



Estudios de caso

Evaluación multidimensional de los protocolos de seguridad en laboratorios académicos: estudio de caso en una Facultad de Ingeniería

Multidimensional evaluation of safety protocols in academic laboratories: case study in an engineering faculty

Ivan Avila-Raya¹ , Martha Angélica Lemus-Solorio² , Alfonso Lemus-Solorio¹ , Rodrigo Gómez-Monge³ , Luis Enrique Rosas-Avalos¹ , José Nicolás Cardenas-España⁴ , José Luis Rivera-Rojas² 

¹Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

²Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas “Mat. Luis Manuel Rivera Gutiérrez” de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

³Facultad de Economía “Vasco de Quiroga” de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

⁴Facultad de Ciencias Médicas y Biológicas “Dr. Ignacio Chávez” de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Ciudad Universitaria; Avenida Francisco J. Múgica S/N Ciudad Universitaria, Edificio “L”, Planta Alta. Morelia, Michoacán; México

Autor de correspondencia: José Luis Rivera-Rojas Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, jlrivera@umich.mx, clave ORCID: 0000-0002-6985-7841

Recibido: 1 de Octubre del 2025

Aceptado: 10 de Febrero del 2026

Publicado: 11 de Febrero del 2026

Resumen. - Este trabajo presenta una evaluación multidimensional de los protocolos de seguridad aplicados en laboratorios académicos, desarrollada como estudio de caso en el Edificio “E1” de una facultad de ingeniería. El estudio se realizó mediante un enfoque observacional y descriptivo con enfoque aplicado, considerando seis dimensiones: infraestructura, inventario de equipos de seguridad, estrategias de mejora continua, evaluación económica, bienestar de los usuarios y efectividad de la implementación. La recolección de datos incluyó observación estructurada, revisión documental, encuestas y entrevistas semiestructuradas aplicadas a un total de 692 usuarios. Los resultados identifican limitaciones en la adecuación de la infraestructura, heterogeneidad en la disponibilidad de equipos de seguridad y áreas de oportunidad en capacitación y cultura preventiva, así como implicaciones económicas asociadas a la prevención. El estudio aporta un diagnóstico integral que puede servir como herramienta de apoyo para la toma de decisiones orientadas al fortalecimiento de la seguridad en laboratorios universitarios.

Palabras clave: Seguridad institucional; Laboratorios académicos; Infraestructura educativa; Planes de emergencia.

Abstract. - This paper presents a multidimensional assessment of the safety protocols applied in academic laboratories, developed as a case study in Building “E1” of an engineering faculty. The study was conducted using an observational and descriptive approach with an applied focus, considering six dimensions: infrastructure, safety equipment inventory, continuous improvement strategies, economic evaluation, user well-being, and implementation effectiveness. Data collection included structured observation, document review, surveys, and semi-structured interviews with a total of 692 users. The results show limitations in the adequacy of the infrastructure, heterogeneity in the availability of safety equipment, and areas of opportunity in training and preventive culture, as well as economic implications associated with prevention. The study provides a comprehensive diagnosis that can serve as a support tool for decision-making aimed at strengthening safety in university laboratories.

Keywords: Institutional security; Academic laboratories; Educational infrastructure; Emergency plans.



1. Introducción

La seguridad en los laboratorios académicos constituye un elemento fundamental para el desarrollo de las actividades de docencia e investigación en las instituciones de educación superior, debido a la presencia de riesgos químicos, eléctricos y físicos asociados al uso de materiales peligrosos, equipos especializados y procesos experimentales. De acuerdo con la *Organización Internacional del Trabajo* [1], la implementación de condiciones seguras de trabajo no solo responde a obligaciones normativas, sino que resulta indispensable para proteger la integridad de los usuarios y prevenir incidentes que puedan afectar la continuidad de las actividades académicas. En este contexto, la correcta señalización y disposición de elementos de seguridad en los espacios de laboratorio desempeña un papel clave en la identificación de riesgos y en la respuesta ante situaciones de emergencia, como se ilustra en la Figura 1.



Figura 1. Señalización en seguridad [2].

A pesar de la existencia de normativas y lineamientos nacionales e internacionales en materia de seguridad y salud en el trabajo, en los laboratorios universitarios la aplicación de los protocolos de seguridad suele abordarse de manera fragmentada o limitada a su cumplimiento administrativo, sin una evaluación integral que considere simultáneamente la infraestructura física, la disponibilidad y estado de los equipos de seguridad, los costos asociados a su implementación y el impacto de dichas condiciones en los usuarios. Esta situación dificulta la identificación de áreas críticas y la priorización de acciones preventivas, particularmente en edificios con alta densidad de usuarios y diversidad de riesgos experimentales, como ocurre en los laboratorios de las facultades de ingeniería.

En este contexto, el objetivo de este estudio es realizar una evaluación multidimensional de los protocolos de seguridad implementados en laboratorios académicos de una facultad de ingeniería, considerando de manera integrada el estado de la infraestructura física, el inventario de materiales y equipos de seguridad, las estrategias de mejora continua, los costos asociados a su implementación, el bienestar de los usuarios y la efectividad operativa de los protocolos en situaciones reales y simuladas. Este enfoque permite identificar áreas críticas y generar un diagnóstico técnico que sirva como base para la toma de decisiones en materia de prevención y gestión del riesgo, en concordancia con los principios de entornos educativos seguros promovidos por el *Objetivo de Desarrollo Sostenible 4* [3].



El artículo se organiza de la siguiente manera: en la Sección 2 se describe la metodología empleada para la evaluación multidimensional de los protocolos de seguridad; en la Sección 3 se presentan y analizan los resultados obtenidos para cada una de las dimensiones evaluadas; finalmente, en la Sección 4 se exponen las conclusiones del estudio y se plantean consideraciones orientadas al fortalecimiento de la gestión de la seguridad en laboratorios académicos.

2. Metodología

El estudio se desarrolló en las instalaciones del Edificio “E1” de la Facultad de Ingeniería de la *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, considerando una población total de 692 usuarios por ciclo escolar, integrada por 680 estudiantes, 8 docentes y 4 trabajadores administrativos, quienes utilizan de manera regular los laboratorios académicos evaluados. Debido al tamaño manejable de la población, se optó por un muestreo censal, aplicando los instrumentos de recolección de datos al total de los usuarios identificados. Las técnicas de recolección y producción de datos fueron llevadas a cabo mediante observación estructurada y la revisión documental de inventarios de reactivos y equipos y bitácora de cada laboratorio.

2.1 Infraestructura

Se delimitaron variables físicas del edificio, tales como superficie, distribución de espacios, cantidad de usuarios, ubicación de maquinaria y equipos, rutas de evacuación y condiciones estructurales. Asimismo, se analizaron los planos arquitectónicos y estructurales, junto con la identificación de zonas vulnerables ante emergencias, siguiendo los criterios de la *Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEGOB-2011 (Secretaría de Gobernación, SEGOB)* [4], sobre señalización y medios de escape.

