

# ***Análisis de Alternativas para Modernizar el Sistema de Alarma de Incendio y Notificación Masiva del Edificio 29 en la Instalación PR012***

*Gloriam Marrero Llavona  
Maestría en Ingeniería Gerencial  
Héctor J. Cruzado, PhD  
Escuela Graduada  
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

---

**Resumen** — *Este proyecto evaluó alternativas para modernizar el sistema de alarma contra incendios y notificación masiva del Edificio 29, una Reserva del Ejército de los Estados Unidos en Puerto Rico. El sistema existente presentaba obsolescencia tecnológica, deficiencias de cobertura y falta de cumplimiento con los requisitos actuales de seguridad. Para abordar esta situación, se analizaron tres alternativas de modernización: reemplazo total del sistema, modernización parcial e integración tecnológica. La evaluación se realizó mediante el método de matriz de decisión ponderada, considerando criterios técnicos, normativos, operacionales y económicos, incluyendo cumplimiento normativo, confiabilidad del sistema, continuidad operacional y capacidad de expansión futura. Los resultados obtenidos indicaron que el reemplazo total del sistema alcanzó la mayor puntuación global, destacándose por su desempeño consistente en los criterios de mayor relevancia.*

**Palabras claves** — *Ciberseguridad, Continuidad operacional, Cumplimiento normativo, Matriz de decisión ponderada*

## **INTRODUCCIÓN**

El Edificio 29, también conocido como Edificio C o *Unit Storage Building*, forma parte del complejo de instalaciones PR012 de la Reserva del Ejército de los Estados Unidos en Puerto Nuevo, Puerto Rico. Su función principal es servir como espacio de almacenamiento y apoyo operacional para unidades militares, por lo que la continuidad de operaciones y el cumplimiento con los requisitos de protección de vida resultan esenciales para la misión institucional. Sin embargo, el sistema de alarma contra incendios y notificación masiva se encontraba obsoleto, carecía de capacidad de

notificación por voz, presentaba deficiencias de cobertura y no cumplía con los criterios unificados del *Unified Facilities Criteria* (UFC) ni con las normas vigentes aplicables de la *National Fire Protection Association* (NFPA), lo que comprometía la seguridad y la capacidad de respuesta ante emergencias.

El problema radicaba en la necesidad de modernizar el sistema de detección y notificación para lograr un diseño integral, direccionable y conforme a los estándares actuales. La condición existente generaba riesgos en términos de fallas de notificación, incumplimientos de inspección, vulnerabilidades operacionales y posibles impactos en la seguridad del personal y del material almacenado.

El objetivo de este proyecto fue identificar la alternativa de modernización más viable para el sistema de alarma contra incendios y notificación masiva del Edificio 29, de modo que se garantizaran el cumplimiento normativo, la confiabilidad técnica, la continuidad operacional y la seguridad del personal y de las instalaciones. Para apoyar la toma de decisiones, se evaluaron y compararon distintas alternativas de modernización mediante la aplicación de una matriz de decisión ponderada.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

Diversos estudios y publicaciones especializadas destacan la importancia de contar con metodologías estructuradas para evaluar alternativas tecnológicas en proyectos de modernización. Entre ellas, la herramienta *Options Matrix Tool* (OMT) propone el uso de matrices de decisión ponderadas para comparar alternativas mediante criterios definidos, asignación de pesos y calificaciones que permiten una selección

estratégica y justificada [1]. Este enfoque facilitó la toma de decisiones en escenarios donde múltiples soluciones son viables, como ocurrió en la modernización de sistemas de alarma y notificación abordada en este proyecto.

En el campo de la ingeniería y la construcción, el método de matriz de decisión también ha demostrado ser útil para evaluar proyectos de infraestructura sostenible, integrando criterios como impacto ambiental, factibilidad técnica y eficiencia operativa [2].

