



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA

INSTITUTO DE GEOFÍSICA

Campo de Ciencias Ambientales y Riesgos

EVALUACIÓN DE RIESGOS ANTE EXPLOSIONES QUÍMICAS, DERRAMES E
INCENDIOS EN SITIOS DE INTERÉS DE CIUDAD UNIVERSITARIA, UNAM, MEXICO

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS DE LA TIERRA

P R E S E N T A

JULIA MARIA CABRERA LAMADRID

DIRECTOR DE TESIS

DR. DAVID NOVELO CASANOVA

Instituto de Geofísica

Ciudad Universitaria, CD. MX. junio 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

RESUMEN

La Universidad Nacional Autónoma de México, situada al sur de la Ciudad de México maneja numerosas sustancias peligrosas que se utilizan para docencia, investigación u otros objetivos. Este hecho puede conducir a accidentes que conlleven a un incendio, explosión o derrame de dichas sustancias, y por consecuencia, la afectación estructural y técnica de la dependencia. La utilización de la adaptación de la Metodología Mosler permite, de manera cualitativa, evaluar los riesgos que representa para Ciudad Universitaria el uso y manejo de estas sustancias en los sitios de interés analizados que fueron la Facultad de Química, el Instituto de Investigaciones de los Materiales, el Instituto de Química y la Dirección General de Servicios Generales.

Teniendo en cuenta diferentes factores de la metodología Mosler, se demuestra que las sustancias con mayor potencial de peligro son el éter etílico y el hexano. Ante un incendio, explosión y/o derrame, el Instituto de Química, es la dependencia con mayores niveles de riesgos, siendo Alto y Muy Alto. Por otro lado, la dependencia con menores niveles de riesgos es la Dirección General de Servicios Generales, teniendo niveles de riesgo Bajo y Muy Bajo. La institución con mayor vulnerabilidad estructural y técnica es el Instituto de Investigaciones de los Materiales, debido a las condiciones de almacenamiento de algunas sustancias, y la de menor nivel del mismo tipo de vulnerabilidad es la Dirección General de Servicios Generales, por tener las condiciones más seguras de trabajo.

Como resultado de este trabajo, se identifican las zonas de impacto en caso de que ocurra una explosión, derrame o incendio, que implican un alto nivel de riesgo, afectando principalmente a la Facultad de Ciencias, la Facultad de Ingeniería, entre otras dependencias. Finalmente, estos resultados reconocen la necesidad de fortalecer los planes de medidas de prevención y mitigación, basadas en una evaluación de riesgo personalizada e institucional.

Contenido

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1. CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO | 5 |
| 1.1 Evaluación de riesgo | 5 |
| 1.1.1 Riesgos Cualitativos | 8 |
| 1.1.2 Riesgos Cuantitativos | 11 |
| 1.2 Riesgos antropogénicos. | 12 |
| 1.3 Sitio de Estudio | 14 |
| 1.4 Vulnerabilidad | 17 |
| 1.4.1 Tipos de vulnerabilidades. | 18 |
| 1.5 Ejemplo de un accidente internacional de tipo químico-tecnológico. | 20 |
| 2. CAPÍTULO II. METODOLOGÍA | 23 |
| 2.1 Diagrama de acción: | 23 |
| 2.2 Método Mosler para valoración del Riesgo | 24 |
| 2.2.1 Fase 1: Identificación de amenazas | 25 |
| 2.2.2 Fase 2: Análisis del Riesgo | 25 |
| 2.2.3 Fase 3: Evaluación del Riesgo | 30 |
| 2.2.4 Fase 4: Cálculo y clasificación del riesgo | 31 |
| 2.2.5 Criterios para cada amenaza | 32 |
| 2.3 Mapas de Zonas de Impacto | 36 |
| 3. CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 39 |
| 3.1 Amenaza: Incendio. | 39 |
| 3.1.1 Caso 1: Facultad de Química (FQ) | 39 |
| 3.1.2 Caso 2: Instituto de Investigaciones de Materiales (IIM) | 42 |
| 3.1.3 Caso 3: Instituto de Química (IQ) | 45 |
| 3.1.4 Caso 4: Dirección General de Servicios Generales (DGSG) | 46 |
| 3.2 Amenaza: Explosión | 47 |
| 3.2.1 Caso 1: Facultad de Química (FQ) | 47 |
| 3.2.2 Caso 2: Instituto de Ciencias de Investigaciones de Materiales (IIM) | 48 |
| 3.2.3 Caso 3: Instituto de Química (IQ) | 50 |

| | | |
|-----------------|--|----|
| 3.2.4 | Caso 4: Dirección General de Servicios Generales (DGSG) | 51 |
| 3.3 | Amenaza: Derrame | 52 |
| 3.3.1 | Caso 1: Facultad de Química (FQ) | 52 |
| 3.3.2 | Caso 2: Instituto de Ciencias de Investigaciones de Materiales (IIM) | 53 |
| 3.3.3 | Caso 3: Instituto de Química (IQ) | 54 |
| 3.3.4 | Caso 4: Dirección General de Servicios Generales (DGSG) | 55 |
| 3.4 | Mapas de Zonas de Exposición | 56 |
| 3.4.1 | Caso 1: Facultad de Química (FQ) | 58 |
| 3.4.2 | Caso 2: Instituto de Investigaciones de Materiales (IIM) | 59 |
| 3.4.3 | Caso 3: Instituto de Química (IQ) | 61 |
| 3.4.4 | Caso 4: Dirección General de Servicios Generales (DGSG) | 62 |
| CONCLUSIONES | | 65 |
| RECOMENDACIONES | | 66 |
| REFERENCIAS | | 66 |

INTRODUCCIÓN

En la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se desarrollan diversas áreas del conocimiento, donde se realizan actividades de docencia e investigación que, en algunos casos, implica el uso y manejo de sustancias químicas, materiales radiactivos y la manipulación de diversos organismos, que demandan un estricto control en su manejo para minimizar el nivel de riesgo hacia la comunidad universitaria.