2.2 Inventario

Se llevó a cabo la identificación y registro de los reactivos químicos, materiales peligrosos y equipos presentes en cada laboratorio. Se clasificaron según riesgo, cantidad, condiciones de almacenamiento y compatibilidad. También se documentó la ubicación y tipo de extintores, duchas de emergencia y salidas de emergencia, considerando las recomendaciones de la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (National Fire Protection Association, NFPA), específicamente la norma NFPA 10 [5] y de la NOM-026-STPS-2008 (Secretaría del Trabajo y Previsión Social, STPS) [6] sobre colores y señales de seguridad.



Figura 2. Fases 1-3 metodología. Fuente: Elaboración propia (elaborada con apoyo de IA generativa y edición propia).

2.3 Estrategias de mejora continua

En esta etapa se evaluaron las acciones implementadas por la institución para fortalecer la seguridad a través de:

- Formación de brigadas de emergencia.
- Programas de capacitación en manejo de materiales, uso de extintores y primeros auxilios.
- Ejecución de simulacros regulares.
- Identificación de riesgos internos y externos.



Estas acciones se analizaron en función de su continuidad y cobertura, de acuerdo con los lineamientos establecidos por la *Secretaría del Trabajo y Previsión Social* [7] y la *Norma ISO 45001:2018* [8], sobre sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo.

2.4 Evaluación Económica de la Seguridad

Se realizó un análisis de los costos directos e indirectos asociados a la implementación de los protocolos, considerando:

- Inversión en equipo de protección y señalización.
- Costos por capacitación y simulacros.
- Gastos derivados de enfermedades laborales y accidentes.

La revisión se basó en reportes financieros institucionales y datos del *Instituto Mexicano del Seguro Social* [9]. Se identificó que el presupuesto destinado a seguridad representa entre el 1% y 3% del gasto operativo, lo cual coincide con estimaciones nacionales para instituciones públicas [10].

2.5 Evaluación del Bienestar de los Usuarios

Para analizar la dimensión del bienestar, se aplicaron encuestas y entrevistas semiestructuradas al total de los usuarios del Edificio “E1”, bajo un enfoque censal. Se exploraron aspectos relacionados con la percepción de seguridad, el nivel de estrés asociado al manejo de materiales peligrosos, la satisfacción con la capacitación recibida y la confianza en la efectividad de los protocolos y brigadas de emergencia.

Este enfoque permitió considerar la seguridad no solo como un aspecto físico, sino también psicológico y emocional, en concordancia con los principios del *Objetivo de Desarrollo Sostenible 4* “Educación de Calidad”, que promueve entornos de aprendizaje seguros e inclusivos [3].

2.6 Evaluación de la Implementación y Efectividad

Se analizaron los registros de incidentes, los planes de emergencia, los reportes de mantenimiento y la aplicación de protocolos durante actividades reales o simuladas. Se evaluaron indicadores como:

- Número y tipo de incidentes registrados.
- Tiempo de respuesta de brigadas.
- Cumplimiento con planes de seguridad.

Con este análisis fue posible identificar brechas entre la normativa y la práctica, y medir el impacto real de las políticas institucionales de seguridad en el día a día.

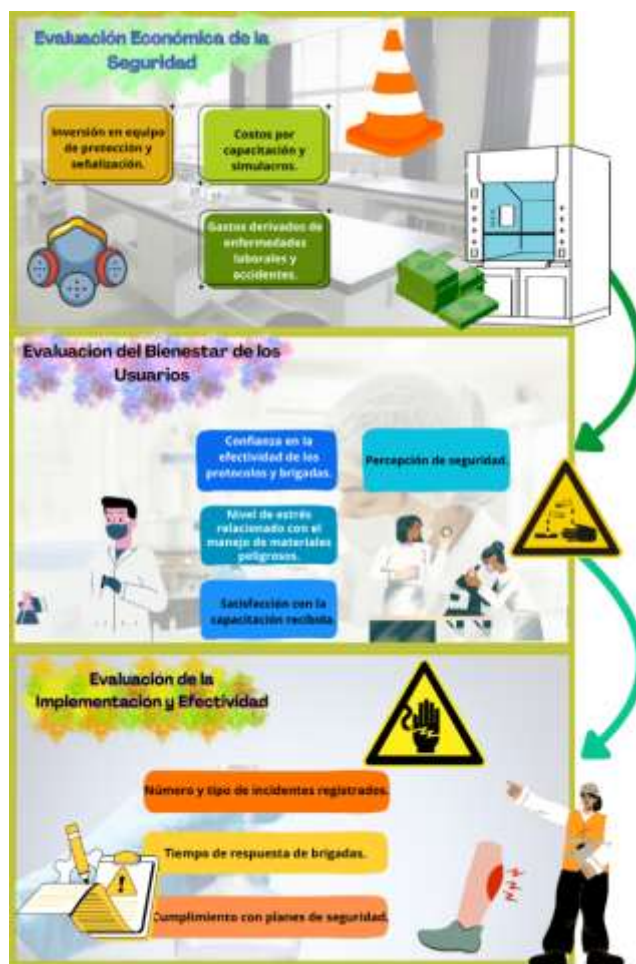


Figura 3. Fases 4-6 de la metodología. Fuente: Elaboración propia (elaborada con apoyo de IA generativa y edición propia)

3. Resultados y Discusiones

3.1 Infraestructura

La fase inicial del estudio tuvo como objetivo evaluar las condiciones físicas, ocupacionales y de riesgo de las instalaciones del Edificio “E1” de la *Facultad de Ingeniería de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, como base para el análisis multidimensional de los protocolos de seguridad institucional. La caracterización de la infraestructura permitió identificar las condiciones generales de operación y las áreas de análisis consideradas frente a posibles contingencias.

3.1.1 Caracterización de usuarios y superficie

Mediante el análisis de las bitácoras de uso de laboratorio, se identificó una población activa conformada por 692 usuarios por ciclo escolar, integrada por 680 alumnos, 8 docentes y 4 administrativos (Tabla 1). Esta cifra indica una elevada concentración de usuarios en espacios que, por su naturaleza experimental, implican riesgos químicos, eléctricos y físicos.


Tabla 1. Distribución de usuarios por tipo en los laboratorios del Edificio “E1”.

Docentes	8
Alumnos	680
Administrativos	4

El edificio evaluado consta de dos niveles, con una superficie total de 992.16 m², distribuida en áreas específicas para laboratorios, oficinas, bodegas y servicios sanitarios (Tabla 2). Esta configuración plantea la necesidad de contar con una señalización adecuada, una distribución funcional del equipamiento y medios de evacuación claramente identificables, considerando el número y tipo de usuarios que transitan diariamente por las instalaciones.

Tabla 2. Características generales del edificio evaluado (síntesis).

Edificio	Niveles	Área total (m²)
Edificio “E1”	2	992.16

3.1.2 Distribución de espacios y equipamiento

En cuanto a la distribución interna, se contabilizan 8 laboratorios con capacidad para 280 personas, 14 oficinas o cubículos individuales, 2 baños con 8 espacios disponibles, y 8 bodegas destinadas a almacenamiento de materiales y residuos (Tabla 3). Esta segmentación funcional del edificio permite delimitar zonas de riesgo según las actividades desarrolladas.

