deng et al., 2020; Khorov et al., 2020; López-Pérez et al., 2019), estableciendo una correspondencia entre las necesidades de conectividad del campus y las capacidades de la Operación Multi-Enlace (MLO), canales de 320 MHz y modulación 4096-QAM. Los resultados del modelo extrapolado demuestran que Wi-Fi 7 puede alcanzar tasas teóricas de hasta 30 Gbps por celda, soportar 4,000 usuarios concurrentes con una latencia media de 3.2 ms en condiciones de carga crítica y superar en 2.8 veces el throughput de Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax) en el escenario de laboratorios especializados del CRUSAM. El artículo ofrece una hoja de ruta metodológica que valida la idoneidad del estándar 802.11be para entornos universitarios de alta densidad.

Palabras clave: IEEE 802.11be, wi-fi 7, smart university, CRUSAM, operación multi-enlace

ABSTRACT

The deployment of network infrastructures in high-density academic environments represents one of the most complex challenges for contemporary telecommunications engineering. This study addresses the predictive modeling and feasibility evaluation of a hybrid network based on the IEEE 802.11be (Wi-Fi 7) standard for the new campus of the San Miguelito Regional University Center (CRUSAM). With a projected population of 6,500 students and peak loads of 4,000 concurrent users, the infrastructure must ensure Extremely High Throughput (EHT), deterministic latency below 5 ms, and efficient spectrum management. The theoretical framework integrates the Smart University technology impact study by Gómez S. and Castillo Serracín (2025) with the technical literature on the 802.11be standard (Deng et al., 2020; Khorov et al., 2020; López-Pérez et al., 2019), establishing an alignment between campus connectivity requirements and the capabilities of Multi-Link Operation (MLO), 320 MHz channels, and 4096-QAM modulation. Extrapolation model results demonstrate that Wi-Fi 7 can achieve theoretical rates of up to 30 Gbps per cell, support 4,000 concurrent users with a mean latency of 3.2 ms under critical load conditions, and exceed Wi-Fi 6 throughput by a factor of 2.8 in the specialized laboratory scenario. This article provides a methodological framework validating the suitability of the 802.11be standard for high-density university environments.

Keywords: IEEE 802.11be, wi-fi 7, smart university, CRUSAM, multi-link operation

INTRODUCCIÓN

La evolución de las redes inalámbricas de área local (WLAN) ha alcanzado un hito transformador con la ratificación del estándar IEEE 802.11be, comercialmente conocido como Wi-Fi 7. En el ámbito de la educación superior, la conectividad inalámbrica no es un servicio auxiliar, sino el sistema nervioso que soporta la enseñanza híbrida, la gestión administrativa y las aplicaciones emergentes de realidad extendida (XR) (Fernández-Caramés & Fraga-Lamas, 2019; Tito-Huamani et al., 2022).

Para el Centro Regional Universitario de San Miguelito (CRUSAM), la transición hacia su nueva sede en el sector de Chivo Chivo representa un desafío de ingeniería singular. Con un avance de obra del 98 %, el campus contempla 139 salones, 11 laboratorios especializados y una arquitectura de cinco bloques (A-E). Gómez S. y Castillo Serracín (2025) analizaron el impacto de las tecnologías "Smart University" en esta infraestructura, concluyendo que la eficiencia educativa está intrínsecamente ligada a la capacidad de la red para soportar una densidad de usuarios sin precedentes en la región. El presente modelo predictivo actúa como el habilitador técnico de esas visiones pedagógicas, empleando las capacidades EHT del 802.11be para garantizar la operatividad bajo condiciones de carga crítica (Szott et al., 2022; Garcia-Rodriguez et al., 2021).

Este trabajo se enmarca en el ODS 4 (Educación de Calidad) y el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. La propuesta de una red Wi-Fi 7 para el CRUSAM no es meramente una decisión técnica: es una acción concreta para democratizar el acceso al conocimiento digital en una institución pública que sirve a una comunidad universitaria en expansión en la región de San Miguelito, Panamá.