Nuestra casa de estudios (Figura 1), ha demostrado ser pionera en la implementación de programas institucionales en beneficio de la sociedad mexicana. Por tal motivo, la responsabilidad de efectuar una gestión adecuada de las sustancias peligrosas en el campus es un compromiso moral, ético y legal. La universidad es consciente de su magnitud territorial y de los recursos que maneja, por ello ha venido desarrollando acciones para atender emergencias que se presenten y capacitar a empleados y alumnos sobre las medidas de prevención y mitigación ante las sustancias potencialmente peligrosas mediante la difusión de folletos y carteles se promueven las acciones de autocuidado por medio del Programa Interno de Protección Civil. Por ello, la evaluación del riesgo por fenómenos de origen antropogénico en Ciudad Universitaria permitirá fortalecer la toma de decisiones de índole preventivas.

En su amplio directorio de Facultades y Escuelas, algunas tienen la particularidad que manejan sustancias químicas peligrosas, que, en caso de una explosión, incendio y/o derrame, pueden llegar a dañar gran parte de Ciudad Universitaria. Dadas las particulares actividades de enseñanza e investigación, que suponen el uso de dichas sustancias, la zona de los Institutos y Facultades se puede considerar particularmente relevante en lo que se refiere a riesgo químico-tecnológico.

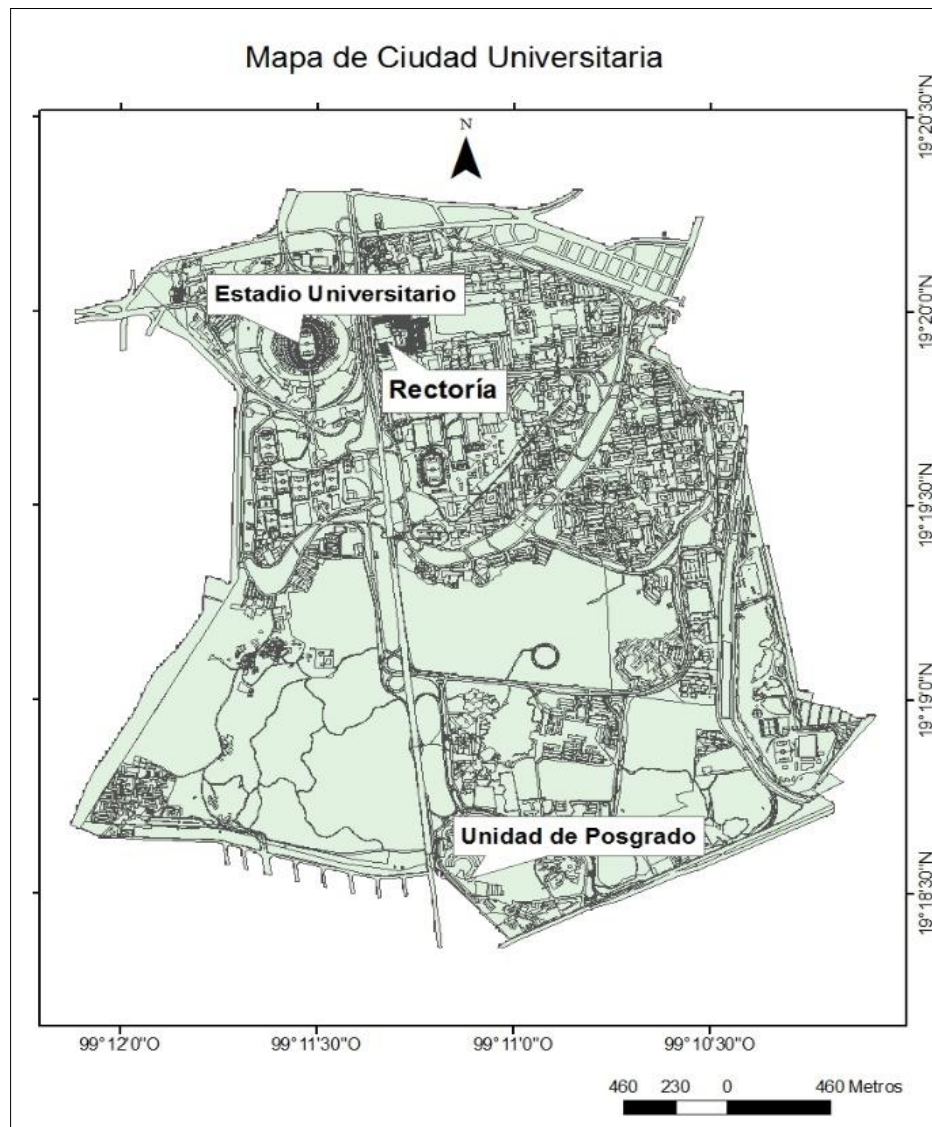


Figura 1 Mapa de Ciudad Universitaria

El análisis integral de esta problemática, gana una mayor trascendencia y repercusión debido a que la UNAM es la más grande e importante universidad de México e Iberoamérica.