Tabla 3. Distribución de áreas del edificio.

Área	Cantidad	Capacidad
Laboratorios	8	280
Oficinas/Cubículos	14	14
Baños	2	8
Bodegas	8	

Respecto a los equipos de soporte crítico, se identificó un generador eléctrico ubicado en la parte posterior del edificio, mientras que no se cuenta con transformadores dedicados, lo cual puede representar una condición de vulnerabilidad ante una interrupción del suministro eléctrico (Tabla 4). La ausencia de este tipo de equipos puede afectar la operación segura de equipos de laboratorio en casos de emergencia.

Tabla 4. Equipos críticos para continuidad operativa.

Equipo	Características		
	Ubicación/observación	Cantidad	Potencia
Generador eléctrico	Zona posterior del edificio	1	-
Transformador dedicado	No disponible (no se identificó equipo dedicado)	-	-



3.1.3 Gestión de residuos peligrosos

Uno de los aspectos críticos identificados en la evaluación fue la gestión y disposición de residuos peligrosos, especialmente aquellos generados por prácticas químicas. Se verificó que los desechos son recolectados por una empresa externa especializada, sin embargo, se observó una baja trazabilidad intrainstitucional en cuanto al registro y clasificación inicial por área. En la Tabla 5 se detalla la distribución de los principales equipos de seguridad y contra incendios incluyendo extintores, señalización luminosa, pulsadores manuales y detectores de humo— en las distintas áreas del Edificio “E1”.

Cabe destacar que la mayor concentración de equipos de extinción del tipo PQS 20 (8 unidades) se encuentra localizada en los laboratorios, mientras que áreas como bodegas y oficinas presentan carencias significativas de elementos básicos como pulsadores manuales o luz estroboscópica, lo que representa un riesgo operativo en situaciones de emergencia.

Tabla 5. Disponibilidad de equipos de emergencia y protección por área (resumen).

Edificio	Área/uso	Rutas de escape	Iluminación de emergencia	Sistema fijo (aspersores)	Hidrantes	Gabinetes contra incendio	Alarma visual (estrobo)	Alarma manual (pulsador)	Detección de humo	Extintor PQS 20 lb	Extintor PQS 10 lb	Extintor PQS 5 lb	Extintor CO ₂	Otros equipos
“ E1”	Bodegas													
	Oficinas													
	Laboratorio									8				
	Hall	1	1											

3.1.4 Planificación y señalización de seguridad

Se revisaron los planos arquitectónicos del edificio, donde se verificó la incorporación de señalizaciones actualizadas conforme a las disposiciones de la NOM-026-STPS-2008[6]. Las rutas de evacuación están debidamente marcadas y conectadas con un punto de encuentro externo, accesible para la totalidad de los usuarios (Figuras 7 y 8). Esta información fue complementada con simulacros previos y registros institucionales que validan la existencia de protocolos de evacuación.

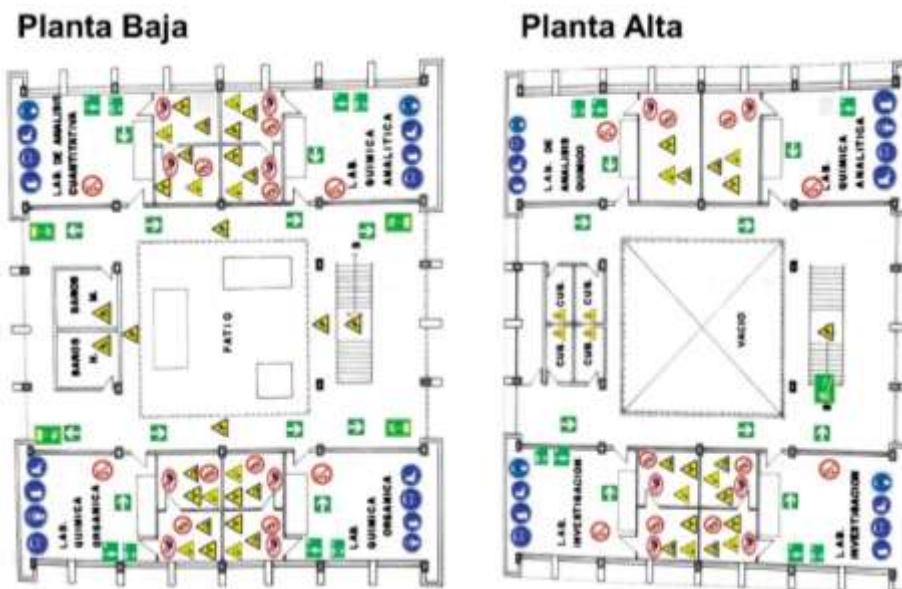


Figura 4. Planos con señalización de seguridad.

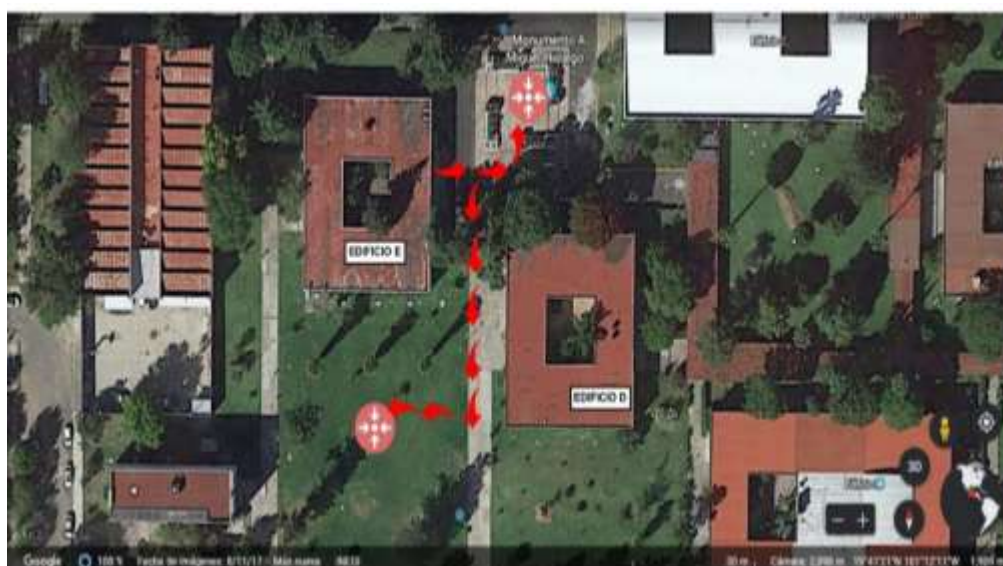


Figura 5. Ruta de evacuación y punto de encuentro del edificio de estudio.

3.1.5 Análisis de vulnerabilidad

Finalmente, se elaboró una evaluación de vulnerabilidad multirriesgo considerando cinco categorías de agentes perturbadores (geológicos, hidrometeorológicos, químicos, sanitarios y socio-organizativos) y se sintetizó la exposición observada (Tabla 6). El edificio “E1” mostró exposición moderada a eventos sísmicos, consistente con la ubicación regional. En contraste, se identificó alta exposición a riesgos químicos por la operación rutinaria con sustancias inflamables/corrosivas y equipos de laboratorio, lo que refuerza la necesidad de fortalecer controles operativos y la gestión de materiales peligrosos.