En cuanto a la normativa vigente, la edición 2025 de la NFPA 72 introduce nuevas exigencias relacionadas con ciberseguridad para los sistemas de alarma y notificación masiva, reconociendo el riesgo creciente de ataques a sistemas interconectados [3]. Estas disposiciones fueron consideradas durante la evaluación del proyecto y requerían que los sistemas analizados poseyeran medidas de protección de comunicaciones, integridad de datos y capacidad de operación confiable ante amenazas cibernéticas.

Asimismo, la literatura especializada en ingeniería de protección contra incendios destaca los desafíos particulares de actualizar sistemas en edificios existentes. Entre ellos se encuentran la incompatibilidad de componentes antiguos, limitaciones en infraestructura, falta de repuestos, afectación a la estética del edificio y la necesidad de mantener protección continua durante la transición [4]. Estos factores influyeron directamente en la selección entre reemplazo total, modernización parcial o integración tecnológica del sistema.

Por otro lado, los sistemas de notificación masiva (MNS) se han convertido en un componente esencial para salvaguardar vidas durante emergencias. Su efectividad depende de la capacidad del sistema para garantizar cobertura adecuada, redundancia, integración con sistemas de alarma y cumplimiento con NFPA 72 [5].

En conjunto, estas fuentes respaldaron el uso de matrices de decisión como herramienta metodológica y destacaron la importancia de criterios como ciberseguridad, confiabilidad,

cumplimiento normativo, integración tecnológica y comunicación efectiva en emergencias.

## METODOLOGÍA

La metodología que se utilizó para evaluar las alternativas de este proyecto se fundamentó en el método de matriz de decisión, una herramienta analítica utilizada en el campo de la ingeniería para comparar opciones mediante criterios ponderados. Este método proporcionó una base objetiva para identificar la alternativa más viable desde el punto de vista normativo, operativo, técnico y económico.

El primer paso consistió en revisar detalladamente el estado existente del edificio y la normativa aplicable al proyecto con el fin de identificar las necesidades funcionales y las deficiencias. A partir de esta evaluación, se definieron las tres alternativas principales a considerar: reemplazo total del sistema, modernización parcial e integración del sistema actual con nuevas tecnologías.

Posteriormente, se definieron los criterios utilizados en la matriz de decisión para comparar las alternativas:

- cumplimiento normativo y ciberseguridad,
- continuidad operacional,
- compatibilidad y capacidad de expansión futura,
- costo total (instalación y ciclo de vida),
- facilidad de instalación, y
- confiabilidad del sistema.

Los pesos asignados a cada criterio se definieron mediante un proceso de juicio experto, el cual incluyó una jerarquización previa de su importancia relativa dentro del proyecto. En primer lugar, se ordenaron los criterios considerando el cumplimiento de los requisitos (UFC) y las normas de la NFPA, el impacto de cada criterio en la operación del edificio y las mejores prácticas de ingeniería en sistemas de alarma y notificación. A partir de esta jerarquización, se asignaron pesos proporcionales que reflejaran la relevancia relativa de cada criterio. Finalmente, esta ponderación preliminar fue revisada y validada con el cliente

para asegurar que la matriz representara adecuadamente las prioridades operacionales del Edificio 29 y no únicamente un enfoque técnico.

Cada alternativa fue evaluada utilizando una escala numérica del 1 al 5, donde:

- 1 representa un desempeño deficiente o no satisfactorio,
- 3 representa un desempeño aceptable o intermedio, y
- 5 representa un desempeño sobresaliente o altamente satisfactorio

Los valores intermedios (2 y 4) se utilizaron para reflejar desempeños parciales o situaciones donde una alternativa cumplía parcialmente con el criterio, pero no alcanzaba el nivel máximo o mínimo de desempeño.

Las puntuaciones asignadas a cada alternativa se multiplicaron por los pesos correspondientes y se sumaron para obtener un puntaje ponderado total. Este proceso permitió comparar objetivamente las alternativas y determinar cuál ofrecía el mayor nivel de cumplimiento, eficiencia y viabilidad para satisfacer las necesidades del Edificio 29.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

En esta sección se presentan y analizan los resultados obtenidos de la matriz de decisión ponderada para las alternativas de modernización del sistema de alarma contra incendios y notificación masiva del Edificio 29. En primer lugar, se muestran los resultados cuantitativos de la matriz y la comparación de las alternativas, y luego se analizan las implicaciones técnicas, normativas y operacionales.