A partir de la situación problemática, antes abordada, se definen como limitaciones asociadas con el problema científico:

- Insuficiente cultura de seguridad en la valoración y conocimientos de posibles accidentes potenciales que conduzcan a daños humanos y materiales en gran parte de la UNAM como producto de una explosión, incendio y/o derrame de sustancias potencialmente peligrosas

- Limitado intercambio de experiencias en materia de seguridad entre Protección Civil de la UNAM y las dependencias que manejan sustancias potencialmente peligrosas, vinculadas con los escenarios de explosiones, incendios y/o derrames.
- Limitada experiencia en la implementación de una herramienta informática con la metodología adecuada, que modele y localice geográficamente los diferentes escenarios a evaluar, teniendo en cuenta el Riesgo Químico-Tecnológico.
- Carencia de una evaluación cualitativa sustentada sobre la concepción e implementación de los escenarios para determinar los factores, causas y consecuencias tecnológicas asociadas a los posibles escenarios de explosiones, incendios y/o derrames.
- Inadecuada manipulación de la información para la gestión de datos, basada en criterio de riesgo.

De este conjunto de limitaciones se establece el Objetivo General de la Investigación: *“La evaluación del nivel de riesgo debido a explosiones químicas, derrame o vertimiento de hidrocarburos o incendios en Ciudad Universitaria, a partir de la adaptación de la metodología Mosler”*

Como **objetivos específicos:**

- 1) Evaluar el riesgo tecnológico existente, a partir de la adaptación de la metodología cualitativa Mosler.
- 2) Establecer las variables y parámetros asociados a los escenarios que puedan presentarse, teniendo en cuenta las amenazas de incendio, explosiones y derrames, adaptando de esta manera la metodología Mosler a este tipo de amenazas.
- 3) Evaluar la capacidad de respuesta institucional en situaciones de emergencia, teniendo en cuenta el factor de vulnerabilidad de la metodología utilizada.
- 4) Identificar las fuentes de riesgo, a partir de los criterios definidos.
- 5) Generar un Mapa de Riesgo de origen antropogénico de Ciudad Universitaria, con la herramienta de trabajo ARCGIS.

Las instituciones seleccionadas para este estudio son: Facultad de Química, Instituto de Investigaciones de los Materiales, Instituto de Química y la Dirección General de Servicios Generales. Los criterios de selección de estas instituciones se explican en el Capítulo II de la Metodología.

Considerando los problemas identificados, se formuló la siguiente Hipótesis de Trabajo: “ *El riesgo que trae consigo el manejo de sustancias químicas peligrosas pueden conducir a incendios, explosiones y/o derrames, Este nivel de riesgo se puede evaluar si se emplean las técnicas adecuadas.* ”

Los alcances de esta investigación están delimitados a:

1. Explorar el área de Ciudad Universitaria solamente, prestándole mayor importancia a la zona de Institutos y Facultades.
2. Analizar únicamente el riesgo químico-tecnológico.
3. Evaluar la vulnerabilidad estructural y técnica.

1. CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

1.1 Evaluación de riesgo

Desde la existencia de la raza humana, sus actividades han estado estrechamente vinculadas a la posibilidad de un error. Lo que conlleva a que el riesgo sea inherente a la actividad humana. Por ello, en las últimas décadas se ha desarrollado el interés para encontrar la forma de evitar o minimizar los riesgos en las actividades humanas. A los análisis de riesgo usualmente se les denomina evaluación de riesgo.

Las nuevas tecnologías en la generación de energía, transporte, industrias de proceso como la química, petroquímica y otras, a la vez que traen beneficios, también traen riesgos aparejados que se traducen ocasionalmente en pérdidas de vidas humanas, daños a la salud y pérdidas económicas de consideración. No obstante, ninguna actividad humana está exenta de riesgos y estos pueden ser aceptables en dependencia de los beneficios que la misma reporta, de su importancia comparativa respecto a otros riesgos de la vida diaria, así como de la percepción que se tenga de tal riesgo (Fullwood, 2000). En este contexto, el análisis de riesgo se ha convertido en una herramienta importante para controlar los mismos a través de su predicción y del estudio de los factores que los determinan, De esta manera, se posibilita la toma de decisiones fundamentadas para, en primer lugar, prever accidentes y, en segundo lugar, minimizar sus consecuencias en caso de ocurrir.

De acuerdo a las notas tomadas en la materia de Peligros y Riesgo, impartida en el Posgrado de Ciencias de la Tierra, UNAM (2017), para posibilitar valoraciones comparativas de riesgo de accidentes se utiliza la siguiente definición técnica de riesgo:

$$R = P * V \quad (1)$$

Donde:

R: es el riesgo expresado en daños/unidad de tiempo.

P: representa el peligro al que está expuesto.

V: representa la vulnerabilidad que se está analizando (posteriormente se analiza los diferentes tipos)

A la vez, el riesgo puede expresarse en dos formas principales en dependencia de a qué está referido el daño asociado al mismo: riesgo individual (probabilidad de daño de cada individuo promedio expuesto) y riesgo social (probabilidad de daño colectivo del público o del entorno).