Asimismo, se consideró la exposición a eventos socio-organizativos como concentraciones masivas, fallas en servicios públicos, y posibles actos de sabotaje o terrorismo, lo cual, aunque menos probable, requiere una estrategia preventiva dentro de los planes de contingencia universitaria.


Tabla 6. Matriz de exposición a agentes perturbadores (síntesis).

Categoría de riesgo	Exposición observada	Justificación / escenarios considerados (síntesis)
Geológicos	Media	El campus se ubica en zona sísmica; no se identifican amenazas volcánicas o costeras. Se prioriza respuesta ante sismos.
Hidrometeorológicos	Baja	No se reportan antecedentes de ciclones o inundaciones severas en el sitio; se consideran eventos de lluvia intensa y tormentas eléctricas.
Químicos	Alta	Uso y almacenamiento de sustancias inflamables/corrosivas y operación de equipos con calor/presión; riesgo de incendio, fuga y exposición.
Sanitarios	Media	Alta densidad de usuarios y rotación; potencial de brotes respiratorios o gastrointestinales y necesidad de control higiénico.
Socio-organizativos	Media	Afluencia y concentración de personas en horarios pico; interrupciones de servicios y fallas operativas que afectan evacuación.

3.2 Inventario

La segunda fase del análisis tuvo como objetivo identificar los materiales y elementos de seguridad presentes en los laboratorios evaluados. Si bien por políticas de confidencialidad institucional no se detallan las listas de compuestos, los reactivos fueron clasificados según su grupo funcional y propiedades químicas, lo cual permitió su categorización con base en el riesgo asociado (inflamabilidad, toxicidad, reactividad, entre otros).

En cuanto a los colores de seguridad, se observó la implementación de los estándares definidos en la NOM-026-STPS-2008 [12] lo cual contribuye a la identificación visual de riesgos y condiciones operativas en el entorno de laboratorio. La Tabla 7 resume los significados funcionales y especificaciones prácticas de los colores aplicados en las señalizaciones, tuberías y áreas de tránsito, destacando el uso del color rojo para equipos contra incendios y verde para rutas de evacuación y puntos de auxilio inmediato.

Tabla 7. Clasificación y significado de los colores de seguridad conforme a la NOM-026-STPS-2008.

Color de seguridad	Significado	Indicaciones y precisiones
Rojo	• Paro.	• Alto y dispositivos de desconexión para emergencias.
	• Prohibición.	• Señalamientos para prohibir acciones específicas.
	• Material, equipo y sistemas para combate de incendios.	• Ubicación y localización de los mismos e identificación de tuberías que conducen fluidos para el combate de incendios.
Amarillo	• Advertencia de peligro.	• Atención, precaución, verificación e identificación de tuberías que conducen fluidos peligrosos.
	• Delimitación de áreas.	• Límites de áreas restringidas o de usos específicos.
	• Advertencia de peligro por radiaciones ionizantes.	• Señalamiento para indicar la presencia de material radiactivo.
Verde	Condición segura.	• Identificación de tuberías que conducen fluidos de bajo riesgo. Señalamientos para indicar salidas de emergencia, rutas de evacuación, zonas de seguridad y primeros auxilios, lugares de reunión, regaderas de emergencia, lavajos, entre otros.
	Azul	Obligación intermedia.
		• Señalamientos para realizar acciones específicas.



El inventario de extintores portátiles en los laboratorios reveló un total de cuatro unidades activas, de los tipos CO₂ y PQS, con capacidades de 2.3 a 4.5 kg, todos en estado regular y con fecha de vencimiento en 2024 (Tabla 8). La distribución actual de los extintores permite identificar oportunidades de mejora en su ubicación y rotulación, particularmente en relación con su visibilidad durante situaciones de emergencia.

Tabla 8. Inventario de extintores portátiles en laboratorios (resumen).

No.	Agente extintor	Capacidad nominal	Condición	Vigencia	Ubicación referencial
1	CO ₂	4.5 kg	Regular	2026	Laboratorio (zona asignada y señalizada)
2	PQS	4.5 kg	Regular	2026	Laboratorio (zona asignada y señalizada)
3	CO ₂	2.3 kg	Regular	2026	Laboratorio (zona asignada y señalizada)
4	CO ₂	4.5 kg	Regular	2026	Laboratorio (zona asignada y señalizada)

3.3 Estrategias de mejora continua

Como parte del análisis de las acciones institucionales en materia de seguridad, se identificó la implementación de un programa orientado a la capacitación del personal y la conformación de brigadas especializadas. Las brigadas se conformaron integrando a profesores, administrativos y estudiantes de los turnos matutino y vespertino, bajo una jerarquía operativa definida (Tabla 9). Se designaron responsables para cada una de las funciones críticas: combate de incendios, evacuación, primeros auxilios, búsqueda y rescate, comunicaciones, y manejo de materiales peligrosos.

Tabla 9. Estructura operativa de brigadas y responsables.

Rol / responsable	Función asignada
Responsable de unidad administrativa	Enlace operativo con la Unidad Interna de Protección Civil
Sujeto A	Incendios (prevención y respuesta)
Sujeto B	Evacuación y control de accesos
Sujeto C	Primeros auxilios
Sujeto D	Búsqueda y rescate
Sujeto E	Comunicaciones y enlace
Sujeto F	Materiales peligrosos (manejo/contención)

Se registraron actividades de capacitación desarrolladas en coordinación con organismos externos como *Protección Civil*, *Cruz Roja Mexicana* y el *H. Cuerpo de Bomberos*, además de colaboración con empresas especializadas en seguridad industrial. Las sesiones incluyeron desde formación general en cultura de protección civil hasta entrenamientos específicos en evacuación, uso de extintores, primeros auxilios y disposición de residuos peligrosos (Tabla 10). Adicionalmente, se impartió un módulo sobre la *NOM-020-STPS-2011* [11], enfocada en el manejo seguro de recipientes sujetos a presión, debido al uso de autoclaves y reactores en algunos laboratorios.


Tabla 10. Actividades de formación y entrenamiento en seguridad (resumen).

Público objetivo	Tema / actividad
Personal académico, administrativo y estudiantes designados como representantes	Sesión informativa del plan de contingencias del edificio
Personal académico, administrativo y estudiantes designados como representantes	Conceptos básicos de protección civil
Personal académico, administrativo y estudiantes designados como representantes	Organización e integración de brigadas
Brigada de primeros auxilios y estudiantes representantes	Taller de primeros auxilios
Brigada contra incendios y estudiantes representantes	Prevención y respuesta ante fuego (teoría y práctica)
Brigadas de evacuación y comunicaciones; estudiantes representantes	Procedimientos de evacuación y comunicación durante emergencias
Personal académico, administrativo y estudiantes representantes	Gestión de residuos peligrosos y nociones del SGA
Personal administrativo y académico	Evacuación y aspectos generales de la NOM-020-STPS-2011 (equipos a presión)
Personal académico, administrativo y estudiantes designados como representantes	Señalización, seguridad e higiene (marco normativo)

Complementariamente, se realizaron dos simulacros de emergencia. El primero fue un simulacro de incendio, enfocado en la práctica de extinción con uso real de extintores, reconociendo tipos de fuego e identificando rutas de evacuación. El segundo, un simulacro de sismo, lo que permitió identificar aspectos operativos relacionados con puntos de reunión y coordinación entre brigadas.

