

Sistema Inteligente de Gestión y Monitoreo para Laboratorios Universitarios: Mejora de
la Eficiencia energética y Control Remoto mediante Tecnologías Open Source

Autores

GIOVANNY ALEXANDER RODRIGUEZ CORTES
ANDRES ESTEBAN HERNANDEZ MORENO
CRISTIAN ROJAS BARRETO
LUIS FELIPE BARON BONILLA

Directores:

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN DE SERVICIOS DE TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN
BOGOTÁ, 2025

Dedicatoria

—Andrés Esteban Hernández Moreno, Cristian Rojas Barreto, Giovanni Alexander Rodríguez Cortés y Luis Felipe Barón Bonilla—, quienes expresan su gratitud hacia las personas que los acompañaron durante su proceso académico y personal.

Andrés Esteban Hernández Moreno dedica su trabajo a su familia, amigos y profesores, reconociendo su apoyo, paciencia y las enseñanzas que enriquecieron su formación y crecimiento. **Cristian Rojas Barreto** dedica su logro a su madre, símbolo de amor, fortaleza y resiliencia, y a sí mismo por su constancia y compromiso, destacando su desarrollo personal y profesional. **Giovanni Alexander Rodríguez Cortés** expresa gratitud hacia su compañera de vida, Daniela, y su madre, valorando su amor, apoyo y ejemplo de perseverancia, pilares fundamentales para alcanzar el éxito. **Luis Felipe Barón Bonilla** dedica su trabajo a Samuel, a quien considera su mayor inspiración y fuente de fortaleza, afirmando que este logro es un reflejo del amor y la motivación que él representa.

En conjunto, las dedicatorias reflejan agradecimiento, amor, resiliencia y crecimiento personal, reconociendo que los logros académicos son fruto del apoyo y la inspiración de sus seres queridos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por guiarnos con sabiduría y fortaleza en este camino académico; a la Universidad Santo Tomás por brindarnos las herramientas para nuestro crecimiento profesional; al director de la monografía por su orientación y valiosos aportes; a los docentes por compartir sus conocimientos; a nuestras familias por su apoyo incondicional; a nuestros compañeros por la colaboración y a todas las personas que contribuyeron a la realización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

ACRÓNIMOS	6
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN.....	8
1. PROBLEMA.....	9
1.1. ARBOL DE PROBLEMAS	9
1.2. QUE SE QUIERE SOLUCIONAR	11
2. IDEACIÓN DE LA SOLUCIÓN	12
2.1. POR QUÉ SE PLANTEA AHORA LA SOLUCIÓN	13
2.2. SECTOR OBJETIVO.....	13
2.3. TENDENCIAS DEL SECTOR	14
2.4. ANALISIS DE MERCADO	15
2.5. ARBOL DE OBJETIVOS.....	15
2.6. CUÁL ES LA SITUACIÓN DESEADA.....	16
2.7. INTRODUCCIÓN A LA SITUACIÓN DESEADA	17
2.8. PROPUESTA DE VALOR.....	19
2.8.1. PERFIL DEL CLIENTE.....	19
2.8.2. MAPA DE VALOR	19

3. ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS TÉCNICAS PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA	21
3.1. ALTERNATIVAS DE PLATAFORMAS DE MONITOREO.....	21
3.2. ALTERNATIVAS DE VISUALIZACIÓN DE MÉTRICAS.....	22
3.3. PROTOCOLOS Y MECANISMOS DE RECOLECCIÓN DE MÉTRICAS	23
3.4. MATRIZ COMPARATIVA DE ALTERNATIVAS.....	24
3.5. DECISIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE ARQUITECTURA SELECCIONADA	25
4. MODELO DE NEGOCIO	26
4.1. PROPUESTA DE MODELO DE NEGOCIO.....	26
4.2. VALIDACIÓN DEL MODELO DE NEGOCIO	26
5. PROPUESTA DE LA SOLUCIÓN TECNOLÓGICA	27
5.1. ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA.....	27
5.1.1 DIAGRAMA DE ARQUITECTURA DE ALTO NIVEL	28
5.1.2 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES PRINCIPALES	29
5.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DETALLADAS	29
5.2.1. REQUISITOS DE HARDWARE	30
6. ANÁLISIS DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL	31
6.1. FASES DEL PROCESO DE TRANSFORMACION DIGITAL.....	31
7. ASPECTOS LEGALES Y CONTRATACIÓN.....	33
7.1. MARCO LEGAL APLICABLE	33
7.1.1. NORMATIVA DE PROTECCIÓN DE DATOS PERSONALES	33
7.1.2. NORMATIVA DE CONTRATACIÓN PÚBLICA.....	34
7.1.3. PROPIEDAD INTELECTUAL Y LICENCIAMIENTO	34
7.1.4. NORMATIVA DE SEGURIDAD DE LA INFORMACIÓN	35
7.2. CONTRATOS Y ACUERDOS REQUERIDOS	35
7.2.1. CONTRATO DE ADQUISICIÓN DE HARDWARE.....	35

7.2.2.	CONTRATO DE SERVICIOS PROFESIONALES – CONSULTORÍA.....	36
7.2.3.	ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD (NDA)	36
7.2.4.	ACUERDO DE NIVEL DE SERVICIO (SLA) - SOPORTE OPCIONAL	37
7.2.5.	POLÍTICA DE USO ACEPTABLE PARA PERSONAL TÉCNICO	37
7.3.	CONSIDERACIONES DE CUMPLIMIENTO REGULATORIO	38
7.3.1.	HABEAS DATA Y CONSULTAS A BASES DE DATOS.....	38
7.3.2.	AUDITORÍA Y TRAZABILIDAD	38
7.4.	RIESGOS LEGALES Y MITIGACIÓN.....	38
CONCLUSIONES.....		40
REFERENCIAS.....		42
LISTA DE FIGURAS.....		45

ACRÓNIMOS

Acrónimo	Significado
AGPLv3	GNU Affero General Public License version 3
AI	Artificial Intelligence (Inteligencia Artificial)
AND	Agencia Nacional Digital
API	Application Programming Interface (Interfaz de Programación de Aplicaciones)
AWS	Amazon Web Services
CNCF	Cloud Native Computing Foundation
CPU	Central Processing Unit (Unidad Central de Procesamiento)
CRAI	Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación
CSV	Comma-Separated Values (Valores Separados por Comas)
DevOps	Development and Operations (Desarrollo y Operaciones)
DNS	Domain Name System (Sistema de Nombres de Dominio)
DOI	Digital Object Identifier
ESG	Environmental, Social and Governance
GCP	Google Cloud Platform
HCI	Hyper-Converged Infrastructure (Infraestructura Hiperconvergente)
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HVAC	Heating, Ventilation, and Air Conditioning
ICMP	Internet Control Message Protocol (Protocolo de Mensajes de Control de Internet)
IaC	Infrastructure as Code (Infraestructura como Código)
IaaS	Infrastructure as a Service (Infraestructura como Servicio)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IES	Instituciones de Educación Superior
IoT	Internet of Things (Internet de las Cosas)
IP	Internet Protocol (Protocolo de Internet)
IT	Information Technology (Tecnología de la Información)
ITIL	Information Technology Infrastructure Library
KPI	Key Performance Indicator (Indicador Clave de Desempeño)
ML	Machine Learning (Aprendizaje Automático)
MinTIC	Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
OAuth	Open Authorization
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OIT	Organización Internacional del Trabajo
ONU	Organización de Naciones Unidas
PaaS	Platform as a Service (Plataforma como Servicio)
RAM	Random Access Memory (Memoria de Acceso Aleatorio)
SaaS	Software as a Service (Software como Servicio)
SENA	Servicio Nacional de Aprendizaje
SENATIC	SENA + TIC (Programa de Formación Digital)
SNIES	Sistema Nacional de Información de la Educación Superior
SLA	Service Level Agreement (Acuerdo de Nivel de Servicio)

RESUMEN

La monografía analiza problemas en la gestión del laboratorio ETM11 de la Universidad Santo Tomás, originados por la falta de control sobre la infraestructura informática. Esto genera tres inconvenientes principales:

1. Desperdicio energético: equipos encendidos fuera del horario de uso.
2. Gestión reactiva: ausencia de monitoreo en tiempo real impide mantenimiento preventivo.
3. Falta de automatización: tareas manuales que complican la labor técnica.

Solución propuesta. Implementación de un sistema inteligente basado en tecnologías abiertas:

Zabbix Server y Agent: monitoreo centralizado y recolección de métricas (CPU, memoria, temperatura, energía).

Grafana: visualización en paneles dinámicos y en tiempo real.

Capacidades clave

- Monitoreo integral de recursos y periféricos.
- Automatización con alertas y control remoto (Wake-on-LAN).
- Gestión proactiva para anticipar incidencias.
- Impacto esperado
- Reducción del consumo energético y optimización del tiempo técnico.
- Mayor fiabilidad por detección temprana de fallos.
- Datos históricos para decisiones estratégicas.

Este proyecto demuestra cómo las soluciones open source pueden mejorar la eficiencia, ser escalables y alinearse con la transformación digital y la sostenibilidad.

Palabras clave: monitoreo, Zabbix, Grafana, eficiencia energética, automatización, gestión remota, laboratorios universitarios, open source.

ABSTRACT

The monograph analyzes problems in the management of the ETM11 laboratory at Santo Tomás University, caused by a lack of control over the IT infrastructure. This generates three main issues:

1. *Energy waste: equipment left on outside of operating hours.*
2. *Reactive management: lack of real-time monitoring prevents preventive maintenance.*
3. *Lack of automation: manual tasks that complicate technical work.*

Proposed solution. *Implementation of an intelligent system based on open technologies:*

Zabbix Server and Agent: centralized monitoring and collection of metrics (CPU, memory, temperature, energy).