El concepto de riesgo social está basado en la premisa de que la sociedad se preocupa más por los eventos en que muere mayor número de personas o que ocasionan afectaciones considerables al entorno que aquellos en que el número de muertes es más pequeño y no ocasionan afectaciones significativas más allá de su punto de ocurrencia (Rivero et al., 2001)

El daño a las personas puede expresarse en términos de daños inmediatos (como muerte, lesionados), o daños a la salud a más largo plazo (por ejemplo, incidencia de cáncer u otras afecciones). El daño colectivo puede expresarse en los mismos términos de daño a las personas (número de personas con estado de daño dado) o en otros términos que permitan evaluar el impacto social (pérdidas económicas en términos monetarios o en hombres-días dejados de producir por lesiones o muerte, áreas de terreno afectadas, aguas contaminadas, etc.) (Rivero et al., 2001). Las pérdidas económicas de la sociedad debidas a varios tipos de accidentes son considerables siendo dominadas, por lo general, por los accidentes del tránsito, incendios, sismos e inundaciones.

El riesgo se puede expresar además en términos de daños tecnológicos directamente relacionados con la potencialidad de daño a las personas y el entorno, sin abarcar las consecuencias para estos últimos. Ejemplos de definición de tales estados de daño pueden ser: caída de avión, liberación de productos tóxicos de plantas químicas, daño del combustible nuclear o liberación de radiactividad en caso de reactores nucleares. Obviamente el estado de daño o suceso no deseado definido depende en primer lugar de las particularidades de la tecnología analizada, pero puede variar para una misma tecnología en dependencia de los objetivos específicos del estudio de que se trate (Martínez, 2008).

Los análisis de riesgo tecnológico tienen un alcance más limitado, pero permiten llegar más directamente y con menos esfuerzos a los objetivos buscados, cuando se trata de la revelación de puntos débiles en el diseño o la operación de la tecnología, con vistas a la introducción de mejoras ingenieriles para elevar la seguridad. Los análisis de riesgos se dividen en análisis cualitativos y análisis cuantitativos. Los cualitativos son análisis que generalmente se basan en la opinión y juicio de expertos, o de quien esté llevando a cabo el análisis. Se determinan los riesgos y se asignan escalas de gravedad dependiendo de lo que se considere. Este tipo de análisis se emplea en instalaciones simples o que no se consideran de alto riesgo, el resultado que arroja este tipo de análisis son palabras como leve, medio severo, etc. para describir el riesgo hallado en algún proceso (Martínez, 2008). En cambio, los análisis cuantitativos se basan en estudios probabilísticas y estadísticos así como en bases de datos para determinar el nivel de riesgo que presenta una instalación y arrojan resultados numéricos para clasificar los riesgos. En la Tabla 1.1 se muestran algunas de las ventajas y desventajas de los análisis de riesgos cualitativos (Martínez, 2008).

Tabla 1.1 Ventajas y desventajas de los análisis de riesgos cualitativos (Martínez, 2008).

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| <p>Son sencillos de realizar</p> <p>Pocos costosos</p> <p>Utiliza la experiencia de los especialistas en el tema.</p> | <p>Son subjetivos</p> <p>Los resultados pueden variar según las personas involucradas</p> <p>Se requiere un análisis cuantitativo posteriormente para completar el análisis de riesgo deseado.</p> |

Mientras que algunas de las ventajas y desventajas de los análisis de riesgos cuantitativos se muestran en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Ventajas y desventajas de los análisis de riesgos cuantitativos (Martínez, 2008).

| Ventajas | Desventajas |
|---|---|
| <p>Emplean métodos probabilística y estadísticos para la determinación de riesgos</p> <p>Los resultados son más exactos</p> | <p>Son más costosos</p> <p>Requieren mayor tiempo</p> |

| Ventajas | Desventajas |
|---------------|---|
| Son objetivos | No son recomendables para procesos simples. |

1.1.1 Riesgos Cualitativos

En el caso de las técnicas de análisis cualitativo no se requiere información estadística sobre fallos que pueden conducir al riesgo analizado. Estas técnicas son más conocidas como técnicas de identificación de riesgos. En la Tabla 1.3 se presenta un resumen de las características de estas técnicas.

Tabla 1.3 Técnicas de identificación de riesgos.

| Técnica de Identificación de Riesgo | Descripción General | Requerimientos | Resultados |
|-------------------------------------|--|---|--|
| Lista chequeo del sistema/proceso | <p>Lista que indica:</p> <ul style="list-style-type: none"> -tipos de riesgos para diferentes equipos y operaciones -correspondencia con códigos y normas de seguridad | <ul style="list-style-type: none"> -Conocimiento del sistema o planta y sus operaciones -Procedimientos operacionales -Personal experimentado para elaborar la lista chequeo | <p>Resultados cualitativos, usualmente en forma de decisión si/no respecto al cumplimiento de códigos y normas</p> |