Para identificar riesgos internos se realizó una inspección técnica de aulas, laboratorios y oficinas, registrando hallazgos y clasificándolos por nivel de riesgo (Tabla 11). Los hallazgos se agruparon en condiciones de manejo/almacenamiento de sustancias, elementos susceptibles de caída (plafones, luminarias o estantería), factores asociados a tropiezos/caídas y restricciones operativas en accesos/salidas o equipos contra incendio.


Tabla 11. Hallazgos de riesgo interno identificados durante inspección (síntesis).

Riesgos internos (síntesis)					
Hallazgo / situación	Clasificación del riesgo				Área/ubicación
	Nulo	Bajo	Medio	Alto	
Superficies acristaladas sin protección o con riesgo de fragmentación		x			Aulas y oficinas
Elementos suspendidos con posible caída (plafones, luminarias, objetos colgantes)			x		Pasillos, aulas y patio
Estantería/mobiliario sin anclaje o con movilidad no controlada			x		Oficinas, sala de cómputo y áreas comunes
Manejo/almacenamiento de químicos: rotulado, compatibilidad y contención secundaria				x	Laboratorios, bodegas y cuarto de limpieza
Material combustible acumulado (papel, cartón, solventes) sin segregación			x		Intendencia y bodegas
Obstrucciones, tapetes o cambios de nivel con riesgo de tropiezo			x		Pasillos y accesos
Extintores y señalización: visibilidad/altura/obstrucción o vigencia por verificar			x		Pasillos y laboratorios
Salidas y accesos: apertura limitada o herrajes/cerraduras con falla				x	Puertas de salida y áreas restringidas
Residuos: segregación y rotulación incompleta en algunos puntos		x			Patio y pasillos

De forma complementaria, se revisó el entorno inmediato del edificio para identificar riesgos que pudieran afectar la evacuación y el acceso de servicios de emergencia (Tabla 12). Se consideraron, entre otros, infraestructura eléctrica cercana, tránsito vehicular, irregularidades en andadores, registros abiertos y elementos susceptibles de desprendimiento por viento o vibración, priorizando condiciones críticas en horarios de alta afluencia.

Riesgos del entorno (síntesis)					
Hallazgo / situación	Clasificación del riesgo				
	Nulo	Bajo	Medio	Alto	Área/ubicación
Infraestructura eléctrica aérea cercana (postes, líneas y/o transformadores)			x		Perímetro y estacionamiento
Tránsito vehicular y maniobras en accesos			x		Calles y accesos inmediatos
Banquetas/andadores con irregularidades o pendientes			x		Andadores y rampas exteriores
Registros/alcantarillas o huecos con riesgo de caída				x	Exterior inmediato
Vegetación o ramas con potencial de desprendimiento		x			Zonas arboladas cercanas
Estructuras u obras colindantes con posible caída de objetos			x		Colindancias del edificio
Elementos elevados o sueltos (anuncios, láminas, vidrios) expuestos a viento			x		Exteriores y fachadas
Puntos de reunión y rutas externas: señalización parcial o necesidad de mejora		x			Explanada y rutas de evacuación externas

La evaluación económica de la seguridad institucional representa una dimensión relevante dentro del análisis de la gestión del riesgo en entornos universitarios de alta complejidad, como lo son los laboratorios experimentales. En esta fase del estudio se identificaron y analizaron los costos directos asociados a la adquisición de infraestructura, equipos y servicios necesarios para implementar protocolos de seguridad, así como los costos indirectos potenciales derivados de eventos no controlados, como accidentes laborales, enfermedades profesionales o manejo inadecuado de sustancias químicas peligrosas.

Entre los elementos físicos identificados cuya disponibilidad o condición fue considerada dentro del análisis en los laboratorios del edificio “E1”, se contempló la necesidad de adquirir o actualizar equipos destinados a la ventilación y control de emisiones, como campanas de extracción y extractores industriales, cuya función es minimizar la exposición del personal a vapores tóxicos y compuestos volátiles. El costo promedio estimado de una campana de extracción química industrial es de \$75,000 MXN por unidad, considerándose un escenario de referencia de 4 unidades para el análisis económico de los espacios de trabajo actuales.

ISSN: 2594-1925



En relación con la gestión de residuos, se identificó la presencia de mezclas de reactivos y reactivos caducados cuya disposición final fue considerada dentro del análisis económico. Su disposición final fue cotizada con una empresa privada autorizada, cuyo costo de tratamiento, recolección y transporte se estimó en \$1,200 MXN por kilogramo de residuo peligroso. Con una carga estimada de 80 kg almacenados, el total asciende a \$96,000 MXN.

3.4.2 Costos de capacitación y equipos de respuesta

Como parte del análisis de la operatividad de las brigadas formadas en la Fase 3, fue necesario establecer un presupuesto de capacitaciones especializadas, incluyendo temas de primeros auxilios, combate de incendios y evacuación de emergencia. Estas capacitaciones fueron ofertadas por organismos certificados, con un promedio de \$9,000 MXN por curso, siendo necesarios al menos 6 eventos al año, con un costo anual aproximado de \$54,000 MXN.

En cuanto a equipamiento de seguridad, se contempló la adquisición de extintores tipo CO₂ para los 8 laboratorios y 5 oficinas, con un costo unitario de \$3,200 MXN, resultando en una inversión total de \$41,600 MXN. A esto se sumó la compra de un megáfono de evacuación (\$1,800 MXN), un traje contra incendios con normatividad internacional (\$12,000 MXN), y un sistema de alarma sísmica audible (\$5,500 MXN), considerados dentro del análisis económico para la capacidad de respuesta ante eventos disruptivos.

3.4.3 Costos indirectos estimados

Los costos indirectos se estimaron con base en escenarios hipotéticos y referencias documentadas en contextos similares. Se calcularon los impactos financieros de:

- Enfermedades laborales por exposición a sustancias químicas (vía inhalación o contacto dérmico): tratamiento médico, ausentismo laboral y posible indemnización. El costo promedio por caso fue estimado en \$18,000 MXN, considerando consultas especializadas, exámenes toxicológicos y seguimiento.
- Accidentes con compuestos peligrosos: En casos como quemaduras por ácidos, derrames de solventes inflamables o cortes por vidrio contaminado, los costos pueden oscilar entre \$12,000 y \$30,000 MXN por evento, dependiendo de la gravedad.
- Tomando como referencia un escenario de análisis con una frecuencia anual estimada de 3 eventos menores y 1 evento moderado, el costo indirecto anual promedio asociado a accidentes en laboratorios se aproxima a \$60,000 MXN.