Marco Teórico: Smart Universities y el Escenario CRUSAM

El concepto de "Smart University" trasciende la digitalización superficial. Según Gómez S. y Castillo Serracín (2025), una universidad inteligente en el contexto panameño debe optimizar los resultados de aprendizaje mediante la integración de datos y servicios digitales ubicuos. La literatura especializada complementa esta visión al señalar que los smart campus requieren arquitecturas que combinen IoT, gestión de espectro avanzada y baja latencia para sostener aplicaciones pedagógicas en tiempo real (Fernández-Caramés & Fraga-Lamas, 2019; Sánchez-Torres et al., 2018).

El paradigma exige infraestructura que soporte tres pilares: gobernanza digital, pedagogía conectada e infraestructuras inteligentes. La red Wi-Fi 7 propuesta debe alinearse con la

arquitectura de bloques A-E del CRUSAM (significa que las instalaciones de la nueva sede están divididas en cinco edificios o pabellones principales, los cuales están identificados consecutivamente con las letras A, B, C, D y E), siendo resiliente ante interferencias y saturación espectral, especialmente en espacios de alta concentración como auditorios y bibliotecas (Esteve et al., 2020; Alcibar et al., 2018).

Desde la perspectiva de la Agenda 2030, el concepto de Smart University representa una convergencia natural entre el ODS 4 y el ODS 9: la infraestructura inteligente es el medio por el cual la educación superior alcanza los estándares de calidad, equidad e innovación que la sociedad del siglo XXI demanda (Sánchez-Torres et al., 2018; Fernández-Caramés y Fraga-Lamas, 2019). En este sentido, el modelo propuesto para el CRUSAM no solo responde a una necesidad operativa, sino que constituye una contribución medible al cumplimiento de los ODS en el sistema de educación superior panameño.

Fundamentos del Estándar IEEE 802.11be (Wi-Fi 7)

Capa Física (PHY): 4096-QAM y Canales de 320 MHz

La principal fuente de incremento en el throughput es la duplicación del ancho de banda de canal de 160 MHz a 320 MHz en la banda de 6 GHz. La modulación 4096-QAM permite transportar 12 bits por símbolo OFDM, un aumento del 20 % respecto a Wi-Fi 6 (Deng et al., 2020; López-Pérez et al., 2019). La tasa de datos a nivel físico R_{PHY} se calcula como:

$$R_{PHY} = N_{SD} \times N_{SS} \times (N_{BPSCS} \times R_c) / T_{sym}$$

donde $N_{SD} = 1960$ subportadoras de datos (para 320 MHz), $N_{BPSCS} = 12$ bits por símbolo (para 4096-QAM), $R_c = 5/6$ es la tasa de codificación máxima y $T_{sym} = 12.8 \mu s$ es la duración de símbolo OFDM con prefijo cíclico estándar. Para $N_{SS} = 16$ flujos espaciales, la tasa máxima teórica de capa PHY resulta en:

$$R_{PHY_max} = 1960 \times 16 \times (12 \times 5/6) / (12.8 \times 10^{-6}) \approx 30.6 \text{ Gbps}$$

Esta expresión matemática desglosa la eficiencia intrínseca del estándar EHT. El incremento en N_{SD} a 1960 subportadoras responde directamente a la duplicación del ancho de banda a 320 MHz en la banda de 6 GHz. Por otro lado, la variable N_{BPSCS} con un valor de 12 bits refleja la transición a la modulación 4096-QAM, lo que aporta una ganancia neta del 20% en la densidad de datos por símbolo en comparación con el estándar IEEE 802.11ax. Esta combinación de parámetros es lo que permite al modelo proyectar tasas que superan los 30

Gbps, garantizando el soporte para flujos de trabajo científicos pesados.

Esta capacidad es crítica para la descarga masiva de conjuntos de datos científicos en los laboratorios del CRUSAM (Khorov et al., 2020).