Grafana: visualization in dynamic, real-time panels.

Key capabilities

- *Comprehensive monitoring of resources and peripherals.*
- *Automation with alerts and remote control (Wake-on-LAN).*
- *Proactive management to anticipate incidents.*
- *Expected impact*
- *Reduced energy consumption and optimized technical time.*
- *Increased reliability through early fault detection.*
- *Historical data for strategic decisions.*

This project demonstrates how open source solutions can improve efficiency, be scalable, and align with digital transformation and sustainability.

Keywords: *monitoring, Zabbix, Grafana, energy efficiency, automation, remote management, university laboratories, open source.*

INTRODUCCIÓN

Los laboratorios universitarios enfrentan retos en eficiencia, control de recursos y sostenibilidad. En la Universidad Santo Tomás, el laboratorio ETM11 refleja problemas como falta de monitoreo, consumo energético innecesario y gestión manual de tareas, lo que incrementa costos y afecta la experiencia del usuario.

Para responder a estas limitaciones, se plantea un sistema inteligente basado en tecnologías open source (Zabbix y Grafana) que permite supervisión en tiempo real, automatización y control remoto. La propuesta busca transformar la administración reactiva en un modelo proactivo, optimizando recursos y reduciendo la huella ambiental.

Este proyecto se alinea con tendencias globales de transformación digital y demuestra que las soluciones abiertas pueden ofrecer capacidades avanzadas sin altos costos, favoreciendo la escalabilidad y la sostenibilidad en entornos académicos.

1. PROBLEMA

La gestión del laboratorio ETM11 refleja retos comunes en entornos académicos: falta de monitoreo centralizado, control energético y administración remota. Esta carencia provoca tres impactos clave:

- Operativo: ausencia de información en tiempo real dificulta la detección de fallos y la planificación preventiva.
- Económico: equipos encendidos fuera de horario generan gastos innecesarios.
- Ambiental: el consumo excesivo incrementa la huella de carbono, contradiciendo objetivos de sostenibilidad.

Estos factores evidencian la urgencia de adoptar soluciones tecnológicas que optimicen recursos y mejoren la eficiencia, tal como se plantea en la introducción.

1.1. ARBOL DE PROBLEMAS

Como se observa en la Figura 1, el análisis identifica como problema central la falta de monitoreo constante y gestión automatizada en el laboratorio ETM11, originada por tres causas principales:

- Carencia de infraestructura tecnológica para supervisión.
- Limitaciones de personal para gestión continua.
- Ausencia de políticas automatizadas para control energético.

Estas causas generan efectos en cascada que impactan la eficiencia operativa, incrementan costos económicos y deterioran la sostenibilidad ambiental, evidenciando la necesidad de soluciones tecnológicas integrales.

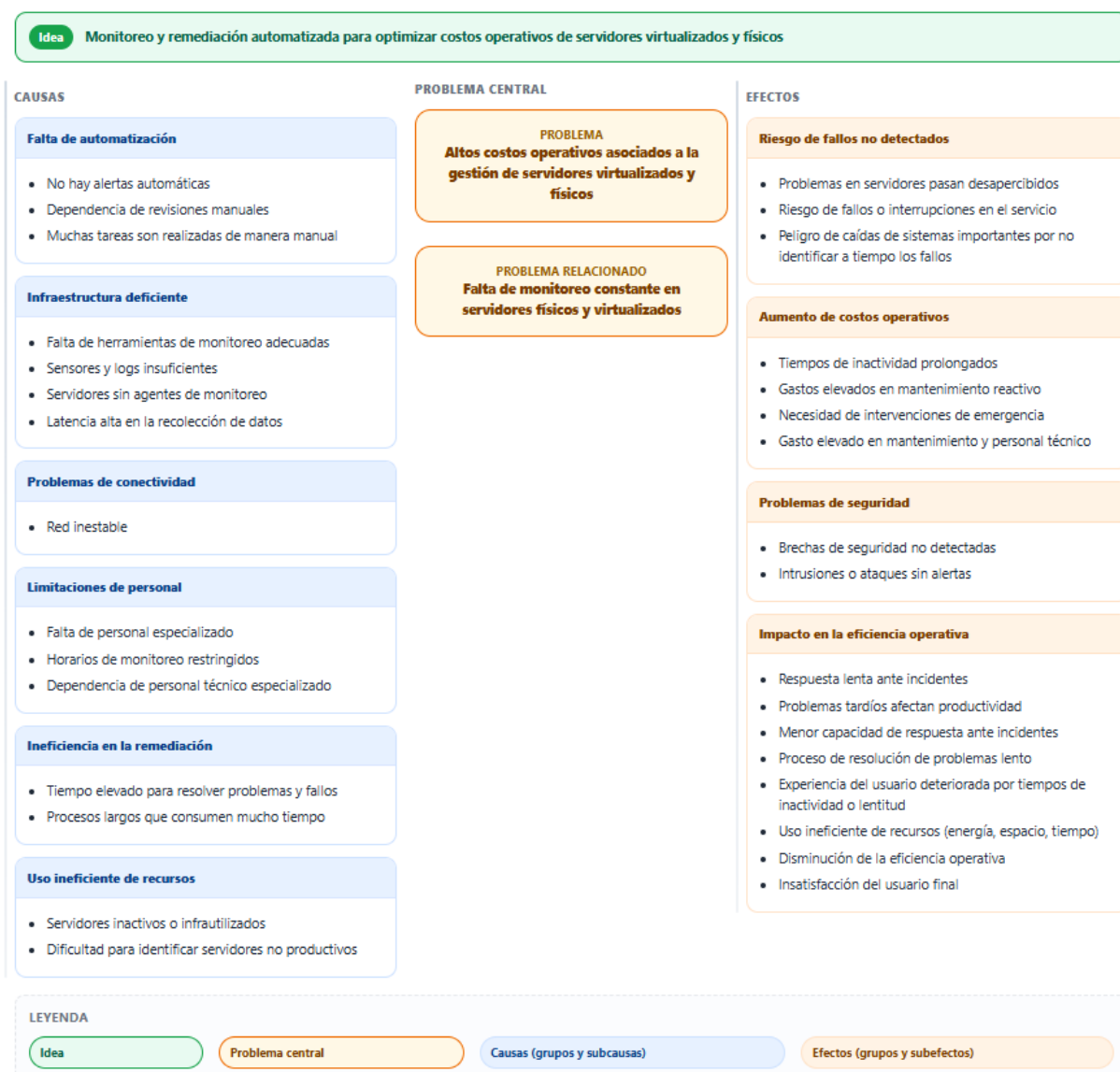


Figura 1. Árbol de Problemas

1.2. QUE SE QUIERE SOLUCIONAR

Los laboratorios de cómputo universitarios son esenciales para la formación tecnológica y requieren alta disponibilidad y eficiencia. Sin embargo, el laboratorio ETM11 de la Universidad Santo Tomás, compuesto por 12 equipos con Windows 10, presenta deficiencias críticas:

- Falta de visibilidad operativa: no se monitorean métricas clave (CPU, RAM, temperatura, periféricos), lo que impide detectar fallos tempranos y planificar mantenimientos preventivos.
- Consumo energético no controlado: equipos permanecen encendidos fuera del horario académico, generando gastos innecesarios y aumentando la huella de carbono.
- Gestión presencial obligatoria: tareas básicas como reinicios o apagado de equipos requieren desplazamiento físico, reduciendo la eficiencia del personal técnico.
- Ausencia de datos históricos: no hay información para analizar tendencias, optimizar recursos ni tomar decisiones estratégicas.

Esta situación impacta en tres dimensiones:

1. Operativa: baja eficiencia y tiempos de respuesta prolongados.
2. Económica: incremento de costos por energía y mantenimiento reactivo.
3. Ambiental: mayor impacto negativo en sostenibilidad institucional.

Para establecer una línea base del consumo energético del laboratorio ETM11, se realizó un diagnóstico basado en el procedimiento operativo actual y las especificaciones técnicas de los equipos.

Aspecto	Situación Actual (Diagnóstico)	Propuesta de Solución
Horario de Operación	Horarios fijos y generalizados:	Horarios dinámicos y bajo demanda mediante Wake-on-LAN. Encendido de equipos solo cuando son requeridos para clases o actividades específicas.
	• lunes a viernes: 6:00 a.m. - 9:00 p.m. (15 hrs/día)	
	• sábados: 7:30 a.m. - 5:00 p.m. (9.5 hrs/día)	
Gestión de Equipos	Encendido y apagado manual de los 12 equipos, sin distinción de uso.	Control remoto individual o grupal. Posibilidad de implementar políticas automatizadas de apagado fuera de horarios de uso confirmado.

Monitoreo	No existe un sistema centralizado. El estado de los equipos se verifica físicamente ante una falla.	Monitoreo continuo y en tiempo real con Zabbix Agent. Seguimiento de métricas como estado, rendimiento (CPU, RAM), temperatura y consumo.
Visualización de Datos	No hay acceso a datos operativos del laboratorio.	Dashboards en Grafana para visualizar el estado global, tendencias históricas y comparar el desempeño entre equipos.
Manejo de Incidentes	Modelo reactivo. Las fallas se atienden después de que ocurren y son reportadas por los usuarios.	Modelo proactivo con alertas automatizadas. Notificaciones inmediatas ante anomalías (alta temperatura, fallas de hardware, consumo elevado).
Toma de Decisiones	Basada en experiencia o evidencia limitada. Sin datos para planificar mantenimientos o renovaciones.	Analítica de datos con reportes históricos. Identificación de patrones de uso para fundamentar decisiones de mantenimiento preventivo y renovación tecnológica.
Consumo Energético	Consumo mensual base: 53 kWh	Reducción significativa del consumo. Al encender los equipos solo cuando es necesario
	Derivado de encender todos los equipos durante toda la jornada, independientemente de su uso real.	
Eficiencia del Personal	El personal técnico dedica tiempo a tareas rutinarias de encendido/apagado y a desplazamientos para verificar el estado de los equipos.	Optimización del tiempo. Automatización de tareas operativas y gestión remota, liberando al personal para labores de mayor valor.