Tabla 13. Estimación de costos directos e indirectos asociados a la seguridad en los laboratorios del Edificio “E1”.

Concepto	Costo Estimado (MXN)
Campanas de extracción (4)	\$300,000
Sistema de señalización	\$12,000
Disposición de residuos peligrosos	\$96,000
Capacitaciones anuales (6)	\$54,000
Extintores CO ₂ (13 unidades)	\$41,600
Megáfono	\$1,800
Traje contra incendios	\$12,000
Alarma sísmica	\$5,500
Subtotal costos directos	\$522,900
Estimación anual de costos indirectos	\$60,000
Total aproximado	\$582,900 MXN

La integración de estos costos permitió incorporar la dimensión económica como parte del análisis multidimensional de los protocolos de seguridad.

3.5 Evaluación del Bienestar de los Usuarios

La quinta fase del estudio tuvo como objetivo identificar y analizar el bienestar percibido por los usuarios del edificio “E1”, específicamente estudiantes, docentes y personal administrativo que hacen uso habitual de los laboratorios experimentales de la Facultad de Ingeniería. Esta evaluación abordó aspectos psicológicos y actitudinales vinculados a la percepción de seguridad, el nivel de estrés asociado al manejo de materiales peligrosos, la satisfacción con las capacitaciones recibidas, y la confianza en los protocolos y brigadas.

3.5.1 Percepción general de seguridad y condiciones de trabajo

De acuerdo con las encuestas y entrevistas aplicadas a los usuarios del Edificio “E1”, el 65% de los participantes reportó una percepción alta o muy alta de seguridad en las actividades de laboratorio, mientras que un 23% indicó una percepción intermedia y un 12% una percepción baja. Estos resultados se asociaron principalmente a la presencia de señalización visible, la disponibilidad de extintores funcionales y la existencia de brigadas de emergencia activas, factores que fueron recurrentemente mencionados por los usuarios durante las entrevistas.

Cabe destacar que este edificio alberga la totalidad de los laboratorios experimentales de la carrera de *Ingeniería*, en donde se manipulan reactivos, compuestos corrosivos, inflamables y otras sustancias clasificadas como peligrosas para la salud humana y el ambiente, conforme a los criterios del *Sistema Globalmente Armonizado (SGA)*. Por tanto, el entorno involucra no sólo medidas técnicas de protección, sino también condiciones psicosociales orientadas a la prevención de accidentes y a la reducción de la carga mental asociada al trabajo de laboratorio.

3.5.2 Nivel de estrés relacionado con el manejo de materiales peligrosos

En relación con el nivel de estrés asociado al manejo de materiales peligrosos, los usuarios reportaron valores predominantemente bajos a moderados. En una escala de percepción de 1 a 5, el valor



promedio obtenido fue de 2.8, lo que indica una percepción moderada del estrés operativo durante las prácticas de laboratorio, lo cual se relacionó principalmente con dos factores:

El conocimiento adquirido en las capacitaciones sobre el manejo de sustancias peligrosas, señalización y primeros auxilios.

La experiencia progresiva en el desarrollo de prácticas experimentales, que ha contribuido a la familiarización con los protocolos y el uso correcto del equipo de protección personal.

Los docentes indicaron que los estudiantes han mejorado tanto en técnica como en tiempos de ejecución de las prácticas, mostrando una mayor familiarización con los procedimientos y medidas de seguridad, de acuerdo con la percepción del personal docente.

3.5.3 Satisfacción con la capacitación recibida

En cuanto a la satisfacción con las capacitaciones recibidas, el 71% de los usuarios evaluó positivamente los programas formativos, mientras que un 19% los consideró adecuados y un 10% manifestó áreas de oportunidad relacionadas con la frecuencia o duración de los cursos.

Los programas de capacitación implementados fueron valorados de forma positiva y útil por la mayoría de los encuestados. Tanto alumnos como profesores reconocieron la relevancia de las temáticas abordadas, así como la calidad de los instructores (Protección Civil, Cruz Roja, Bomberos y personal especializado externo). La estructura práctica de los cursos, así como su aplicación directa en simulacros, fue identificada como un aspecto relevante del programa formativo.

Además, se valoró de forma favorable la división por brigadas y la asignación de roles específicos para la respuesta a emergencias, lo que redujo la incertidumbre y contribuyó a una mejor organización operativa dentro del entorno de laboratorio.

3.5.4 Confianza en los protocolos y brigadas

En relación con la confianza en los protocolos y brigadas de emergencia, el 67% de los usuarios indicó un nivel alto de confianza, mientras que un 22% reportó confianza intermedia y un 11% expresó incertidumbre ante escenarios de emergencia específicos. La ejecución de simulacros y la visibilidad de los protocolos fueron mencionadas como factores asociados a estas percepciones.

La mayoría de los usuarios indicaron que en caso de una emergencia real sabrían qué hacer, a dónde ir, y quién tomaría el liderazgo, lo cual se alinea con los objetivos planteados en el enfoque institucional de seguridad.

3.6 Evaluación de la Implementación y Efectividad

La fase final del presente estudio tuvo como propósito evaluar la implementación y desempeño operativo de los protocolos de seguridad implementados en los laboratorios del edificio “E1”, midiendo



parámetros como la frecuencia de incidentes, la respuesta de las brigadas y el nivel de cumplimiento de los planes de seguridad, en el marco de una estrategia de mejora continua.

3.6.1 Número y tipo de incidentes registrados

Durante el período de observación (2024–2025), no se reportaron incidentes graves durante el periodo de observación dentro de los laboratorios, tales como incendios, fugas de sustancias químicas, explosiones o intoxicaciones colectivas. No obstante, se registraron 4 incidentes menores, entre ellos: un derrame controlado de etanol (sin afectación a personas), un caso de contacto dérmico con ácido diluido (atendido en sitio), y dos obstrucciones parciales de rutas de evacuación detectadas durante inspecciones internas. Estos eventos fueron debidamente documentados y retroalimentados a las brigadas correspondientes.

3.6.2 Tiempos de respuesta de brigadas

Uno de los principales indicadores de efectividad en la implementación de los planes de seguridad es el tiempo de respuesta de las brigadas durante eventos simulados. En los tres simulacros realizados recientemente (dos en 2025 y uno en septiembre de 2024), los tiempos de evacuación logrados por la Brigada de Evacuación fueron de 3.0, 2.5 y 2.5 minutos, respectivamente. Los tiempos registrados muestran una variación progresiva entre los simulacros, asociada a la repetición de los ejercicios y a la participación de los usuarios.

Por su parte, la Brigada de Búsqueda y Rescate, tras recibir capacitación especializada por parte de Protección Civil, alcanzó un promedio de 6 minutos en las prácticas de localización, extracción y reporte de personas simuladamente atrapadas. El tiempo promedio registrado fue de aproximadamente 6 minutos en las prácticas de localización, extracción y reporte de personas simuladas.