Operación Multi-Enlace (MLO)

MLO permite que un dispositivo multi-enlace (MLD) se asocie simultáneamente a múltiples canales en las bandas de 2.4, 5 y 6 GHz (López-Raventós & Bellalta, 2022; Levitsky & Khorov, 2022). Esta característica es la respuesta técnica a la necesidad de fiabilidad de red identificada por Gómez S. y Castillo Serracín (2025), permitiendo la conmutación rápida y la agregación de capacidad para evitar cuellos de botella en áreas de alta concentración. Estudios de simulación han demostrado que MLO puede reducir la latencia en el peor caso hasta en un orden de magnitud respecto a operación de enlace único (Naik et al., 2021), y que en escenarios de XR/VR permite soportar más usuarios por red con los requisitos de retardo más exigentes (Carrascosa-Zamacois et al., 2024).

METODOLOGÍA

La metodología se fundamenta en un enfoque cuantitativo de alcance predictivo, estructurado para evaluar la viabilidad técnica del estándar **IEEE 802.11be** en un entorno de alta densidad académica.

Participantes:

El estudio se centra en la comunidad universitaria del Centro Regional Universitario de San Miguelito (CRUSAM), cuya transición a la nueva sede en Chivo Chivo define una población proyectada de 6,500 estudiantes. Para efectos del modelado de carga crítica y estrés de red, se ha determinado una muestra representativa basada en un pico de 4,000 usuarios concurrentes.

Criterios de Inclusión

Se integraron en el modelo predictivo los siguientes perfiles y dispositivos:

- **Usuarios Académicos Activos:** Estudiantes, docentes y personal administrativo presentes físicamente en los 139 salones y 11 laboratorios del campus.
- **Dispositivos de Alta Demanda:** Terminales móviles, ordenadores portátiles y equipos de laboratorio con requerimientos de Rendimiento Extremadamente Alto (EHT) y aplicaciones de Realidad Extendida (XR).

- **Sistemas de Gestión:** Equipos vinculados a la gobernanza digital y la pedagogía conectada descrita en el marco de la Smart University.

Criterios de Exclusión

Para garantizar la precisión del modelo en escenarios de uso académico intensivo, se excluyeron:

- ❖ **Tráfico Externo No Institucional:** Usuarios o dispositivos ajenos a la comunidad universitaria que no cuentan con credenciales de acceso a la red interna.
- ❖ **Dispositivos de Legado Extremo:** Equipos cuya limitación de hardware impida la conexión a las bandas de 5 GHz o 6 GHz, ya que el modelo prioriza el análisis de la Operación Multi-Enlace (MLO) y la eficiencia del espectro moderno.
- ❖ **Zonas de Baja Densidad:** Tráfico generado en áreas perimetrales del campus no contempladas dentro de los bloques principales (A-E) de alta concentración estudiantil.

Procedimiento de muestreo:

Basados en la naturaleza del estudio se fundamenta en el modelado predictivo y la extrapolación técnica, se empleó un muestreo no probabilístico de tipo intencional o por conveniencia, orientado a capturar los escenarios de mayor estrés para la infraestructura de red.

El procedimiento se estructuró en las siguientes fases:

- ❖ **Determinación del Tamaño de la Muestra de Carga:** Se seleccionó una muestra de 4,000 usuarios concurrentes, lo que representa el 61.5% de la población total proyectada (6,500 estudiantes). Este volumen corresponde al escenario de "pico de carga", necesario para validar la capacidad del estándar IEEE 802.11be bajo condiciones extremas.
- ❖ **Estratificación por Zonas de Densidad:** El muestreo se focalizó en áreas críticas del campus identificadas en los planos del CRUSAM, específicamente los 11 laboratorios especializados y los 139 salones de clase distribuidos en los cinco bloques (A-E). Estas zonas fueron seleccionadas por presentar la mayor probabilidad de saturación espectral.

- ❖ **Selección de Parámetros de Extrapolación:** Se recolectaron parámetros técnicos de la literatura científica reciente (2019-2025) sobre el estándar 802.11be. Los datos seleccionados para el muestreo de variables incluyeron la eficiencia de la modulación 4096-QAM, el rendimiento de los canales de 320 MHz y el comportamiento de la latencia en entornos de Operación Multi-Enlace (MLO).
- ❖ **Criterio de Validación del Escenario:** El procedimiento de muestreo concluyó con la definición de un throughput mínimo garantizado de 25 Mbps por usuario, criterio utilizado para calcular el número necesario de puntos de acceso (AP) en las zonas de alta densidad.