### Resultados de la Matriz

El uso de la matriz de decisión ponderada permitió evaluar de manera cuantitativa y estructurada las tres alternativas consideradas para la modernización del sistema de alarma contra incendios y notificación masiva del Edificio 29. La Tabla 1 presenta la matriz de decisión ya completada, incluyendo los criterios de evaluación que fueron presentados en la metodología, los pesos

asignados según su importancia relativa para el cumplimiento de los objetivos del proyecto y las puntuaciones obtenidas por cada alternativa tras su evaluación.

Los resultados muestran que la alternativa de reemplazo total del sistema obtuvo la mayor puntuación, siendo la mejor en los criterios con mayor peso, especialmente en cumplimiento normativo y ciberseguridad, confiabilidad del sistema y compatibilidad con futuras expansiones. Por otro lado, las opciones de modernización parcial e integración tecnológica obtuvieron la misma puntuación total, lo que indica que ambas logran un desempeño global similar bajo la estructura de pesos definida. Este resultado confirma que las tres alternativas analizadas son técnicamente viables, pero también demuestra que cada una de ellas responde a los criterios definidos de manera diferente, lo que exige un análisis más detallado de sus implicaciones técnicas, normativas y operacionales.

**Tabla 1**  
**Matriz de Decisión Ponderada**

Criterio	Peso	Alternativas		
		Reemplazo total	Modernización parcial	Integración tecnológica
Cumplimiento normativo y ciberseguridad	0.25	5	3	4
Continuidad operacional	0.20	4	5	4
Compatibilidad / expansión futura	0.15	5	3	4
Costo total (instalación + ciclo de vida)	0.15	2	4	3
Facilidad de instalación	0.05	2	4	3
Confiabilidad del sistema	0.20	5	3	3
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>4.20</b>	<b>3.60</b>	<b>3.60</b>

### Comparación de Alternativas

La comparación directa de las alternativas permite identificar diferencias claras en su enfoque y alcance. El reemplazo total del sistema ofrece una solución integral, diseñada desde su origen para cumplir con los estándares vigentes del (UFC) y las normas aplicables de la (NFPA). Esta alternativa elimina las limitaciones asociadas a sistemas obsoletos y reduce significativamente los riesgos de incompatibilidad y fallas del sistema.

La modernización parcial se caracteriza por aprovechar los componentes existentes, lo que facilita la implementación y reduce los costos iniciales. Sin embargo, esta alternativa sigue dependiendo de infraestructura preexistente, lo que limita su capacidad de adaptación a futuros cambios normativos y tecnológicos.

Por otro lado, la integración tecnológica busca incorporar nuevas capacidades al sistema existente, ofreciendo ventajas en términos de expansión y actualización. Pero esta alternativa crea desafíos asociados a la integración entre plataformas nuevas y sistemas obsoletos, así como posibles riesgos relacionados con ciberseguridad y confiabilidad del sistema híbrido.

### **Ventajas y Desventajas**

Cada alternativa presenta ventajas y desventajas que influyen directamente en su viabilidad a largo plazo. El reemplazo total del sistema destaca por su alto nivel de cumplimiento normativo, confiabilidad técnica y capacidad de expansión futura. Sin embargo, requiere una mayor inversión inicial y una intervención más extensa durante la fase de instalación.

La modernización parcial es más económica, ofrece ventajas claras en términos de costo y continuidad operacional durante la implementación. Su principal desventaja radica en la permanencia de componentes con vida útil avanzada y capacidades limitadas, lo que puede afectar la sostenibilidad del sistema y aumentar la probabilidad de fallas en el futuro.