3.6.3 Cumplimiento de planes de seguridad

El seguimiento al cumplimiento de los planes de emergencia, evacuación y protección civil se realizó mediante listas de verificación y encuestas aplicadas a los usuarios del edificio. Los resultados indican un nivel elevado de conocimiento y participación en los procedimientos de emergencia por parte de estudiantes, docentes y personal administrativo, lo que se traduce en una participación activa durante simulacros y una actitud colaborativa hacia las actividades preventivas. Además, los planos de evacuación, señalización, bitácoras de mantenimiento y protocolos actualizados han sido colocados en sitios visibles, cumpliendo con los requisitos establecidos en la NOM-002-STPS-2010 [12].

El seguimiento del cumplimiento permitió integrar esta información como uno de los indicadores considerados en la evaluación de la implementación de los protocolos de seguridad. La metodología de evaluación empleada se alineó con el enfoque de planear, hacer, verificar y actuar (PHVA), utilizado como marco de referencia para el seguimiento de las acciones de seguridad.”



4. Conclusiones

El presente estudio permitió realizar una evaluación multidimensional de los protocolos de seguridad implementados en los laboratorios académicos del Edificio “E1” de una facultad de ingeniería, integrando de manera sistemática aspectos físicos, organizacionales, económicos y humanos. A través de un enfoque observacional y descriptivo con alcance aplicado, se generó un diagnóstico integral orientado a comprender las condiciones actuales de operación de los espacios experimentales desde una perspectiva de gestión del riesgo.

Los resultados indican que la seguridad en los laboratorios no depende de un solo factor, sino de la interacción entre la infraestructura disponible, la distribución y estado de los equipos de seguridad, las estrategias de capacitación y organización interna, la asignación de recursos económicos, el bienestar percibido por los usuarios y el nivel de implementación operativa de los protocolos. La presencia de brigadas, la realización de simulacros, la disponibilidad de señalización y equipos de respuesta, así como los tiempos de reacción observados durante ejercicios simulados, constituyen elementos que, analizados de forma conjunta, permiten identificar áreas de oportunidad dentro del sistema de seguridad institucional.

El alcance del estudio se limita a un análisis de caso específico, tanto en términos espaciales como temporales, por lo que los resultados obtenidos no pretenden ser generalizados a otros contextos universitarios sin considerar sus particularidades. Asimismo, la evaluación del bienestar de los usuarios se basó en percepciones reportadas mediante encuestas e instrumentos cualitativos, lo que implica una aproximación subjetiva que puede variar en función de la experiencia individual y del contexto operativo.

No obstante, el enfoque metodológico propuesto ofrece una herramienta útil para la evaluación integral de la seguridad en laboratorios académicos, al permitir integrar dimensiones técnicas, económicas y humanas dentro de un mismo marco de análisis. Este tipo de evaluaciones puede contribuir al fortalecimiento de los procesos de toma de decisiones institucionales en materia de prevención, gestión del riesgo y mejora de las condiciones de seguridad en entornos experimentales universitarios.

Finalmente, para fortalecer la reproducibilidad y comparabilidad de futuras evaluaciones, se recomienda alinear los protocolos institucionales con guías y marcos internacionales ampliamente utilizados en laboratorios académicos e industriales, tales como las prácticas prudentes y la promoción de una cultura de seguridad en investigación química [17], [18], el desarrollo de procedimientos operativos estandarizados (SOP) [19] y las guías de seguridad para instituciones académicas y laboratorios universitarios [20], [21]. En la gestión del riesgo, la jerarquización de controles y la preparación ante emergencias pueden complementarse con el marco RAMP (Recognize, Assess, Minimize y Prepare) [29], [30], así como con requisitos y lineamientos de gestión y normatividad internacional, incluyendo OSHA 29 CFR 1910.1450 [22], ISO 31000:2018 [25], ILO-OSH 2001 [26], NFPA 45 [28] y manuales de bioseguridad de la OMS y CDC/NIH [23], [24]. En el ámbito académico, la literatura reporta que la mejora sostenida de la cultura de seguridad requiere intervenciones formativas, organizacionales y de seguimiento continuo, apoyadas en evidencia y buenas prácticas [31]–[35].



5. Reconocimiento de autoría

Iván Ávila-Raya: Investigación, Metodología, Análisis formal, Escritura del borrador original y Validación. *Martha Angélica Lemus-Solorio*: Investigación, Metodología, Análisis formal y Escritura del borrador original. *Alfonso Lemus Solorio*: Investigación, Metodología, Escritura del borrador original y Supervisión. *Rodrigo Gómez Monge*: Conceptualización, Metodología, Recursos, Validación y Análisis formal. *Luis Enrique Rosas-Ávalos*: Conceptualización, Metodología y Análisis formal. *José Nicolás Cárdenas-España*: Metodología, Supervisión y Análisis formal. *José Luis Rivera-Rojas*: Conceptualización, Investigación, Escritura del borrador original, Validación y Análisis formal.

Referencias

- [1] Organización Internacional del Trabajo, "Seguridad y salud en el centro del futuro del trabajo: Aprovechar 100 años de experiencia," OIT, 2019. [Online]. Available: <https://www.ilo.org/es/publications/seguridad-y-salud-en-el-centro-del-futuro-del-trabajo-aprovechar-100-a%C3%B1os>
- [2] ENCICLO GRAFICA, "Señales de seguridad en el trabajo" [Imagen], Sitographics, 2013. [Online]. Available: <https://www.sitographics.com/enciclog/seguridad/index.html>
- [3] Naciones Unidas, "Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible," 2015. [Online]. Available: <https://sdgs.un.org/es/goals>
- [4] Secretaría de Gobernación, "NOM-003-SEGOB-2011: Señalización y medios de escape en inmuebles - Condiciones y requisitos," Diario Oficial de la Federación, México, 2011. [Online]. Available: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5226545&fecha=23/12/2011&print=true
- [5] National Fire Protection Association, "NFPA 10: Standard for Portable Fire Extinguishers," NFPA, 2020. [Online]. Available: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-10-standard-development/10>
- [6] Secretaría del Trabajo y Previsión Social, "NOM-026-STPS-2008: Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías," Diario Oficial de la Federación, México, 2008. [Online]. Available: <https://www.diariooficial.gob.mx/normasOficiales.php?codp=3541&view=si>
- [7] Secretaría del Trabajo y Previsión Social, "Guía de referencia II: Brigadas de emergencia y consideraciones generales sobre la planeación de los simulacros de incendio (NOM-002-STPS-2010)," STPS, 2010. [Online]. Available: https://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/publicaciones/guias/Guia_002.pdf
- [8] International Organization for Standardization, "ISO 45001:2018 - Occupational health and safety management systems - Requirements with guidance for use," ISO, 2018. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/63787.html>
- [9] Instituto Mexicano del Seguro Social, "Informe al Ejecutivo Federal y al Congreso de la Unión sobre la situación financiera y los riesgos del Instituto Mexicano del Seguro Social 2019-2020 (incluye estadísticas del Seguro de Riesgos de Trabajo)," IMSS, 2020. [Online]. Available: <https://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/pdf/informes/20192020/21-InformeCompleto.pdf>
- [10] Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, "Avance y resultados 2021," CONACYT, 2021. [Online]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/735990/38_PI_CONACyT_AyR21.pdf
- [11] Secretaría del Trabajo y Previsión Social, "NOM-020-STPS-2011: Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas - Funcionamiento - Condiciones de seguridad," Diario Oficial de la Federación, México, 2011. [Online]. Available: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/138731/NOM-020-STPS-2011.pdf>
- [12] Secretaría del Trabajo y Previsión Social, "NOM-002-STPS-2010: Condiciones de seguridad - Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo," Diario Oficial de la Federación, México, 2010. [Online]. Available: https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5170410
- [13] J. W. Creswell and V. L. Plano Clark, Diseño y desarrollo de investigaciones mixtas, 3.^a ed. Pearson Educación, 2018. [Online]. Available: <https://books.google.com.ec/books?id=A39ZDwAAQBAJ>