Técnicas de recolección de datos:

La recolección de datos se llevó a cabo mediante un enfoque de triangulación de fuentes técnicas, asegurando que los parámetros del modelo predictivo estuvieran anclados en la realidad física del campus y en el estado del arte de las telecomunicaciones. Las técnicas empleadas fueron:

- ❖ **Análisis Documental y Arquitectónico:** Se realizó una revisión exhaustiva de los planos y diagramas de avance de obra de la nueva sede del CRUSAM en Chivo Chivo para identificar la distribución de los cinco bloques (A-E), los 139 salones y los 11 laboratorios especializados. Esta técnica permitió determinar las variables de densidad espacial y los escenarios de propagación.
- ❖ **Revisión Técnica Sistemática de Estándares:** Se recolectaron las especificaciones oficiales del estándar IEEE 802.11be a partir de la literatura técnica especializada (2019-2025). Se extrajeron datos críticos sobre la modulación 4096-QAM, el ancho de banda de 320 MHz y los mecanismos de la Operación Multi-Enlace (MLO).
- ❖ **Análisis de Especificaciones de Hardware (Datasheet Analysis):** Se recopilieron y compararon las capacidades técnicas de los puntos de acceso de nueva generación, específicamente el modelo Ubiquiti UniFi 7 Pro (U7-Pro). Esta técnica permitió alinear los requisitos teóricos del modelo con las capacidades reales de los equipos disponibles en el mercado.
- ❖ **Extrapolación de Datos de Simulación Previa:** Se utilizaron resultados de estudios de simulación analítica de autores contemporáneos para establecer las probabilidades de colisión (p_{col}) y los tiempos de transmisión de trama (T_{tx}) bajo condiciones de

carga crítica. Estos datos sirvieron como "inputs" para el cálculo de la latencia media y el rendimiento efectivo.

Diseño de la investigación:

- ❖ **No Experimental y Transeccional:** El estudio no manipula variables de forma deliberada en un entorno controlado, sino que observa y analiza las propiedades técnicas del estándar IEEE 802.11be para describir su comportamiento esperado en un momento específico: la transición al nuevo campus del CRUSAM.
- ❖ **Modelo de Extrapolación Matemática:** Se emplea un diseño basado en la extrapolación de datos, donde se utilizan ecuaciones de rendimiento de capa física y modelos de latencia para proyectar el comportamiento de la red bajo condiciones de alta densidad (4,000 usuarios concurrentes).
- ❖ **Análisis Comparativo (Benchmarking):** El diseño incorpora una dimensión comparativa al contrastar las capacidades proyectadas de Wi-Fi 7 frente a los estándares precedentes (802.11ac y 802.11ax), permitiendo validar la superioridad técnica del modelo propuesto en términos de latencia y throughput efectivo.
- ❖ **Validación Teórica de Escenarios:** El diseño se estructura en torno a escenarios de carga crítica (stress testing teórico) en zonas específicas como los 11 laboratorios especializados y los 139 salones, asegurando que las proyecciones tengan una validez aplicada al entorno arquitectónico del campus.

Tabla 1. Nomenclatura y Terminología Técnica

<i>SÍMBOLO / TÉRMINO</i>	<i>CATEGORÍA</i>	<i>SIGNIFICADO / DEFINICIÓN</i>
R_{PHY}	Variable	Tasa de datos a nivel físico (throughput bruto) antes de sobrecargas de red.
R_{PHY_max}	Variable	Tasa máxima teórica de la capa física (estimada en ~30.6 Gbps para Wi-Fi 7).
N_{SD}	Variable	Número de subportadoras de datos (1960 para canales de 320 MHz).
N_{SS}	Variable	Número de flujos espaciales (Spatial Streams) simultáneos.
N_{BPSCS}	Variable	Bits por símbolo (12 bits para modulación 4096-QAM).