| Técnica de Identificación de Riesgo | Descripción General | Requerimientos | Resultados |
|---|---|--|---|
| Auditoría/Revisión de Seguridad | Recorrido por la planta identificando riesgos posibles, naturaleza y condiciones de equipos en planta. Entrevistas a operadores y gerentes de planta. Examen de procedimientos de seguridad, mantenimiento y emergencia | -Acceso a descripciones de planta, diagramas de tuberías e instrumentación, diagramas de flujo, procedimientos de monitoreo, documentación de seguridad 2-5 personas para realizar la auditoría (preferiblemente independientes) | Reporte de auditoría de seguridad que identifica naturaleza/tipos de riesgos, naturaleza y extensión del impacto (cualitativamente) y recomendación de medidas de seguridad |
| Ranqueo Relativo (Indices de Riesgo Dow y Mond) | Utiliza índices estándar para asignar créditos y penalizaciones sobre la base de las características de la planta y controles de seguridad. Estos se combinan para obtener un índice del ranqueo relativo del riesgo de la planta | -Esquemas de Planta -Entendimiento del proceso -Naturaleza/tipos de materiales manejados y procesados y sus inventarios -Ingeniero experimentado con ayuda de operadores de experiencia para realizar el análisis | Ranqueo relativo de las unidades de proceso de planta, basado en el grado de riesgo. Evaluación cualitativa de la exposición al riesgo de equipos y personas. |

| Técnica de Identificación de Riesgo | Descripción General | Requerimientos | Resultados |
|---|--|--|---|
| Análisis Preliminar de Riesgos | Examen del diseño preliminar para identificar los riesgos relativos a los materiales y procesos, componentes e interfaces, así como la seguridad organizacional | <ul style="list-style-type: none"> -Especificaciones del diseño preliminar e información sobre la naturaleza y condiciones de los procesos -1 o 2 especialistas experimentados | Lista cualitativa de riesgos e incidentes potenciales |
| Análisis de Modo de Fallos y Efectos (FMEA) | <p>Lista de todos los fallos concebibles, descripción de los efectos sobre otros equipos o el resto del sistema, ranqueo de cada modo de fallo y su efecto por su severidad.</p> <p>Identificación del fallo único de peores consecuencias</p> | <ul style="list-style-type: none"> -Conocimiento del equipamiento y del funcionamiento del sistema y la planta -Esquemas de planta, diagramas de tuberías, diagramas de flujo -Lista de equipos de planta e inventarios -Idealmente deben involucrarse 2 analistas | Lista sistemática de modos de fallo y sus efectos potenciales |

| Técnica de Identificación de Riesgo | Descripción General | Requerimientos | Resultados |
|--|--|--|--|
| Análisis de Riesgo Operacional (HAZOP) | Revisión sistemática del diseño de la planta, sección por sección, usando una serie de palabras guías para identificar desviaciones posibles y establecer las acciones necesarias para corregirlas | -Diagramas de flujo de proceso, de tuberías y de instrumentación -El HAZOP se apoya en discusiones de un equipo de personal de diseño y operación | Identificación de desviaciones posibles, sus consecuencias, causas y acciones recomendadas |
| Análisis “what if” | Examen sistemático de la operación de un proceso para identificar sucesos iniciadores (fallo a partir del cual puede ocurrir una secuencia de eventos indeseados) | -Diagramas de flujo de proceso, diagramas de tuberías e instrumentación -2 analistas calificados | Identificación de desviaciones con sus consecuencias y acciones recomendadas |

1.1.2 Riesgos Cuantitativos

Los métodos cuantitativos no son algo reciente o nuevo. Las bases para los análisis de riesgos cuantitativos. Es decir, los cálculos probabilísticos, se fundaron durante la Segunda Guerra Mundial (Cox, 2008). En los 60's y 70's los métodos de análisis de riesgos como el de Modo de Falla y Efecto y el Árbol de Fallas fueron introducidos ya que el uso de técnicas cuantitativas cobró fuerza.

Existen diferencias importantes entre los métodos cualitativos y los cuantitativos. Los métodos cuantitativos se diferencian de los cualitativos en que buscan estimar la probabilidad numérica

que un evento se presente. Las razones por las cuáles esta probabilidad debe ser estimada y no basarse en la experiencia son: 1. Puede ser un sistema nuevo por lo que no se cuenta con datos históricos; 2. Las lesiones y fatalidades a través de la experiencia y aprendizaje no son aceptables; 3. Si es un sistema remoto no se pueden reunir los datos necesarios. Los métodos más usados para el análisis de riesgos son los árboles de fallas, el Análisis de Modo de Falla y Efecto (por sus siglas en inglés, FMEA) y el Análisis Funcional de Operatividad (por sus siglas en inglés, HAZOP) (Martínez, 2008).

1.2 Riesgos antropogénicos.

El 12 de agosto de 1949 nace la Protección Civil adjunto al Tratado de Ginebra “Protección a las víctimas de los conflictos armados internacionales”, a partir de la necesidad internacional de los estados de crear una organización que permita establecer un conjunto de Principios, Normas, Procedimientos, Acciones, y Conductas de carácter universal, con relación a la prevención y reducción a los desastres. Esto constituye una de las disposiciones otorgadas para facilitar el trabajo de la Cruz Roja (Protocolo Adicional a los Convenios de Ginebra, 1949).

Se puede definir riesgo, de modo general, como la probabilidad de pérdida de la vida o daño de personas y propiedad, cuyo origen puede ser de carácter natural o humano (Rivero, 2001). Específicamente los riesgos antropogénicos, son aquellos producidos por la actividad humana, aunque el contexto natural puede determinar la magnitud de su gravedad o impacto. Para Monroy Salazar. (2009) el riesgo es la probabilidad que se manifieste una amenaza a la que está expuesta una población que tiene un cierto nivel de vulnerabilidad.