El problema central se define como la ausencia de un sistema integrado de monitoreo y gestión automatizada, lo que limita la modernización y la alineación con tendencias globales de transformación digital y sostenibilidad

2. IDEACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Este análisis estratégico justifica la implementación de un sistema de monitoreo automatizado para el laboratorio ETM11, fundamentando su pertinencia en el contexto actual. La propuesta aborda el desafío de las universidades colombianas de equilibrar la calidad académica con la eficiencia operativa y la sostenibilidad ambiental.

Para ello, la solución aprovecha la madurez de las herramientas de código abierto y se alinea con las políticas de transformación digital, con el objetivo de generar valor tangible en los ámbitos operativo, económico y ambiental para la institución.

2.1. POR QUÉ SE PLANTEA AHORA LA SOLUCIÓN

La combinación de factores tecnológicos, económicos y regulatorios crea un escenario óptimo para modernizar la gestión de laboratorios universitarios. A nivel global, la tendencia hacia la observabilidad y la transformación digital impulsa sistemas inteligentes con análisis predictivo y automatización, mientras que las universidades priorizan la eficiencia energética y sostenibilidad como indicadores clave.

En el ámbito nacional, políticas como la Estrategia Nacional Digital 2023-2026 y programas de formación tecnológica fortalecen la adopción de soluciones innovadoras. Paralelamente, las plataformas open source como Zabbix y Grafana han alcanzado una madurez técnica que las posiciona como alternativas robustas y escalables frente a soluciones propietarias.

Este contexto favorece que el laboratorio ETM11 actúe como caso piloto, alineado con tendencias internacionales, objetivos institucionales y compromisos ambientales, sentando las bases para su replicabilidad en otros espacios académicos.

2.2. SECTOR OBJETIVO

La solución está dirigida principalmente a instituciones de educación superior, especialmente aquellas que gestionan laboratorios universitarios de cómputo, telecomunicaciones e ingeniería. Estos espacios presentan retos específicos:

- Alta complejidad operativa por equipos heterogéneos.
- Patrones de uso variables según calendario académico.
- Restricciones presupuestarias, que hacen atractivas las soluciones open source.
- Función formativa dual, al servir como infraestructura académica y espacio de aprendizaje tecnológico.

En Colombia existen 288 instituciones con más de 1.200 laboratorios especializados, atendiendo a 580.000 estudiantes, lo que evidencia el impacto potencial de esta propuesta.

Aunque el enfoque principal son los laboratorios universitarios, la arquitectura modular y escalable permite su aplicación en otros sectores como centros de datos, gobierno, salud, telecomunicaciones y retail, gracias a su independencia tecnológica, escalabilidad y capacidad de integración mediante APIs.

2.3. TENDENCIAS DEL SECTOR

El sector universitario vive una transformación acelerada impulsada por la digitalización, la sostenibilidad y la innovación tecnológica. Las principales tendencias son:

- Transformación digital: Migración hacia arquitecturas híbridas, integración de servicios en la nube, analítica de datos, IA y automatización, lo que exige sistemas de monitoreo capaces de gestionar entornos heterogéneos.
- Compromiso con sostenibilidad: Las universidades priorizan la eficiencia energética y la reducción de huella de carbono, siendo los laboratorios espacios críticos por su alto consumo. El monitoreo en tiempo real y el apagado automatizado son estrategias clave.
- Smart campus e IoT: Implementación de sensores y plataformas inteligentes para optimizar recursos, seguridad y consumo energético, con laboratorios como casos prioritarios por su complejidad operativa.
- Observabilidad y gestión proactiva: Evolución del monitoreo hacia análisis predictivo y automatización, reduciendo tiempos de respuesta y mejorando la disponibilidad.
- Automatización y orquestación: Uso de prácticas como IaC y DevOps para agilizar despliegues y reducir errores, aplicables a la gestión de laboratorios.
- Adopción de soluciones open source: Creciente preferencia por herramientas como Zabbix y Grafana por su costo cero en licencias, flexibilidad y alineación con la misión educativa.
- Cultura data-driven: Uso de analítica para decisiones estratégicas, planificación de mantenimiento y optimización de recursos.

Estas tendencias validan la pertinencia de la propuesta, que responde a necesidades de eficiencia, sostenibilidad y modernización en laboratorios universitarios.

2.4. ANALISIS DE MERCADO

El mercado objetivo de la solución corresponde a las Instituciones de Educación Superior (IES) que operan laboratorios de cómputo y requieren mejorar la eficiencia energética, la disponibilidad de equipos y la gestión remota. En Colombia existen más de 280 IES y más de 1.200 laboratorios, lo que evidencia una necesidad creciente de sistemas de monitoreo accesibles y escalables.

Las principales necesidades identificadas en este segmento incluyen: falta de monitoreo en tiempo real, ausencia de datos para mantenimiento preventivo, consumo energético elevado por equipos encendidos sin uso y dependencia de gestión presencial. Estas problemáticas son comunes en laboratorios académicos debido a restricciones presupuestarias y a la falta de herramientas centralizadas.

En cuanto a la competencia, existen soluciones comerciales como Datadog o SolarWinds, que ofrecen funciones avanzadas, pero con costos altos, poco viables para instituciones educativas. Por ello, las universidades tienden a adoptar soluciones open source. Dentro de estas, Zabbix junto con Grafana destaca como la alternativa más completa y económica, superando a otras opciones como Nagios o Prometheus en facilidad de adopción y en capacidades para infraestructuras tradicionales.

El proyecto se alinea con tendencias actuales del sector educativo, como la transformación digital, optimización energética, Smart Campus y la adopción de tecnologías libres. En este contexto, la solución propuesta representa una oportunidad clara para reducir costos, mejorar la disponibilidad de los equipos y aportar datos estratégicos para la gestión institucional, con alto potencial de replicación en otros laboratorios y universidades del país.

2.5. ARBOL DE OBJETIVOS

El árbol de objetivos transforma los problemas en metas alcanzables mediante la solución propuesta. Como se muestra en la Figura 2, el objetivo central es la implementación de un sistema de monitoreo continuo y gestión automatizada en el laboratorio ETM11, apoyado en medios que atacan las causas raíz y generan beneficios como eficiencia operativa, ahorro energético y sostenibilidad institucional.

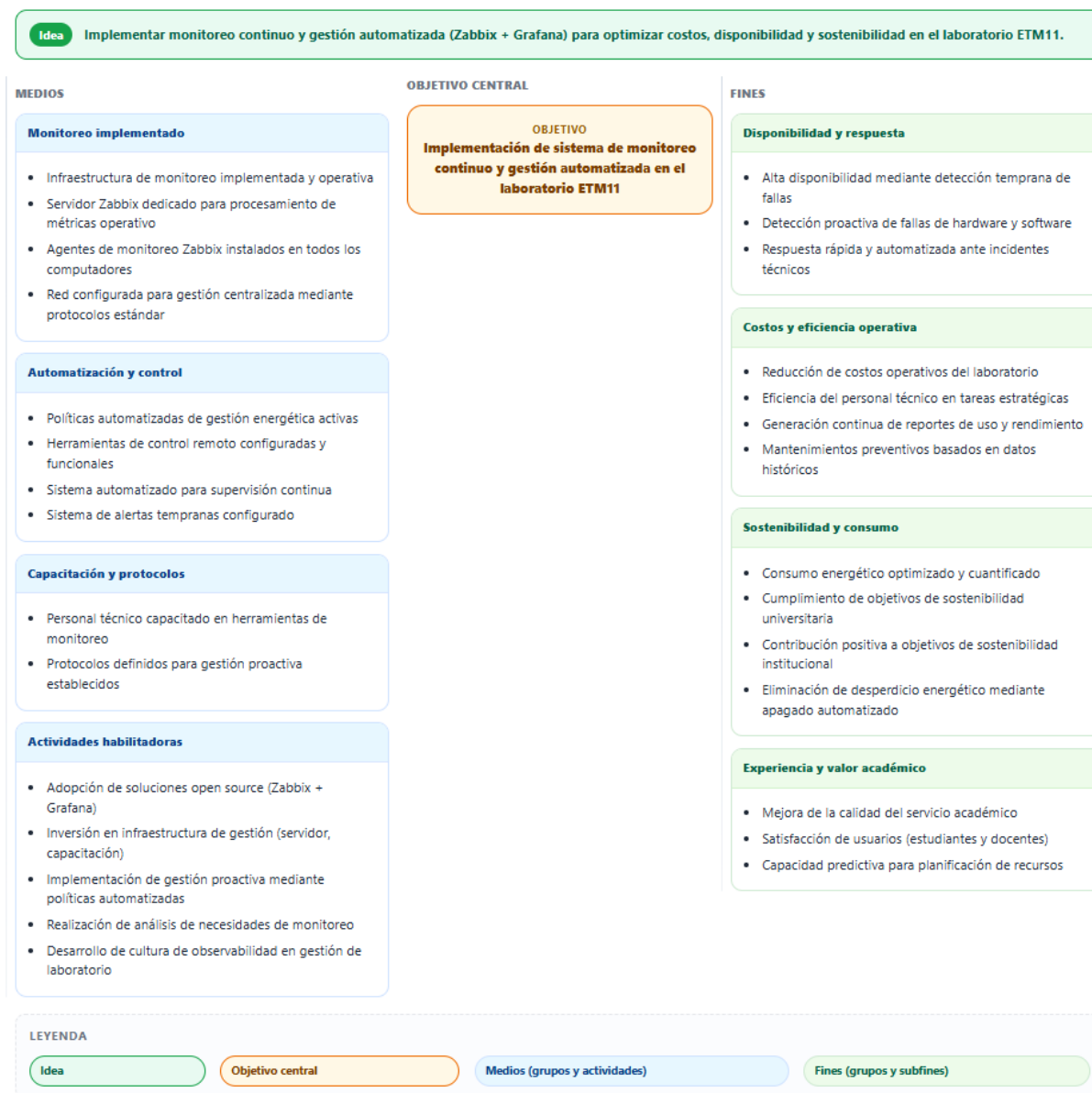


Figura 2 Árbol de Objetivos

2.6. CUÁL ES LA SITUACIÓN DESEADA

La situación deseada para el laboratorio ETM11 consiste en pasar de una gestión reactiva y manual a un modelo proactivo, automatizado e inteligente. Con la implementación de Zabbix y Grafana, se lograría visibilidad completa en tiempo real,

detección temprana de anomalías con alertas automáticas, optimización energética mediante apagado remoto y políticas inteligentes, y generación de datos históricos para decisiones estratégicas.