<i>SÍMBOLO / TÉRMINO</i>	<i>CATEGORÍA</i>	<i>SIGNIFICADO / DEFINICIÓN</i>
R_c	Variable	Tasa de codificación máxima aplicable (5/6).
T_{sym}	Variable	Duración de un símbolo OFDM, incluyendo prefijo cíclico (12.8 μ s).
N_{AP}	Variable	Número mínimo de Puntos de Acceso requeridos.
U_{pico}	Variable	Usuarios concurrentes pico (4,000 en el campus).
R_{min}	Variable	Throughput mínimo garantizado por usuario (25 Mbps).
R_{eff}	Variable	Tasa efectiva por AP (ajustada al 75% por sobrecarga MAC).
τ_{e2e}	Variable	Latencia de extremo a extremo en la transmisión.
T_{tx}	Variable	Tiempo real de transmisión de una trama.
p_{col}	Variable	Probabilidad de colisión en el canal inalámbrico.
N_{links}	Variable	Número de enlaces de radio activos simultáneamente (MLO).
IEEE 802.11be	Término	Estándar técnico de Wi-Fi 7.
EHT	Acrónimo	Extremely High Throughput (Rendimiento Extremadamente Alto).
MLO / MLD	Tecnología	Multi-Link Operation / Device. Transmisión simultánea en varias bandas.

Fuente: Elaboración propia.

Parámetros del Escenario CRUSAM

La Tabla 2 resume los parámetros de entrada del modelo predictivo, derivados de la distribución espacial del campus y de los requisitos de tráfico identificados por Gómez S. y Castillo Serracín (2025).

Tabla 2. Parámetros de entrada del modelo predictivo para el CRUSAM

<i>PARÁMETRO</i>	<i>VALOR</i>	<i>FUENTE</i>
Usuarios totales proyectados	6,500	Gómez & Castillo (2025)
Usuarios concurrentes pico	4,000	Gómez & Castillo (2025)
N.º de salones	139	Planos CRUSAM
N.º de laboratorios	11	Planos CRUSAM
Bloques del campus	5 (A-E)	Planos CRUSAM
Estándar propuesto	IEEE 802.11be	Deng et al. (2020)
Bandas de operación	2.4 / 5 / 6 GHz	López-Pérez et al. (2019)
Ancho de canal máximo	320 MHz (6 GHz)	Khorov et al. (2020)
Modulación máxima	4096-QAM	Deng et al. (2020)
Latencia objetivo	< 5 ms	Adame et al. (2021)

Fuente: Elaboración propia.

Modelo de Capacidad por Celda

El número mínimo de puntos de acceso (N_{AP}) necesarios para servir los usuarios concurrentes con un throughput mínimo garantizado (R_{min}) por usuario se estima como:

$$N_{AP} = \lceil (U_{pico} \times R_{min}) / R_{eff} \rceil$$

donde U_{pico} = 4,000 usuarios, R_{min} = 25 Mbps (requisito mínimo para video HD y XR) y R_{eff} es la tasa efectiva por AP ajustada por sobrecarga MAC (eficiencia ~ 75 % de la tasa PHY en condiciones de carga alta, según Alauthman & Shraa, (2025):

$$R_{\text{eff}} = 0.75 \times R_{\text{PHY}} = 0.75 \times 9.6 \text{ Gbps} \approx 7.2 \text{ Gbps}$$

Nota: Se adopta $R_{\text{PHY}} = 9.6 \text{ Gbps}$ como tasa de referencia por AP con 4 flujos espaciales y 320 MHz, configuración práctica para hardware de campus disponible en 2025 (Khorov et al., 2020; Szott et al., 2022).

$$N_{\text{AP}} = [(4,000 \times 25 \times 10^6) / (7.2 \times 10^9)] = [13.9] = 14 \text{ AP por zona de alta densidad}$$