Existe un gran número de accidentes considerados internacionalmente como significativos de origen antropogénico que han causado en estas últimas tres décadas grandes pérdidas materiales y de vidas humanas (Robertson, 1993; SEDESOL, 2006; Díez, 2007). Es necesario e importante conocer en detalle la estructura de estos tipos de riesgos debido a que ellos no solo abarcan las instalaciones que cumplen con los requerimientos más altos de seguridad, donde los accidentes son poco frecuentes, sino que incluye además instalaciones con un peligro menor con una frecuencia más alta de ocurrencia.

La estructura de estos riesgos incluye cuatro grandes grupos específicos: los riesgos de carácter socio organizativos, estructurales, de infraestructura y tecnológicos, como se muestra en el esquema de la Figura 1.1 (Cabrera, 2015).



Figura 1.1 Estructura de los riesgos antropogénicos (Cabrera, 2015).

Los riesgos de carácter socio organizativos son los originados tanto, en las actividades de grandes concentraciones humanas, como por la concepción inadecuada y mal funcionamiento de algún sistema propuesto por el hombre. Además, pueden ocurrir catástrofes asociadas a desplazamientos masivos de la población (Programa Habitat, 2011). Estos a su vez se subdividen en eventos crónicos, cuya frecuencia de ocurrencia es alta, pero las afectaciones son bajas; eventos de carácter catastróficos, los cuales son poco frecuentes y con graves consecuencias. Por la génesis humana, se pueden clasificar en dos grandes grupos; el de los riesgos inducidos por acciones intencionales y de los riesgos asociados a las acciones no intencionales.

Los riesgos evaluados en el presente trabajo tienen un carácter no intencional los cuales son inducidos por errores humanos del personal de servicio durante la realización de actividades laborales, por lapsus, violaciones en la ejecución de las secuencias en los procedimientos de operación u otras causas en actividades afines, que pueden conducir a la manifestación de accidentes (Salomón, 2014).

Los riesgos de carácter estructural (denominado también como seguridad o confiabilidad estructural) son aquellos que se asocian con los agrietamientos, fallas, colapso parcial o total de las edificaciones urbanas e industriales, puentes, túneles, distribuidores viales, paso a desnivel, torres eléctricas y otras estructuras, que deben mantener todo el tiempo su estabilidad, robustez y otras propiedades, dentro del conjunto de actividades o eventos para los que son diseñados de

manera segura y confiable, de acuerdo a las exigencias establecidas en la normas y reglas constructivas en las zonas de emplazamiento (Rivero , 2001).

Los riesgos de infraestructuras son aquellos relacionados con el número de sistemas y servicios para toda ciudad, población o comunidad que son importantes para el desarrollo industrial y humano y que tengan un buen funcionamiento antes, durante y después de la ocurrencia de fenómenos de carácter extremo, de origen natural o antrópico.

En particular, los riesgos tecnológicos están asociados también a las actividades del desarrollo humano cuyos orígenes son tratados, por su complejidad, de forma mancomunada por grupos multidisciplinarios de expertos atendiendo a la gran diversidad de sectores relacionados con las industrias petroquímicas, electroenergéticas, biotecnológicas, farmacéuticas, minero metalúrgicas, de transporte, nuclear y otras de carácter básico, así como de servicios no menos importantes e incluso por su potencial riesgoso. Se trata de un grupo de riesgos percibidos como fenómenos controlables por el hombre que son fruto de su propio ingenio.

Los riesgos tecnológicos atendiendo a su gravedad pueden clasificarse en accidentes mayores y accidentes menores. En correspondencia con esta clasificación, los mapas de peligros y riesgos tecnológicos deben elaborarse teniendo en cuenta su tipología, según el CENAPRED (2006) en comunes, complejos y riesgos emergentes.

Los riesgos comunes se agrupan en: riesgos sencillos, frecuentes, de fácil regulación y en la variación de la incidencia de rápida realimentación. En el caso de los riesgos complejos se dividen en: específicos, combinados, de difícil regulación (medidas potencialmente costosas) y herramientas o instrumentos de análisis complejos. Por último, los riesgos emergentes son imposibles de análisis y prevenibles. Todos estos riesgos se pueden evaluar por el tipo de modelo de análisis en cualitativos, semicuantitativos y cuantitativos (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastre de las Naciones Unidas, 2009)

1.3 Sitio de Estudio

El campus central de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se construyó a mediados del siglo XX en los terrenos de Pedregal San Ángel, durante la administración del

presidente de la República, Manuel Ávila Camacho y del rector de la UNAM, Genaro Fernández McGregor. Fue fundada el 21 de septiembre de 1551 con el nombre de la Real y Pontificia Universidad de México (Dirección General de Planeación, 2017). Posee un total de 474 edificios, de los cuales 33 son Institutos, 15 Facultades, 15 Centros de Investigación y 9 programas universitarios (Dirección General de Planeación, 2017). La UNAM tiene como propósito primordial estar al servicio del país y de la humanidad, formar profesionistas útiles a la sociedad, organizar y realizar investigaciones, principalmente acerca de las condiciones y problemas nacionales, y extender con la mayor amplitud posible, los beneficios de la cultura.