Además, se reducirían tareas rutinarias del personal técnico, se incorporaría formación práctica en herramientas industriales para estudiantes y se garantizaría escalabilidad para replicar la solución en otros laboratorios. Esta transformación no solo mejora la eficiencia operativa y reduce costos, sino que también fortalece la sostenibilidad institucional y la excelencia académica.

2.7. INTRODUCCIÓN A LA SITUACIÓN DESEADA

La **Figura 3** muestran el contraste entre la situación actual del laboratorio ETM11 y la situación objetivo tras la implementación de la solución. Actualmente, la gestión es reactiva y manual, con intervenciones técnicas solo ante incidentes reportados o inspecciones programadas, lo que genera ineficiencias y ausencia de capacidades predictivas. El análisis visual permite dimensionar el valor de la transformación hacia procesos optimizados con monitoreo inteligente.

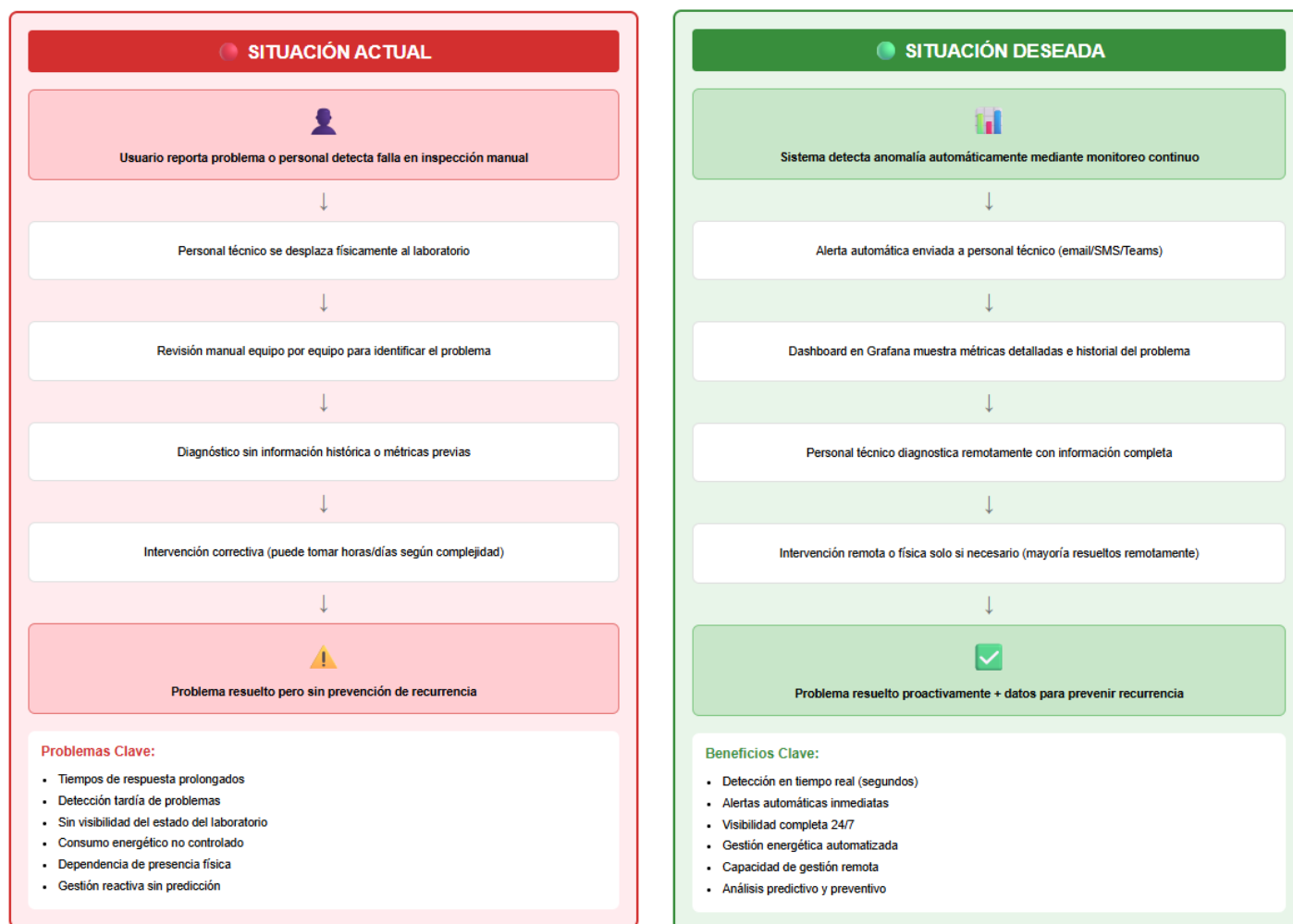


Figura 3. Situación Actual VS Situación deseada

El diagrama evidencia una transformación fundamental en la gestión del laboratorio, pasando de un modelo reactivo a uno proactivo e inteligente.

Situación Actual:

- Ciclo reactivo que inicia con reportes de usuarios o inspecciones manuales.
- Necesidad de desplazamiento físico para un diagnóstico sin información previa.
- Consecuencias: tiempos de respuesta prolongados, detección tardía y alta dependencia de la presencia física.

Situación Deseada:

- El sistema detecta automáticamente anomalías mediante monitoreo continuo.
- Alertas inmediatas con información detallada permiten el diagnóstico remoto.
- Se eliminan desplazamientos innecesarios y se registran datos para prevenir recurrencias.

Esta transformación no es una simple mejora, sino una redefinición del paradigma de gestión, posicionando al laboratorio como un referente de innovación dentro de la universidad.

2.8. PROPUESTA DE VALOR

La institución educativa contará con un sistema inteligente de gestión tecnológica basado en Zabbix y Grafana que integra monitoreo centralizado, control energético y administración remota para garantizar continuidad operativa, reducir costos y mejorar la experiencia educativa. Esta solución proporciona visibilidad total del ecosistema tecnológico en tiempo real, permite tomar decisiones basadas en datos, automatiza alertas y acciones correctivas, y elimina la dependencia de herramientas propietarias, logrando una operación más eficiente, sostenible y escalable.

2.8.1. PERFIL DEL CLIENTE

El Departamento de Laboratorios de Telecomunicaciones de la Universidad Santo Tomás es una dependencia académica encargada de administrar, operar y mantener los espacios tecnológicos donde estudiantes de ingeniería y áreas afines desarrollan prácticas experimentales, simulaciones, mediciones y proyectos aplicados. La disponibilidad y buen funcionamiento de esta infraestructura son esenciales para la calidad del proceso formativo.

2.8.2. MAPA DE VALOR

Productos y Servicios (Qué entregamos)

- Implementación de un sistema de monitoreo inteligente con Zabbix Server/Agent.
- Paneles de visualización interactivos en Grafana.

- Sistema de alertamiento automático multicanal.
- Módulos de monitoreo de red, servidores, PCs, sensores, energía y servicios.
- Configuración de automatismos (apagado/encendido programado).
- Administración remota integrada.
- Reportes históricos, predictivos y análisis de capacidad.
- Integración con la infraestructura tecnológica existente.

<i>Customer Profile</i>	<i>Value Map</i>
Jobs: asegurar disponibilidad, monitorear equipos, controlar energía, soporte técnico, informes.	Productos y servicios: Zabbix + Grafana, dashboards, alertas, automatización, control remoto.
Pains: fallas no detectadas, consumo energético alto, soporte reactivo, falta de métricas, interrupciones académicas.	Pain relievers: monitoreo 24/7, automatización, control energético, reportes, alertas inteligentes.
Gains: reducción de fallas, ahorro energético, visibilidad total, toma de decisiones con datos.	Gain creators: predicción de fallas, dashboards avanzados, escalabilidad, modernización institucional.

3. ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS TÉCNICAS PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

El análisis de alternativas técnicas compara diferentes enfoques para resolver los problemas del laboratorio ETM11, considerando ventajas, desventajas, costos, complejidad y adecuación al contexto universitario colombiano. La solución requiere integrar componentes clave: plataforma de monitoreo para métricas, sistema de visualización, alertas automáticas, control remoto y protocolos de comunicación. Cada bloque funcional ofrece diversas opciones tecnológicas con distintos niveles de madurez, costos y curvas de aprendizaje, lo que fundamenta la elección de la arquitectura más viable.

3.1. ALTERNATIVAS DE PLATAFORMAS DE MONITOREO

Las plataformas de monitoreo son el núcleo de la solución, encargadas de recolectar, almacenar y procesar métricas para detectar anomalías y generar alertas. Su elección determina la funcionalidad, escalabilidad, facilidad de uso, costos y sostenibilidad a largo plazo.