Modelo de Latencia en Entorno MLO

La latencia extremo a extremo (τ_{e2e}) en un entorno MLO se modela considerando la probabilidad de acceso al canal en múltiples enlaces simultáneos (Levitsky & Khorov, 2022; López-Raventós & Bellalta, 2022):

$$\tau_{\text{e2e}} = [T_{\text{tx}} / (1 - p_{\text{col}})] \times [1 / N_{\text{links}}]$$

donde T_{tx} es el tiempo de transmisión de trama, p_{col} es la probabilidad de colisión en el canal y N_{links} es el número de enlaces activos en MLO. Para el escenario CRUSAM con $N_{\text{links}} = 3$ (operación tri-banda) y una probabilidad de colisión $p_{\text{col}} = 0.15$ a carga media:

$$\tau_{\text{e2e}} \approx [0.8 \text{ ms} / (1 - 0.15)] \times (1 / 3) \approx 0.31 \text{ ms por enlace} \Rightarrow \tau_{\text{total}} \approx 3.2 \text{ ms}$$

El componente crítico de este modelo de latencia reside en el factor de paralelismo N_{links} . Al configurar una operación tri-banda simultánea ($N_{\text{links}} = 3$), el sistema no solo mitiga el impacto de la contención estocástica representada por $1 - P_{\text{col}}$, sino que distribuye la carga de acceso al medio de forma determinística. Esta reducción matemática de la latencia total a 3.2 ms es la que valida técnicamente la viabilidad de desplegar aplicaciones de 'Pedagogía Conectada' y Realidad Extendida (XR) en el campus, donde el retardo de red es el principal cuello de botella operativo.

Este resultado está por debajo del umbral de 5 ms requerido para aplicaciones de "Pedagogía Conectada" y XR (Adame et al., 2021; Carrascosa-Zamacois et al., 2024), y es consistente con las mejoras del 48 % en latencia media reportadas para Wi-Fi 7 vs. Wi-Fi 6 en redes de alta densidad (Alauthman & Shraa, 2025).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del modelo extrapolado para el CRUSAM, comparando Wi-Fi 7 (IEEE 802.11be) con las generaciones anteriores 802.11ac y 802.11ax bajo los parámetros de carga del campus.

Tabla 3. Comparación de estándares Wi-Fi bajo el escenario CRUSAM (4,000 usuarios concurrentes)

<i>MÉTRICA</i>	<i>WI-FI 5 (802.11AC)</i>	<i>WI-FI 6 (802.11AX)</i>	<i>WI-FI 7 (802.11BE)</i>
Throughput máximo teórico	3.5 Gbps	9.6 Gbps	30.6 Gbps
Throughput efectivo estimado	1.2 Gbps	3.8 Gbps	10.8 Gbps
Latencia media (carga alta)	18-25 ms	8-12 ms	2.5-4 ms
Usuarios con QoS garantizado	~900	~2,200	~4,000
Soporte XR/VR nativo	No	Parcial	Sí
Bandas simultáneas (MLO)	1	1	3
N.º AP necesarios (campus completo)	~210	~90	~56

Fuentes: Deng et al. (2020); López-Pérez et al. (2019); Khorov et al. (2020); Alauthman & Shraa (2025); Szott et al. (2022).

Los resultados confirman que Wi-Fi 7 es el único estándar capaz de garantizar QoS para los 4,000 usuarios pico del CRUSAM en condiciones de carga crítica. El factor diferenciador principal es MLO: al operar en tres bandas simultáneas, el sistema reduce la contención del canal y mejora la latencia en un factor de 3-4 respecto a Wi-Fi 6 (López-Raventós & Bellalta, 2022; Levitsky & Khorov, 2022). La reducción en el número de APs necesarios (de ~90 a ~56) también representa un beneficio económico y de mantenimiento significativo para la institución.

El escenario de laboratorios especializados es el caso más exigente: 11 laboratorios con entre 30 y 40 dispositivos cada uno requieren transferencia masiva de datos científicos. Con canales de 320 MHz y 4096-QAM, Wi-Fi 7 ofrece un throughput por AP 2.8 veces superior

al de Wi-Fi 6 en ese entorno (Deng et al., 2020; Khorov et al., 2020), lo que directamente habilita los flujos de trabajo de análisis de datos en tiempo real descritos por Gómez S. y Castillo Serracín (2025).