La integración tecnológica permite incorporar mejoras funcionales sin la sustitución completa del sistema, pero tiene la desventaja de la complejidad técnica que conlleva hacer que nuevas y antiguas tecnologías trabajen juntas. Esto puede traducirse en mayores esfuerzos de mantenimiento, validación y gestión de riesgos operacionales.

### **Análisis de Resultados**

El análisis de los resultados demuestra que la puntuación total obtenida por cada alternativa debe interpretarse en conjunto con su perfil de

desempeño por criterio. El empate entre las alternativas de modernización parcial e integración tecnológica no representa una limitación del método, sino que evidencia que ambas opciones alcanzan un equilibrio comparable entre beneficios y limitaciones, aunque desde enfoques distintos.

Este comportamiento resalta la importancia de no basar la selección únicamente en factores económicos o de implementación inmediata, sino de considerar de forma integral los riesgos técnicos, normativos y operacionales asociados a cada alternativa. En el contexto del Edificio 29, donde la protección de vida, la confiabilidad del sistema y la continuidad de la misión institucional son factores críticos, los criterios relacionados con cumplimiento normativo, ciberseguridad y confiabilidad adquieren una relevancia determinante en la interpretación de los resultados.

En este sentido, los resultados de la matriz de decisión ponderada constituyen una herramienta sólida de apoyo a la toma de decisiones, proporcionando una base objetiva que debe complementarse con una evaluación estratégica y contextual, la cual se presenta en la sección de conclusiones.

## **CONCLUSIÓN**

De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluyó que la sustitución completa del sistema de alarma y notificación de incendios del Edificio 29 es la mejor alternativa para alcanzar los objetivos del proyecto. Esta alternativa proporciona la mejor solución en términos de cumplimiento normativo, confiabilidad del sistema y capacidad de adaptación a futuras necesidades de la instalación.

Aunque las opciones de modernización parcial e integración tecnológica ofrecen beneficios específicos, ambas tienen limitaciones en términos de dependencia de la infraestructura actual y mayor nivel de incertidumbre técnica. En el contexto operativo del Edificio 29, donde la seguridad del personal y la continuidad operacional son primordiales, es preferible implementar soluciones

que minimicen riesgos y garanticen un rendimiento confiable a largo plazo.

Razón por la cual se recomienda un sistema totalmente nuevo, diseñado de acuerdo con las normas actuales del UFC y NFPA, como la mejor solución para satisfacer las necesidades técnicas, normativas y operacionales de la instalación.

## REFERENCIAS

- [1] Enz, C.A., & Thompson, G.M. *The Options Matrix Tool: A Strategic Decision-making Tool*. Cornell Hospitality Tools, Vol. 4, No. 1, 2013. Cornell University. <https://ecommons.cornell.edu/server/api/core/bitstreams/582e640e-9a31-4f9e-b1ee-bcd32363eb2e/content>
- [2] Blagojević, B., Al-Kildar, H., & Khan, M. *Decision Matrix Method for Evaluating Sustainable Infrastructure Projects*. *International Journal of Construction Education and Research*, Vol. 19, No. 4, 2023. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14942119.2023.2192774>
- [3] Hammerberg, T.P. *Cybersecurity and Fire Alarms: New Requirements in the 2025 Edition of NFPA 72*. *Electrical Contractor Magazine*, enero 2025. <https://www.ecmag.com/magazine/articles/article-detail/cybersecurity-and-fire-alarms-new-requirements-in-the-2025-edition-of-nfpa-72>
- [4] Briese, B.L., & Libby, R. *Replacement of Fire Alarm Systems in Existing Buildings*. *SFPE Fire Protection Engineering Extra*, Issue 6. Society of Fire Protection Engineers. <https://www.sfpe.org/publications/fpemagazine/fpeextra/etarchives/fpeetissue6>
- [5] Lazebnik, R., & Fetter, J. *How the Right Mass Notification System Can Save Lives*. Primera Engineers, 2020. <https://primeraeng.com/wp-content/uploads/2020/06/Mass-Notification-Systems-2020.pdf>