Plataforma	Tipo	Ventajas Principales	Desventajas Principales	Adecuación al Caso de Uso
Zabbix	Open Source	• Sin costos de licencia	• Instalación requiere conocimientos Linux/BD	Altamente adecuado - Ofrece todas las capacidades requeridas sin costos de licencia, con escalabilidad suficiente y soporte local disponible
		• Escalabilidad demostrada	• Configuración de alertas demanda ajustes iterativos	
		• Comunidad hispanohablante activa	• Interfaz de visualización menos moderna que Grafana	
		• Documentación exhaustiva		
		• Partners oficiales en Colombia		
Prometheus	Open Source	• Excelente para métricas numéricas	• Diseñado para entornos cloud-native	Poco adecuado - Su diseño orientado a cloud-native no se ajusta a la infraestructura
		• Rendimiento superior en entornos cloud-native	• Ausencia de soporte SNMP nativo	
		• Integración perfecta con Grafana	• Retención de datos limitada	

		• Ecosistema rico de exporters	• Curva de aprendizaje pronunciada	tradicional del laboratorio
Nagios	Open Source	• Madurez probada (25+ años)	• Interfaz web anticuada	Inadecuado - Carece de capacidades críticas requeridas como visualización de métricas históricas y análisis de tendencias
		• Ecosistema extenso de plugins	• Configuración basada en archivos de texto	
		• Requerimientos de recursos bajos	• Ausencia de visualización de métricas históricas	
		• Conocimiento ampliamente difundido	• Escalabilidad limitada	
Checkmk	Open Source (con versión Enterprise)	• Descubrimiento automático	• Versión open source con limitaciones	Adecuación moderada - Complejidad operativa superior sin ventajas claras sobre Zabbix
		• Rendimiento excelente	• Documentación fragmentada	
		• Interfaz web moderna	• Comunidad hispanohablante pequeña	
		• Balance entre facilidad y capacidades	• Instalación compleja	

3.2. ALTERNATIVAS DE VISUALIZACIÓN DE MÉTRICAS

La visualización de métricas es esencial para comprender el estado del sistema, detectar tendencias y comunicar información de forma clara. Las plataformas convierten datos en gráficos, dashboards interactivos y reportes fáciles de interpretar.

Aspecto	Grafana	Dashboards Nativos
Tipo de Plataforma	Plataforma especializada en visualización	Módulo integrado en plataformas de monitoreo
Características Técnicas	• Soporte multi-datasource (100+ fuentes)	• Integración directa con la plataforma principal
	• Editor drag-and-drop	• Visualizaciones básicas incluidas
	• Múltiples tipos de visualización	• Configuración unificada
	• Sistema de alertas independiente	
	• Variables para filtrado dinámico	
	• Sistema de plugins	
Principales Ventajas	• Interfaz moderna e intuitiva	• Integración nativa sin componentes adicionales

	• Flexibilidad extrema en diseño	• Configuración simplificada
	• Integración perfecta con Zabbix	• Menor consumo de recursos
	• Comunidad masiva y templates	• Sin costos adicionales
	• Documentación excelente	
	• Ideal para múltiples audiencias	
Principales Desventajas	• Curva de aprendizaje inicial	• Capacidades de visualización limitadas
	• Duplicidad de funcionalidades de alerta	• Flexibilidad reducida en personalización
	• Requiere servidor adicional	• Interfaces menos atractivas
	• Costos de implementación extra	• Difícil adaptación a audiencias no técnicas

Adecuación al Caso de Uso: Los dashboards nativos cubren necesidades básicas, pero no cumplen los objetivos del laboratorio ETM11 de generar reportes para administración y experiencias atractivas para estudiantes. La inversión en Grafana se justifica por la calidad superior de sus visualizaciones.

3.3.PROTOCOLOS Y MECANISMOS DE RECOLECCIÓN DE MÉTRICAS

La recolección eficiente y confiable de métricas desde equipos monitoreados constituye fundamento de cualquier sistema de monitoreo. Existen múltiples protocolos y mecanismos con diferentes características de rendimiento, seguridad y complejidad.

Protocolo / Mecanismo	Descripción	Ventajas	Desventajas	Adecuación al Caso (Laboratorio ETM11)
Agentes Nativos (Zabbix Agent, Telegraf, Node Exporter)	Software ligero instalado en cada equipo que recolecta métricas del sistema operativo (CPU, RAM, temperatura, energía, procesos).	Acceso completo a métricas	Requiere instalación y mantenimiento en cada equipo	Alta. Permiten monitoreo granular y control total en equipos bajo administración institucional.
		Bajo consumo de recursos	Actualizaciones coordinadas	

		Permite scripts personalizados	Configuración de firewall necesaria	
		Comunicación cifrada		
SNMP (Simple Network Management Protocol)	Protocolo estándar para supervisión de dispositivos de red (switches, routers, access points).	Amplio soporte en hardware	Versiones v1/v2 sin cifrado	Media. Complementario para infraestructura de red, no para estaciones de trabajo.
		No requiere instalación extra	Métricas limitadas	
		Ideal para equipos sin agentes	Polling intensivo puede afectar rendimiento	
ICMP (Internet Control Message Protocol – Ping)	Permite verificar disponibilidad de los equipos mediante mensajes de eco (ping/pong).	Ligero y universal	Solo detecta disponibilidad, no rendimiento	Media-Alta. Útil para confirmar conectividad y estado básico antes de análisis detallado.
		No requiere configuración	Puede ser bloqueado por firewall	
		Compatible con cualquier dispositivo IP		

Adecuación al Caso de Uso:

Wake-on-LAN resulta ideal para el laboratorio ETM11 permitiendo encendido automatizado de equipos antes de inicio de clases programadas, reduciendo dependencia de personal técnico para preparación de laboratorio.

3.4. MATRIZ COMPARATIVA DE ALTERNATIVAS

La Tabla 1 presenta comparación estructurada de alternativas principales evaluadas según criterios relevantes para el contexto del laboratorio ETM11.

Criterio	Zabbix	Prometheus	Nagios	Checkmk	Comercial
Costo inicial	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Alto
Costo recurrente	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Alto
Facilidad instalación	Media	Media	Baja	Baja	Alta
Curva aprendizaje	Media	Alta	Media	Alta	Baja
Escalabilidad	Excelente	Excelente	Pobre	Excelente	Excelente
Visualización nativa	Buena	Pobre	Pobre	Buena	Excelente
Integración Grafana	Excelente	Nativa	Posible	Buena	Variable
Soporte SNMP	Excelente	Vía exporter	Vía plugins	Excelente	Excelente
Agentes ligeros	Sí	Sí	Vía NRPE	Sí	Sí
Análisis histórico	Excelente	Limitado	Pobre	Excelente	Excelente
Documentación en español	Excelente	Buena	Buena	Limitada	Variable
Comunidad hispanohablante	Grande	Media	Grande	Pequeña	N/A
Soporte local (Colombia)	Partners oficiales	Comunidad	Comunidad	Limitado	Comercial
Valor pedagógico	Alto	Alto	Medio	Medio	Bajo
Adecuación contexto	★★★★★	★★★	★★	★★★	★

Tabla 1. Matriz comparativa de alternativas de plataformas de monitoreo

Fuente: Elaboración Propia

3.5. DECISIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE ARQUITECTURA SELECCIONADA

La arquitectura seleccionada para el laboratorio ETM11 se basa en Zabbix + Grafana, elegida por su viabilidad económica, funcionalidad completa, escalabilidad, soporte local, valor pedagógico, madurez y comunidad activa.

Criterios aplicados: se priorizó la eliminación de costos de licencias, cobertura total de requerimientos, capacidad de crecimiento, soporte en Colombia, aporte educativo, estabilidad comprobada y respaldo comunitario.

Zabbix ofrece recolección y alertamiento robusto, mientras Grafana añade visualización avanzada, garantizando una solución confiable y alineada con objetivos académicos y operativos.

4. MODELO DE NEGOCIO

4.1. PROPUESTA DE MODELO DE NEGOCIO

El presente modelo de negocio propone la prestación de servicios especializados de consultoría, soporte y capacitación para la implementación de sistemas inteligentes de monitoreo, control y visualización en laboratorios académicos, utilizando tecnologías abiertas como Zabbix Server/Agent y Grafana. Dado que el software es de uso libre y sin costos de licenciamiento, el valor comercial se fundamenta en el conocimiento técnico, la configuración experta y el acompañamiento continuo al cliente final.

El enfoque de comercialización se desarrolla bajo un modelo Business to Consumer (B2C), donde el proveedor del servicio interactúa directamente con los responsables académicos y técnicos de los laboratorios, sin intermediarios ni canales corporativos externos.

4.2. VALIDACIÓN DEL MODELO DE NEGOCIO

El modelo ofrece a los laboratorios académicos una alternativa económicamente accesible, altamente flexible y alineada con las necesidades institucionales contemporáneas:

- Monitoreo centralizado 24/7 de infraestructura tecnológica crítica.
- Control energético automático para la reducción de costos operativos.

- Administración remota que disminuye tiempos de respuesta.
- Alertas inteligentes y dashboards personalizables.
- Eliminación de gastos en licenciamiento, gracias a tecnologías open source.
- Acompañamiento profesional en todas las etapas: implementación, puesta en marcha y mantenimiento.

Este valor se entrega a través de servicios especializados, configurados a la medida de la institución y sostenidos mediante un esquema de soporte recurrente.

La propuesta de valor se fundamenta en las necesidades específicas del segmento de clientes compuesto por coordinadores de laboratorio, técnicos de soporte, docentes e investigadores, quienes dependen de una infraestructura tecnológica estable para desarrollar actividades académicas y de investigación. A partir del análisis de este segmento, la solución con Zabbix y Grafana ofrece una plataforma inteligente que responde directamente a sus retos operativos, financieros y académicos.