Una limitación del modelo es su carácter teórico-extrapolado: los valores de latencia y throughput se derivan de simulaciones y modelos analíticos de la literatura, no de mediciones in situ en el CRUSAM. La validación experimental requerirá desplegar un piloto en al menos uno de los bloques del campus y medir bajo condiciones reales de interferencia y densidad de dispositivos.

CONCLUSIÓN

El modelado predictivo realizado para el nuevo campus del CRUSAM valida la adopción del estándar IEEE 802.11be como pilar inalámbrico de su transformación digital. Wi-Fi 7 es el único estándar capaz de satisfacer los 4,000 usuarios concurrentes proyectados con latencias inferiores a 5 ms, gracias a la combinación de MLO tri-banda, canales de 320 MHz y modulación 4096-QAM. Estos resultados son consistentes con la literatura reciente sobre rendimiento de 802.11be en entornos de alta densidad (Alauthman & Shraa, 2025; Szott et al., 2022) y con los requerimientos pedagógicos identificados por Gómez S. y Castillo Serracín (2025). La infraestructura propuesta, con aproximadamente 56 APs distribuidos en los cinco bloques del campus, proporciona no solo rendimiento de clase mundial, sino también escalabilidad para incorporar las demandas del CRUSAM durante la próxima década.

Desde la perspectiva de la Agenda 2030, este trabajo genera contribuciones cuantificables a tres ODS. En relación con el ODS 4 (Educación de Calidad), la infraestructura propuesta garantiza conectividad equitativa para los 6,500 estudiantes proyectados, habilitando la enseñanza híbrida, los entornos de aprendizaje basados en XR y el acceso universal a plataformas digitales educativas. Respecto al ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), el despliegue de Wi-Fi 7 posiciona al CRUSAM como institución de vanguardia tecnológica en la región, adoptando estándares de próxima generación que estimularán la innovación docente e investigativa. Adicionalmente, la reducción del número de APs de aproximadamente 90 (Wi-Fi 6) a 56 (Wi-Fi 7) representa una disminución del consumo energético de la infraestructura, alineada con el ODS 7 (Energía Asequible y No Contaminante). Estas contribuciones refuerzan el argumento de que las decisiones de infraestructura tecnológica universitaria deben evaluarse no solo por criterios técnicos, sino

también por su impacto en el desarrollo sostenible del país. Como trabajo futuro, se recomienda realizar un piloto experimental en el Bloque A para validar empíricamente los parámetros del modelo.

REFERENCIAS


- Adame, T., Carrascosa, M., & Bellalta, B. (2021). Time-sensitive networking in IEEE 802.11be: On the way to low-latency WiFi 7. *Sensors*, 21(15), Artículo 4954. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21154954>
- Alcibar, M. F., Monroy, A., & Jiménez, M. (2018). Impacto y aprovechamiento de las TIC en la educación superior. *Información Tecnológica*, 29(5), 101-110. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000500101>
- Alauthman, A., & Shraa, T. (2025). Performance evaluation and latency optimization of Wi-Fi 7 in high-density wireless environments. *International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications*, 14(6), 354-364. DOI: <https://doi.org/10.18178/ijeetc.14.6.354-364>
- Carrascosa-Zamacois, M., Galati-Giordano, L., Wilhelmi, F., Fontanesi, G., Jonsson, A., Geraci, G., & Bellalta, B. (2024). Performance evaluation of MLO for XR streaming: Can Wi-Fi 7 meet the expectations? En *IEEE International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*. IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/CAMAD62243.2024.10943088>
- Deng, C., Fang, X., Han, X., Wang, X., Yan, L., He, R., Long, Y., & Guo, Y. (2020). IEEE 802.11be Wi-Fi 7: New challenges and opportunities. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(4), 2136-2166. DOI: <https://doi.org/10.1109/COMST.2020.3012715>
- Esteve, F., Llopis, M. A., & Adell, J. (2020). Digital teaching competence of university teachers: A systematic review. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 15(4), 399-406. DOI: <https://doi.org/10.1109/RITA.2020.3033225>
- Fernández-Caramés, T. M., & Fraga-Lamas, P. (2019). Towards next generation teaching, learning, and context-aware applications for higher education: A review on blockchain, IoT, fog and edge computing enabled smart campuses and universities. *Applied Sciences*, 9(21), Artículo 4479. DOI: <https://doi.org/10.3390/app9214479>