En 1986 se creó en México el Sistema Nacional de Protección Civil del cual la UNAM forma parte. El propósito es dar una respuesta civil en situaciones de emergencias y desastres, así como desarrollar la cultura necesaria en toda la población. Dentro de las funciones principales de la UNAM se encuentra establecer la coordinación con las dependencias y entidades de la administración pública (Dirección General de Servicios Generales UNAM, 2009).

Para esta investigación se escogieron dos dependencias de cada tipo: 2 facultades, 2 institutos y 2 dependencias de servicios; esto con el objetivo de poder comparar los resultados de diferentes tipos de dependencias en la Ciudad Universitaria. A pesar que, existen lugares que manejan sustancias con un potencial de peligro mayor y con un volumen más significativo que no tuvimos en cuenta, ejemplo de esto es la Gasolinera y la Alberca Olímpica. La Gasolinera por su parte, no se tuvo en cuenta debido que ya existen evaluaciones de riesgos que, aunque no son públicas, ya se han tomado todas las medidas necesarias para minimizar tanto como se pueda el nivel de riesgo. En el caso de la Alberca Olímpica, se solicitaron los datos pero no se obtuvo una respuesta que nos diera el acceso a dicha información; por ello no se tuvo en cuenta en esta investigación.

Posibles daños ante los escenarios de explosiones químicas, incendios y/o derrames.

Aproximadamente son 30,363 personas las que radican en las zonas de estudio, incluyendo alumnos, profesores, investigadores y trabajadores de distintas áreas que transitan o laboran en ella (Dirección General de Planeación, 2017). Por ello, el escenario de riesgo en Ciudad Universitaria en general, está determinado por las amenazas que pueden representar algunas sustancias peligrosas que se manejan en dichos Institutos y Facultades, así como por la

vulnerabilidad prevalente. De esta manera, se puede analizar la afectación social que puede representar un mal manejo de sustancias peligrosas. Un accidente de este tipo (químico tecnológico) puede significar severos daños de algunos integrantes de la comunidad universitaria. Un accidente que inicie una reacción en cadena puede llegar a afectar a gran parte de Ciudad Universitaria, y por ende, mayores consecuencias.

Además de las consecuencias tóxicas por la exposición a dichas sustancias, de los efectos causados por todo lo que rodea al accidente, es decir, posibles incendios, explosiones y lo que esto conlleva. En este sentido, por ejemplo, la Facultad de Química está muy cerca del Instituto de Ingeniería y la Facultad de Medicina, por lo que un accidente de gran magnitud que llegue a estos lugares puede traer nefastas consecuencias por la reacción en cadena. A pesar de que no hay zonas residenciales, existen grandes afluencias de personas en horario laboral debido que está rodeada de Institutos, Facultades y Centros de Enseñanzas. De forma similar ocurre para el caso del Instituto de Química, el Instituto de Ciencias de los Materiales, Instituto de Ciencias Biomédicas, Instituto de Ciencias Nucleares, Instituto de Investigaciones de Materiales y la Facultad de Ciencias. Se puede sumar a ello que existen cafeterías alrededor de estos lugares, donde se cocina, en la mayoría de ellos, con gas; por lo que tienen un tanque de al menos 10kg de GLP. Esto podría magnificar una explosión o incendio ante un accidente con las sustancias peligrosas que se manejan. De acuerdo a las autoridades pertinentes en la UNAM, los lugares que manejan este tipo de sustancias peligrosas cuentan con reglamentos de seguridad, equipos de protección personal, protocolos e información suficiente para minimizar dichos accidentes. Además de la existencia de las vías de comunicación para acceder de manera rápida a las zonas potencialmente peligrosas, sin muchas dificultades.

En lo que se refiere al manejo de sustancias y control de la seguridad, un conjunto de oficinas y direcciones son relevantes. Estas son Protección Civil de la Secretaría General del Gobierno de México, Dirección General de Servicios Generales de Protección Civil de la UNAM, Protección Civil del Instituto de Química, Facultad y Facultades Adjuntas y; por último, la Comisión Local de Seguridad de cada lugar de estudio.

1.4 Vulnerabilidad

La evaluación de las zonas de interés exige considerar la vulnerabilidad que se va analizar. La vulnerabilidad se define siempre en relación con algún tipo de amenaza, sean eventos de origen físico como sequías, terremotos, inundaciones o enfermedades, o amenazas antropogénicas como contaminación, accidentes, hambrunas o pérdida del empleo (Ruiz, 2011).

La vulnerabilidad global por su parte, es la interacción de una serie de factores y características (internas y externas) que convergen en una comunidad particular la cual incluye los diferentes tipos de vulnerabilidades existentes (Figura 1.2).