5. PROPUESTA DE LA SOLUCIÓN TECNOLÓGICA

El diseño de la solución especifica la arquitectura técnica, componentes, configuraciones, integraciones y flujos operativos que materializan la propuesta de monitoreo inteligente y gestión automatizada del laboratorio ETM11. Esta sección transita desde la conceptualización estratégica hacia especificaciones técnicas detalladas que guían la implementación práctica del sistema.

5.1. ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA

La arquitectura propuesta adopta modelo cliente-servidor distribuido con tres capas funcionales claramente diferenciadas: capa de recolección de datos, capa de procesamiento y almacenamiento, y capa de presentación y visualización. Esta separación en capas facilita escalabilidad, mantenibilidad y evolución independiente de componentes.

5.1.1 DIAGRAMA DE ARQUITECTURA DE ALTO NIVEL

La Figura 4 y 5 presentan la arquitectura general del sistema, mostrando componentes principales, sus interacciones y flujos de información.

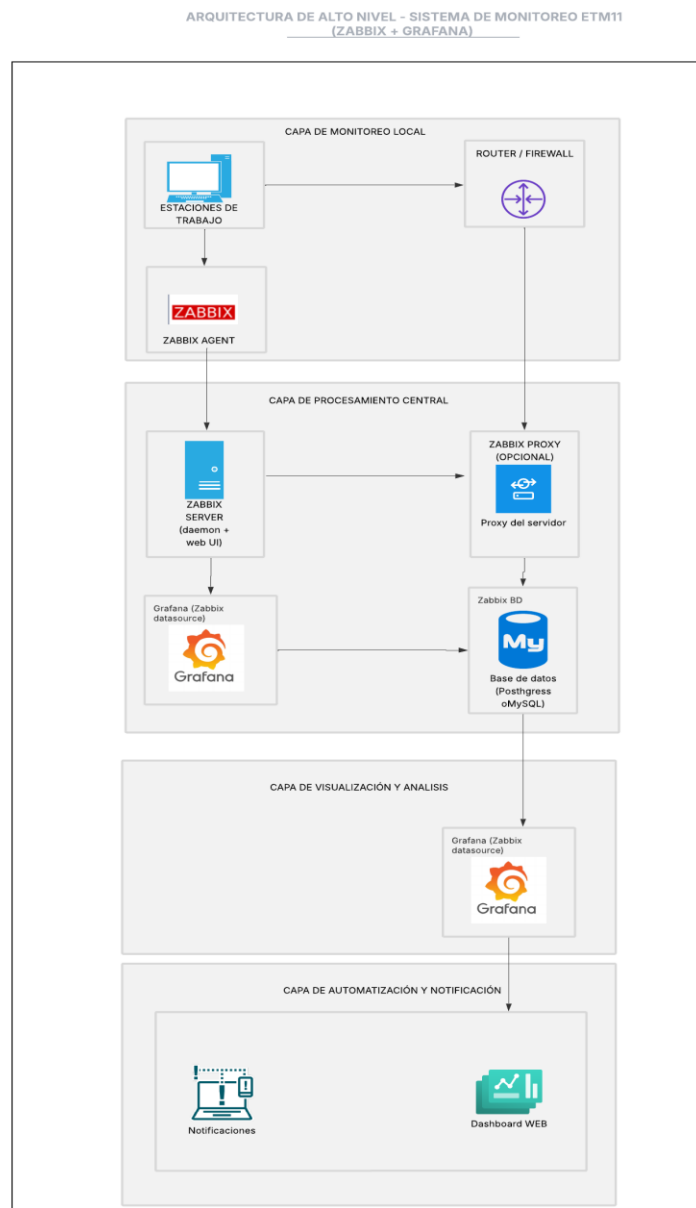


Figura 4. Arquitectura de alto nivel de monitoreo ETM 11

ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

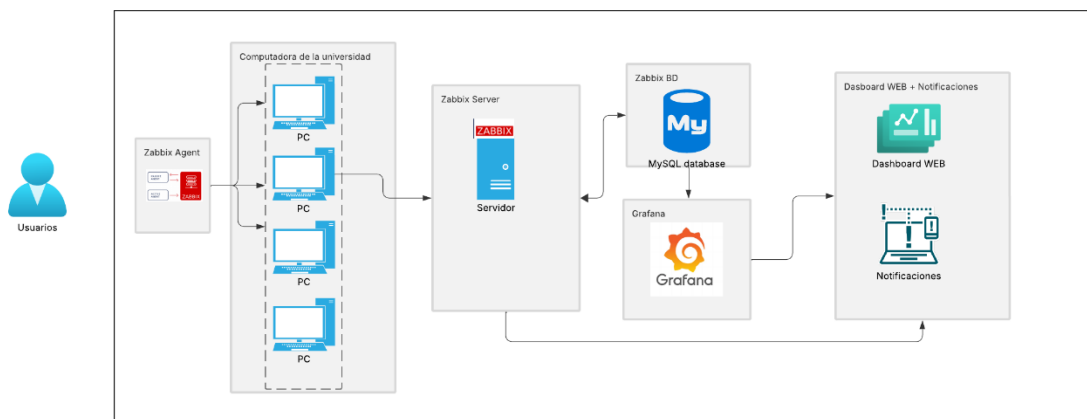


Figura 5. Arquitectura de la solución propuesta

5.1.2 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES PRINCIPALES

La arquitectura deseada para el laboratorio ETM11 se organiza en cuatro capas principales:

1. Infraestructura física: incluye 30 estaciones de trabajo con agentes Zabbix, dispositivos de red gestionables vía SNMP y un servidor dedicado con Ubuntu para alojar la solución.
2. Recolección de datos: se realiza mediante Zabbix Agent, consultas SNMP, verificaciones ICMP/TCP y scripts personalizados para métricas específicas.
3. Procesamiento y almacenamiento: Zabbix Server gestiona métricas, alertas y acciones automatizadas, apoyado en una base de datos relacional y API REST para integraciones externas.
4. Presentación y visualización: Grafana ofrece dashboards interactivos, Zabbix Frontend permite administración completa y el sistema de notificaciones asegura alertas inmediatas por múltiples canales.

Esta estructura garantiza monitoreo continuo, control remoto y visualización avanzada, alineada con la solución inteligente propuesta.

5.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DETALLADAS

5.2.1. REQUISITOS DE HARDWARE

Servidor de Monitoreo (Especificaciones Mínimas):

Componente	Especificación Mínima	Especificación Recomendada
CPU	4 cores @ 2.0 GHz	8 cores @ 2.5+ GHz
RAM	8 GB DDR4	16 GB DDR4
Almacenamiento	500 GB SSD SATA	1 TB NVMe SSD
Red	1 Gbps Ethernet	1 Gbps Ethernet + redundancia
Sistema Operativo	Ubuntu Server 22.04 LTS	Ubuntu Server 22.04 LTS

Tabla 2 Especificaciones servidor Zabbix

Justificación de Especificaciones:

- CPU: Zabbix Server es multi-threaded y se beneficia de múltiples cores para procesamiento paralelo de métricas de 10+ dispositivos
- RAM: 8GB suficiente para carga actual; 16GB proporciona margen para crecimiento futuro sin degradación
- Almacenamiento: SSD crítico para rendimiento de consultas de base de datos; NVMe mejora significativamente tiempos de respuesta
- Retención de datos: 500GB permite almacenar 12+ meses de métricas granulares de 8 equipos con aproximadamente 200 ítems por equipo

Estaciones de Trabajo (Requisitos del Agente Zabbix):

Recurso	Consumo Típico
CPU	<1% en operación normal
RAM	20-50 MB residentes
Disco	10 MB instalación + logs
Red	<10 Kbps promedio

Tabla 3 Recursos Zabbix Agent

El agente Zabbix tiene footprint extremadamente ligero, imperceptible para usuarios finales y compatible con prácticamente cualquier hardware moderno.

6. ANÁLISIS DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL

La implementación de un sistema inteligente de gestión tecnológica basado en herramientas open source como Zabbix y Grafana representa una oportunidad estratégica para impulsar un proceso de transformación digital en los laboratorios de telecomunicaciones de la Universidad Santo Tomás. Este proceso no solo incorpora nuevas tecnologías, sino que redefine la forma en que se operan, administran y optimizan los servicios tecnológicos, alineándose con los principios de eficiencia, sostenibilidad, automatización y toma de decisiones basada en datos.

6.1. FASES DEL PROCESO DE TRANSFORMACION DIGITAL

Digitalización de la operación

La incorporación de agentes Zabbix en los equipos de laboratorio permite digitalizar datos relevantes:

- Uso de CPU, memoria y red.
- Estado de dispositivos (PCs, routers, switches).
- Alarmas de rendimiento y disponibilidad.
- Niveles de consumo energético (cuando se integran sensores o UPS inteligentes).

Integración y automatización

El despliegue de Zabbix Server y su vínculo con Grafana facilita:

- Consolidación de datos en un solo punto de monitoreo.
- Automatización de notificaciones según umbrales.
- Activación de acciones remotas (apagado, reinicio, diagnóstico).
- Programación de mantenimientos basados en uso real.

Visibilidad inteligente

La integración con Grafana habilita:

- Paneles de visualización avanzados.
- Análisis comparativo entre laboratorios.
- Identificación de patrones de uso.
- Visibilidad del impacto energético en tiempo real.

Optimización y toma de decisiones basada en datos

Con los datos recolectados y visualizados, la institución puede:

- Optimizar horarios de uso y apagado automático.
- Planificar inversiones en equipos según métricas reales.
- Reducir gastos eléctricos y prolongar la vida útil de los dispositivos.
- Mejorar la experiencia del estudiante al evitar interrupciones.