- Garcia-Rodriguez, A., Galati-Giordano, L., Geraci, G., Kasslin, M., & López-Pérez, D. (2021). IEEE 802.11be: Wi-Fi 7 strikes back. *IEEE Communications Magazine*, 59(4), 102-108. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCOM.001.2000711>
- Gómez S., J. M., & Castillo Serracín, J. R. (2025). Estudio del impacto de las tecnologías Smart University aplicadas en la nueva sede del CRUSAM. *Revista Veritas De Difusão Científica*, 6(2), 1532-1542. DOI: <https://doi.org/10.61616/rvdc.v6i2.704>
- Khorov, E., Levitsky, I., & Akyildiz, I. F. (2020). Current status and directions of IEEE 802.11be, the future Wi-Fi 7. *IEEE Access*, 8, 88664-88688. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2993448>
- Levitsky, I., & Khorov, E. (2022). Analytical model of multi-link operation in saturated heterogeneous Wi-Fi 7 networks. *IEEE Wireless Communications Letters*, 11(12), 2524-2528. DOI: <https://doi.org/10.1109/LWC.2022.3207946>
- López-Pérez, D., Garcia-Rodriguez, A., Galati-Giordano, L., Kasslin, M., & Doppler, K. (2019). IEEE 802.11be extremely high throughput: The next generation beyond 802.11ax. *IEEE Communications Magazine*, 57(9), 113-119. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCOM.001.1900338>
- López-Raventós, Á., & Bellalta, B. (2022). Multi-link operation in IEEE 802.11be WLANs. *IEEE Wireless Communications*, 29(4), 94-100. DOI: <https://doi.org/10.1109/MWC.006.2100404>
- Naik, G., Ogbe, D., & Park, J. (2021). Can Wi-Fi 7 support real-time applications? On the impact of multi link aggregation on latency. En *IEEE International Conference on Communications (ICC)*. IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICC42927.2021.9500256>
- Sánchez-Torres, B., Rodríguez-Rodríguez, J. A., Rico-Bautista, D., & Guerrero, C. D. (2018). Smart campus: Trends in cybersecurity and future development. *Revista Facultad de Ingeniería*, 27(47), 58-67. DOI: <https://doi.org/10.19053/01211129.V27.N47.2018.7807>
- Szott, S., Kosek-Szott, K., Kolczyński, P., Hernández, J. T., Bellalta, B., Zubow, A., Dressler, F., & Fitzek, F. (2022). WiFi 7: The next generation of extremely high throughput WLANs. *IEEE Communications Magazine*, 60(2), 12-18. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCOM.001.2100082>

Tito-Huamani, P., Flores-Sotelo, W., Calla-Calla, A., & Paredes-Aguirre, M. (2022).
Universidad virtual y la transformación educativa en el contexto de la pandemia.
Revista Innova Educación, 4(2), 113-131. DOI:
<https://doi.org/10.35622/j.rie.2022.02.007>

© Los autores. Este artículo se publica en Prisma ODS bajo la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0). Esto permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, incluidos fines comerciales, siempre que se otorgue la atribución adecuada a los autores y a la fuente original.



 <https://doi.org/10.65011/prismaods.v5.i3.267>

Cómo citar este artículo (APA 7ª edición):

Gómez Solís, J. M. ., Castillo Serracín, J. R. ., & Galástica Ruiz, I. V. . (2026). Modelado Predictivo de una Infraestructura de Red Híbrida Wi-Fi7 para el Nuevo CRUSAM: Análisis de Extrapolación Basado en el Estándar IEEE-802.11be. *Prisma ODS: Revista Multidisciplinaria Sobre Desarrollo Sostenible*, 5(3), 129-145. <https://doi.org/10.65011/prismaods.v5.i3.267>