- [14] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, and P. Baptista Lucio, Metodología de la investigación, 6.^a ed. McGraw-Hill, 2014. [Online]. Available: <https://books.google.com/books?id=oLbjoQEACAAJ>
- [15] R. Muñoz, "Objetivo 4: Educación de calidad (ODS)" [Imagen], Otra educación, Sep. 8, 2015. [Online]. Available: <https://otra-educacion.blogspot.com/2015/09/objetivo-4-educacion-ODS.html>
- [16] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, "NOM-052-SEMARNAT-2005: Identificación, clasificación y manejo de los residuos peligrosos," Diario Oficial de la Federación, México, 2006. [Online]. Available: <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/1055/SEMARNA/SEMARNA.htm>
- [17] National Research Council, Prudent Practices in the Laboratory: Handling and Management of Chemical Hazards, Updated Version. Washington, DC, USA: The National Academies Press, 2011. doi: 10.17226/12654. [Online]. Available: <https://doi.org/10.17226/12654>
- [18] National Research Council, Safe Science: Promoting a Culture of Safety in Academic Chemical Research. Washington, DC, USA: The National Academies Press, 2014. doi: 10.17226/18706. [Online]. Available: <https://doi.org/10.17226/18706>
- [19] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Chemical Laboratory Safety and Security: A Guide to Developing Standard Operating Procedures. Washington, DC, USA: The National Academies Press, 2016. doi: 10.17226/21918. [Online]. Available: <https://doi.org/10.17226/21918>
- [20] American Chemical Society, Guidelines for Chemical Laboratory Safety in Academic Institutions. Washington, DC, USA: ACS Committee on Chemical Safety, 2016. [Online]. Available: <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/about/governance/committees/chemicalsafety/publications/acs-safety-guidelines-academic.pdf>
- [21] American Chemical Society, Safety in Academic Chemistry Laboratories, Student Edition. Washington, DC, USA: ACS Committee on Chemical Safety, 2017. [Online]. Available: <https://www.acs.org/content/dam/pldp/center/lab-safety/publications/safety-in-academic-chemistry-laboratories-students.pdf>
- [22] Occupational Safety and Health Administration, "29 CFR 1910.1450 - Occupational exposure to hazardous chemicals in laboratories." [Online]. Available: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.1450>
- [23] World Health Organization, Laboratory Biosafety Manual, 4th ed. Geneva, Switzerland: WHO, 2020. [Online]. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240011311>
- [24] Centers for Disease Control and Prevention and National Institutes of Health, Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories (BMBL), 6th ed. Washington, DC, USA: U.S. Department of Health and Human Services, 2020. [Online]. Available: https://www.cdc.gov/labs/pdf/SF__19_308133-A_BMBL6_00-BOOK-WEB-final-3.pdf
- [25] International Organization for Standardization, "ISO 31000:2018 - Risk management - Guidelines," ISO, 2018. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/65694.html>
- [26] Organización Internacional del Trabajo, Directrices relativas a los sistemas de gestión de la seguridad y la salud en el trabajo (OIT-SST 2001). Ginebra: OIT, 2001. [Online]. Available: <https://www.ilo.org/es/media/270606/download>
- [27] United Nations Economic Commission for Europe, Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS), 9th rev. ed. United Nations, 2021. [Online]. Available: <https://unece.org/transport/dangerous-goods/ghs-rev9-2021>
- [28] National Fire Protection Association, NFPA 45: Standard on Fire Protection for Laboratories Using Chemicals. Quincy, MA, USA: NFPA, 2024. [Online]. Available: <https://link.nfpa.org/all-publications/45/2024>
- [29] American Chemical Society Institute, "What is RAMP?" [Online]. Available: <https://institute.acs.org/acs-center/lab-safety/safety-basics-and-ramp/what-is-ramp.html>
- [30] D. C. Finster, "RAMP: A Safety Tool for Chemists and Chemistry Students," J. Chem. Educ., vol. 98, no. 1, pp. 19-24, 2021, doi: 10.1021/acs.jchemed.0c00142. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00142>



- [31] H. R. Ayi and C. Y. Hon, "Safety culture and safety compliance in academic laboratories: A Canadian perspective," J. Chem. Health Saf., vol. 25, no. 5, pp. 6-12, 2018, doi: 10.1016/j.jchas.2018.05.002. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jchas.2018.05.002>
- [32] I. Schröder, D. Y. Q. Huang, O. Ellis, J. H. Gibson, and N. L. Wayne, "Laboratory safety attitudes and practices: A comparison of academic, government, and industry researchers," J. Chem. Health Saf., vol. 23, no. 1, pp. 12-23, 2016, doi: 10.1016/j.jchas.2015.03.001. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jchas.2015.03.001>
- [33] G. L. L. Reniers, K. Sørensen, K. van Lerberghe, A. M. van Cuyck, and W. Dullaert, "Higher education chemical lab safety interventions: Choosing the right intervention," J. Chem. Health Saf., vol. 21, no. 1, pp. 4-8, 2014, doi: 10.1016/j.jchas.2013.09.001. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jchas.2013.09.001>
- [34] S. Ezenwa, A. D. Bapuraj, B. G. Hillhouse, D. Y. Q. Huang, and A. L. Rhoten, "Toward Improved Safety Culture in Academic and Industrial Chemical Laboratories," ACS Chem. Health Saf., vol. 29, no. 2, pp. 202-213, 2022, doi: 10.1021/acs.chas.1c00064. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1021/acs.chas.1c00064>
- [35] B. Srinivasan, M. U. Iqbal, M. A. Shahab, and R. Srinivasan, "Review of Virtual Reality (VR) Applications To Enhance Chemical Safety: From Students to Plant Operators," ACS Chem. Health Saf., vol. 29, no. 3, pp. 246-262, 2022, doi: 10.1021/acs.chas.2c00006. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1021/acs.chas.2c00006>

Derechos de Autor (c) 2026 Iván Ávila-Raya, Martha Angélica Lemus-Solorio, Alfonso Lemus-Solorio, Rodrigo Gómez-Monge, Luis Enrique Rosas-Avalos, José Nicolás Cárdenas-España, José Luis Rivera-Rojas



Este texto está protegido por una licencia Creative Commons 4.0.

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

Resumen de licencia - Texto completo de la licencia