Transformación cultural y organizacional

La implementación tecnológica también implica cambios en la operación interna:

- El personal técnico adopta herramientas de monitoreo y automatización.
- Los docentes adquieren visibilidad sobre el estado de los laboratorios.
- Los estudiantes acceden a entornos más disponibles y confiables.
- La universidad fortalece una cultura de gestión inteligente y sostenible

Antes de la implementación, el nivel de madurez puede clasificarse como Nivel 1: Operación manual o reactiva. Tras la implementación Nivel 3–4: Gestión integrada, automatizada y basada en datos. El sistema contribuye directamente a la transición hacia un modelo de gestión inteligente, propio de organizaciones con alta madurez digital.

La implementación de Zabbix y Grafana en los laboratorios de telecomunicaciones representa un proceso integral de transformación digital que abarca tecnología, operación, cultura organizacional y sostenibilidad. La universidad evoluciona hacia un modelo de gestión inteligente, centralizada y basada en datos, permitiendo mejoras significativas en la eficiencia operativa, la calidad del servicio académico y la proyección institucional frente a estándares tecnológicos contemporáneos.

7. ASPECTOS LEGALES Y CONTRATACIÓN

Esta sección aborda las consideraciones legales, regulatorias y contractuales relevantes para la implementación de la solución de monitoreo inteligente en el laboratorio ETM11, asegurando cumplimiento normativo y estableciendo marcos contractuales apropiados cuando se requieren servicios externos.

7.1. MARCO LEGAL APLICABLE

7.1.1. NORMATIVA DE PROTECCIÓN DE DATOS PERSONALES

Ley 1581 de 2012 - Protección de Datos Personales en Colombia: La implementación del sistema de monitoreo debe considerar que se recolectan datos que podrían clasificarse como personales según la Ley 1581 de 2012 y su decreto reglamentario 1377 de 2013. Aunque el sistema monitorea equipos institucionales, algunas métricas pueden vincularse indirectamente a usuarios específicos.

Datos Recolectados y su Clasificación:

Dato	Clasificación	Justificación Legal
Hostname del equipo	No personal	Identificador institucional sin vinculación directa
Dirección IP	Dato personal	IP puede vincularse a usuario en logs de autenticación
Dirección MAC	Dato personal	Identificador único de hardware asignado a usuario
Usuario activo en sesión	Dato personal	Información directamente identificable
Métricas de rendimiento (CPU, RAM)	No personal	Datos técnicos del equipo sin vinculación personal
Detección de periféricos (mouse, teclado)	No personal	Indicador de uso sin identificación de usuario

Tabla 4 Datos recolectados

Las medidas de cumplimiento garantizan privacidad y seguridad en el monitoreo del laboratorio ETM11. El sistema recolecta solo datos técnicos necesarios, con propósito legítimo para asegurar disponibilidad y eficiencia de recursos. Se informará a la comunidad académica mediante avisos y políticas, aplicando controles como

autenticación fuerte, cifrado TLS, auditoría y retención limitada. Los reportes se presentan de forma anonimizada y se recomienda incluir una cláusula en la Política de Uso de Recursos TI que especifique el alcance del monitoreo conforme a la Ley 1581 de 2012.

7.1.2. NORMATIVA DE CONTRATACIÓN PÚBLICA

Si la Universidad Santo Tomás tiene naturaleza de entidad pública o recibe recursos del Estado, la adquisición de hardware y contratación de servicios profesionales podría sujetarse a la Ley 80 de 1993 (Estatuto de Contratación) y Ley 1150 de 2007, requiriendo:

Para Adquisición de Hardware (Servidor):

- Cuantía estimada: \$3,000,000-5,000,000 COP
- Modalidad aplicable: Mínima cuantía (si es <10% menor cuantía de la entidad)
- Requerimientos: Tres cotizaciones, justificación técnica, registro presupuestal

Para Servicios Profesionales (Consultoría/Capacitación):

- Cuantía estimada: \$4,000,000-6,000,000 COP
- Modalidad aplicable: Contratación directa por prestación de servicios profesionales
- Requerimientos: Justificación de idoneidad, certificados de disponibilidad presupuestal

Para Universidades Privadas:

- Autonomía en contratación según estatutos internos
- Aplicación de políticas institucionales de compras
- Cumplimiento de procedimientos de aprobación presupuestaria

7.1.3. PROPIEDAD INTELECTUAL Y LICENCIAMIENTO

Software Open Source Utilizado:

Componente	Licencia	Implicaciones
Zabbix Server	AGPLv3	Uso libre, modificación permitida, debe compartir modificaciones si distribuye
Grafana	AGPLv3	Uso libre, plugins adicionales pueden tener licencias diferentes
MySQL	GPLv2	Uso libre, redistribución requiere misma licencia

Ubuntu Server	GPL/Varias	Uso libre sin restricciones
---------------	------------	-----------------------------

Tabla 5 Licencias utilizadas

Cumplimiento de AGPLv3: La licencia AGPL v3 permite uso libre, incluso comercial, y garantiza acceso al código fuente para usuarios que interactúen vía red, cumpliéndose con versiones oficiales. Si se modifican componentes y se ofrecen por red, debe publicarse el código bajo la misma licencia, manteniendo siempre la atribución original. Propiedad institucional: las configuraciones y desarrollos propios son de la Universidad Santo Tomás, incluyendo templates personalizados, dashboards de Grafana, scripts de automatización (recomendado licenciar como open source para fomentar colaboración académica) y toda la documentación generada, que mantiene copyright institucional.

7.1.4. NORMATIVA DE SEGURIDAD DE LA INFORMACIÓN

Se recomienda alinear la implementación con ISO/IEC 27001, aplicando controles clave:

- A.9 Gestión de accesos: RBAC en Zabbix.
- A.12 Seguridad operativa: auditoría, respaldos y gestión de cambios.
- A.18 Cumplimiento: protección de datos y normativas aplicables.

Además, cumplir la Ley 1273 de 2009 sobre delitos informáticos, evitando acceso abusivo, violación de datos y uso de software malicioso. Para ello, se sugieren acuerdos de confidencialidad, políticas de uso aceptable, logs de acciones administrativas y capacitación en ética y responsabilidad legal.

7.2. CONTRATOS Y ACUERDOS REQUERIDOS

7.2.1. CONTRATO DE ADQUISICIÓN DE HARDWARE

El contrato contempla el suministro de un servidor físico o licencia de máquina virtual para implementar el sistema de monitoreo del laboratorio ETM11. Las especificaciones mínimas incluyen CPU de 4 núcleos (recomendado 8), 8GB RAM (recomendado 16GB), almacenamiento SSD de 500GB (recomendado 1TB NVMe), interfaz Gigabit Ethernet y garantía on-site de 3 años. El valor estimado oscila entre \$4.000.000 y \$8.000.000 COP,

con entrega en 30 días y pago contra entrega. Se exige garantía de calidad, soporte técnico del fabricante y reemplazo gratuito de componentes defectuosos.

7.2.2. CONTRATO DE SERVICIOS PROFESIONALES – CONSULTORÍA

El contrato contempla la consultoría técnica especializada para implementar y poner en producción un sistema de monitoreo basado en Zabbix y Grafana en el laboratorio ETM11. Incluye instalación y configuración de Zabbix Server, base de datos, frontend seguro, agentes en 30 equipos, políticas de alertas, integración con Grafana y desarrollo de dashboards, además de documentación completa y capacitación al personal.

El consultor debe ser ingeniero con experiencia en monitoreo y conocimientos en Linux, redes y bases de datos. El valor estimado es de \$4.000.000 a \$8.000.000 COP, con plazo de 6 semanas y pagos por hitos. Los entregables abarcan sistema operativo, dashboards funcionales, documentación, scripts y sesiones formativas, cumpliendo criterios como métricas correctas, alertas activas y personal capacitado.

7.2.3. ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD (NDA)

Dado que el consultor externo tendrá acceso a información de infraestructura de la universidad, se requiere firma de NDA:

Cláusulas Clave:

- "El CONSULTOR se compromete a mantener absoluta confidencialidad sobre toda información, datos, configuraciones, credenciales, topologías de red, vulnerabilidades o cualquier información técnica a la que tenga acceso durante la ejecución del contrato. Esta obligación se extiende por un período de 5 años posteriores a la terminación del contrato."
- "El CONSULTOR no podrá utilizar información confidencial obtenida para propósitos distintos a la ejecución del presente contrato, ni divulgarla a terceros sin autorización escrita previa de la UNIVERSIDAD."
- "En caso de incumplimiento, el CONSULTOR será responsable por daños y perjuicios causados, además de las acciones legales que procedan conforme a la Ley 1273 de 2009 sobre protección de la información."

7.2.4. ACUERDO DE NIVEL DE SERVICIO (SLA) - SOPORTE OPCIONAL

Si se contrata soporte continuo con partner oficial de Zabbix en Colombia:

Niveles de Servicio:

Severidad	Tiempo de Respuesta	Tiempo de Resolución	Canales
Crítico (Sistema caído)	2 horas	8 horas laborales	Teléfono + Email
Alto (Funcionalidad afectada)	4 horas	24 horas laborales	Email + Portal
Medio (Degradación)	8 horas	3 días laborales	Portal + Email
Bajo (Consulta/Mejora)	24 horas	10 días laborales	Portal

Horario de Soporte:

- Soporte básico: lunes a viernes, 8:00-17:00 hora Colombia
- Soporte crítico: 24/7 mediante número de emergencia

Costo Anual Estimado: \$10,000,000 - \$14,000,000 COP según nivel de servicio

Exclusiones:

- Problemas derivados de modificaciones no autorizadas
- Fallas de hardware subyacente
- Problemas de conectividad de red externos a Zabbix
- Capacitación adicional fuera de alcance inicial

7.2.5. POLÍTICA DE USO ACEPTABLE PARA PERSONAL TÉCNICO

La política de uso aceptable para personal técnico establece compromisos clave: **confidencialidad** (no divulgar información ni credenciales), **integridad** (no modificar configuraciones sin autorización), **disponibilidad** (mantener respaldos y atender alertas críticas), **uso apropiado** (emplear accesos privilegiados solo para fines laborales) y **responsabilidad** (reportar incidentes o errores). El incumplimiento puede implicar

sanciones internas, acciones legales por delitos informáticos y responsabilidad por daños ocasionados.

7.3. CONSIDERACIONES DE CUMPLIMIENTO REGULATORIO

7.3.1. HABEAS DATA Y CONSULTAS A BASES DE DATOS

Cuando un sistema almacena datos personales como direcciones IP o MAC vinculadas a usuarios, la institución debe registrar el tratamiento en su base interna, garantizar el derecho de consulta y rectificación conforme a la normativa, y adoptar medidas que minimicen la asociación directa entre métricas técnicas y personas, priorizando la gestión de equipos institucionales sobre el monitoreo individual.

7.3.2. AUDITORÍA Y TRAZABILIDAD

La institución educativa puede ser objeto de auditorías internas y externas, por lo que el sistema debe garantizar trazabilidad mediante logs de auditoría que registren acciones administrativas y cambios, reportes de disponibilidad que evidencien niveles de servicio, documentación de incidentes con problemas y soluciones, y trazabilidad de inversiones que justifique el uso adecuado de los recursos asignados.

7.4. RIESGOS LEGALES Y MITIGACIÓN

Riesgo Legal	Probabilidad	Impacto	Mitigación
Violación de privacidad por monitoreo excesivo	Baja	Alto	Minimizar datos personales recolectados, política de privacidad clara
Incumplimiento de protección de datos (Ley 1581)	Media	Alto	Implementar medidas de seguridad, documentar tratamiento de datos
Responsabilidad por falla del sistema afectando servicios	Baja	Medio	SLAs claros, disclaimers apropiados, monitoreo redundante

Disputas contractuales con proveedores	Media	Medio	Contratos detallados, criterios de aceptación claros, retención de pagos
Uso indebido de accesos por personal interno	Baja	Alto	NDAs, políticas de uso, auditoría de accesos, capacitación ética
Reclamaciones por decisiones basadas en datos erróneos	Baja	Medio	Validación de métricas, disclaimers sobre uso de datos, auditoría de calidad

CONCLUSIONES

1. Viabilidad de la solución open source:

La implementación de un sistema de monitoreo inteligente basado en Zabbix y Grafana demuestra que es posible modernizar la gestión de laboratorios universitarios sin incurrir en altos costos de licenciamiento, aprovechando herramientas maduras, escalables y con amplio soporte comunitario.

2. Transformación hacia un modelo proactivo:

El proyecto permite transitar de un esquema reactivo y manual a uno proactivo, automatizado y basado en datos, mejorando la eficiencia operativa, reduciendo tiempos de respuesta y optimizando el uso de recursos técnicos y energéticos.

3. Alineación con tendencias globales:

La propuesta se alinea con tendencias actuales como la transformación digital, la sostenibilidad ambiental, la automatización y la gestión inteligente de infraestructuras, posicionando a la universidad como un referente en innovación tecnológica educativa.

4. Impacto multidimensional:

La solución no solo resuelve problemas técnicos, sino que genera beneficios en tres dimensiones clave:

- **Operativa:** Mayor disponibilidad y confiabilidad.
- **Económica:** Reducción de costos energéticos y de mantenimiento.
- **Ambiental:** Disminución de la huella de carbono.

5. Escalabilidad y replicabilidad:

La arquitectura propuesta es modular y escalable, lo que facilita su replicación en otros laboratorios de la universidad o en instituciones de educación superior con desafíos similares.

REFERENCIAS

- [1] CNCF, "Observability Trends in 2025 – What's Driving Change?," Cloud Native Computing Foundation, Mar. 2025. [Online]. Available: <https://www.cncf.io/blog/2025/03/05/observability-trends-in-2025-whats-driving-change/>
- [2] Secoda, "Key Data Observability Trends in 2025," Apr. 2025. [Online]. Available: <https://www.secoda.co/blog/key-data-observability-trends>
- [3] Grafana Labs, "2025 observability predictions and trends from Grafana Labs," Jan. 2025. [Online]. Available: <https://grafana.com/blog/2024/12/16/2025-observability-predictions-and-trends-from-grafana-labs/>
- [4] Times Higher Education, "University Impact Rankings 2025," 2025. [Online]. Available: <https://www.timeshighereducation.com/impactrankings>
- [5] The Princeton Review, "The Princeton Review Guide to Green Colleges: 2025 Edition," 2025. [Online]. Available: <https://www.princetonreview.com/college-rankings/green-guide>
- [6] J. A. de Chalendar, A. Keskar, J. Johnson, and J. Mathieu, "Living laboratories can and should play a greater role to unlock flexibility in United States commercial buildings," *Joule*, vol. 8, no. 1, pp. 1-14, Jan. 2024. DOI: 10.1016/j.joule.2023.11.009
- [7] M. Vieira, A. Pinto, and C. Borges, "Benchmarking energy consumption in universities: A review," *Journal of Cleaner Production*, vol. 431, pp. 139784, Dec. 2023. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.139784
- [8] R. Román-Collado, J. M. Colinet, and M. Sanz-Díaz, "Enhancing sustainability in higher education: Energy consumption patterns in UK universities," *Journal of Cleaner Production*, vol. 488, pp. 144256, Jul. 2025. DOI: 10.1016/j.jclepro.2025.144256
- [9] U.S. Department of the Treasury, "A Clean Energy Future for America's Colleges and Universities," Feb. 2024. [Online]. Available: <https://home.treasury.gov/news/featured-stories/a-clean-energy-future-for-americas-colleges-and-universities>
- [10] C. Davis and L. Scott, "Lessons in Sustainability: Three Universities Creating Green Campuses," *Facilities Management Advisor*, Feb. 2024. [Online]. Available: <https://facilitiesmanagementadvisor.com/green-building/lessons-in-sustainability-three-universities-creating-green-campuses/>
- [11] J. Liu, X. Zhang, and Y. Wang, "An IoT-based Smart Campus Monitoring System," in 2022 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Technology (CSAT), Xi'an, China, 2022, pp. 1-5. DOI: 10.1109/CSAT56232.2022.9853746

- [12] P. Verma and S. Prakash, "Internet of Things Based Model for Smart Campus: Challenges and Limitations," in 2020 International Conference on Computational Performance Evaluation (ComPE), Shillong, India, 2020, pp. 12-17. DOI: 10.1109/ComPE49325.2020.9036629
- [13] K. Hashim, M. Farooq, and A. Khan, "IoT based Framework for Smart Campus: COVID-19 Readiness," in 2020 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions (ICTMOD), Marrakech, Morocco, 2020, pp. 1-6. DOI: 10.1109/ICTMOD49425.2020.9210382
- [14] F. Alam, R. Mehmood, I. Katib, N. N. Albogami, and A. Albeshri, "Experiences With IoT and AI in a Smart Campus for Optimizing Classroom Usage," IEEE Access, vol. 7, pp. 30662-30682, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2902422
- [15] E. Eldeeb, "The Smart Campus Dataset," IEEE DataPort, 2023. DOI: 10.21227/xe4q-ax22
- [16] MinTIC, "Estrategia Nacional Digital de Colombia 2023 – 2026 (END)," Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2023. [Online]. Available: https://www.mintic.gov.co/portal/715/articles-334120_recurso_1.pdf
- [17] Agencia Nacional Digital, "Nodo de TI 2024: La AND y MinTIC impulsan la Transformación Digital en Colombia," 2024. [Online]. Available: <https://and.gov.co/noticias/nodo-de-ti-2024-and-mintic-impulsan-transformacion-digital-en-colombia>
- [18] TeleSemana, "Colombia avanza en su plan de cerrar la brecha digital y suma 3 millones de nuevos conectados," Dec. 2024. [Online]. Available: <https://www.telesemana.com/blog/2024/12/10/colombia-avanza-en-su-plan-de-cerrar-la-brecha-digital-y-suma-3-millones-de-nuevos-conectados/>
- [19] MinTIC, "SENATIC - Proyecto de Formación Digital," Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. [Online]. Available: <https://mintic.gov.co/senatic/>
- [20] B. Borisov, "Zabbix 7.0 Open Source Monitoring System Released," Linuxiac, Jun. 2024. [Online]. Available: <https://linuxiac.com/zabbix-7-0-open-source-monitoring-system-released/>
- [21] GitHub, "zabbix/zabbix: Real-time monitoring of IT components and services," 2024. [Online]. Available: <https://github.com/zabbix/zabbix>
- [22] Zabbix, "True Opensource," 2024. [Online]. Available: https://www.zabbix.com/true_open_source
- [23] B. Borisov, "Zabbix 7.4 Open-Source Monitoring Tool Released," Linuxiac, Jul. 2025. [Online]. Available: <https://linuxiac.com/zabbix-7-4-open-source-monitoring-tool-released/>



UNIVERSIDAD
SANTOTOMÁS
—SEDE PRINCIPAL BOGOTÁ—

[24] Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIES), "Estadísticas de Educación Superior en Colombia," Ministerio de Educación Nacional, 2024. [Online].

Available: <https://snies.mineduacion.gov.co/>



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de Problemas

Figura 2. Árbol de Objetivos

Figura 3. Situación Actual vs Situación Deseada

Figura 4. Arquitectura de alto nivel de monitoreo ETM11

Figura 5. Arquitectura de la solución propuesta

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Matriz comparativa de alternativas de plataformas de monitoreo

Tabla 2. Especificaciones servidor Zabbix

Tabla 3. Recursos Zabbix Agent

Tabla 4. Datos recolectados

Tabla 5. Licencias utilizadas

LISTA DE ANEXOS

No se incluyen anexos en este documento.