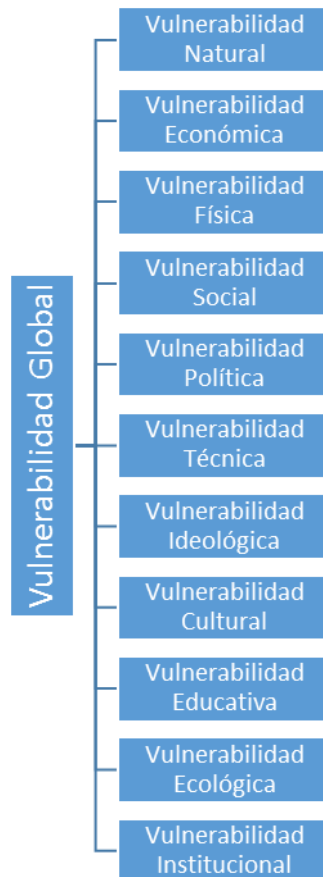


Figura 1.2 Esquema de las diferentes vulnerabilidades que componen la Vulnerabilidad Global (Maskrey, 1998)

1.4.1 Tipos de vulnerabilidades.

Wilches-Chaux (1993) describe los diferentes tipos de vulnerabilidad de la siguiente manera:

- Vulnerabilidad Natural

Está dado por los límites ambientales dentro de los cuales es posible la vida, por la condición de ser vivo; y por las exigencias internas de su propio organismo

- Vulnerabilidad Física

Está presente en concordancia a la localización de los asentamientos humanos en zonas de riesgo, y a las deficiencias de sus estructuras físicas para "absorber" los efectos de esos riesgos.

- Vulnerabilidad Económica

A nivel local e individual, la vulnerabilidad económica se expresa en desempleo, insuficiencia de ingresos, inestabilidad laboral, dificultad o imposibilidad total de acceso a los servicios formales de educación, de recreación y de salud, la necesidad de "vender el alma" a cambio de un salario o de un auxilio, inexistencia de control local sobre los medios de producción, etc.

A nivel del país, la vulnerabilidad económica se expresa en una excesiva dependencia de nuestra economía de factores externos prácticamente incontrolables por nosotros

- Vulnerabilidad Social

Se refiere al nivel de cohesión interna que posee una comunidad. Una comunidad es socialmente vulnerable en la medida en que las relaciones que vinculan a sus miembros entre sí y con el conjunto social, no pasen de ser meras relaciones de vecindad física en la medida en que estén ausentes los sentimientos compartidos de pertenencia y de propósito, y en la medida en que no existan formas de organización de la sociedad civil que encarnen esos sentimientos y los traduzcan en acciones concretas.

- Vulnerabilidad Política

Es el nivel de autonomía que posee una comunidad para la toma de las decisiones que la afectan. Es decir que, mientras mayor sea esa autonomía, menor será la vulnerabilidad política de la comunidad. Mide y analiza la posibilidad de que dada la amenaza, efectivamente se produzca y se tenga un daño, evaluando las posibilidades de daño, así como revisando los procedimientos y medidas existentes.

- Vulnerabilidad Técnica

La ausencia de diseños o construcciones de edificios e infraestructura básica utilizadas en áreas de riesgo.

- Vulnerabilidad Ideológica

La respuesta que logre desplegar una comunidad ante una amenaza de desastre "natural", o ante el desastre mismo. Depende en gran medida de la concepción del mundo -y de la concepción sobre el papel de los seres humanos en el mundo- que posean sus miembros.

- Vulnerabilidad Cultural

Refiere a la forma en que los individuos y la sociedad conforman el conjunto nacional y el papel que juegan los medios de comunicación en la consolidación de estereotipos o en la transmisión de información relacionada con el medio ambiente y los potenciales o reales desastres (influencia de la personalidad de los habitantes que se identifican con un modelo de sociedad, influencias de los medios masivos de comunicación frente a los riesgos)

- Vulnerabilidad Educativa

Falta de programas educativos que proporcionen información sobre el medio ambiente, sobre el entorno, los desequilibrios y las formas adecuadas de comportamiento individual o colectivo en caso de amenaza o de situación de desastre (conocimiento de las realidades locales y regionales para hacer frente a los problemas)

- Vulnerabilidad Estructural

Se refiere a un proyecto estructural, entendiendo por ello una vivienda, edificio, puente, etc. Cada estructura tendrá un comportamiento diferente atendiendo a sus características (configuración, dimensiones, materiales, etc)

- Vulnerabilidad Ecológica

Son aquellos ecosistemas por una parte altamente vulnerables, incapaces de autoajustarse internamente para compensar los efectos directos o indirectos de la acción humana, y por otra, altamente riesgosos para las comunidades que los explotan o habitan

- Vulnerabilidad Institucional

Es la obsolescencia y la rigidez de las instituciones, en las cuales la burocracia, la prevalencia de la decisión política, el dominio de criterios personalistas, impiden respuestas adecuadas y ágiles a la realidad existente y demoran el tratamiento de los riesgos o sus efectos.

Teniendo conocimiento de los diferentes tipos de vulnerabilidades, se hace necesario especificar cuáles serán evaluados en esta investigación. La vulnerabilidad social y estructural son las de interés teniendo en cuenta el alcance de la investigación, cumpliendo de esta manera con el objetivo de la evaluación.

1.5 Ejemplo de un accidente internacional de tipo químico-tecnológico.

El 1 de noviembre de 1986, un incendio en el laboratorio de la compañía farmacéutica Sandoz (actualmente Novartis) ocasionó uno de los desastres ecológicos de mayor envergadura de Europa: la contaminación de las aguas del río Rin, hasta Holanda. La bodega química, ubicada en el complejo industrial “Schweizerhalle”, a pocos kilómetros de Basilea, Suiza, generó el derrame de 30 toneladas de insecticidas, plaguicidas, colorantes y mercurio, sustancias que se filtraron con 15.000 m³ de agua (utilizados para extinguir el fuego) en el río Rin (Zabala, 2015)

El siniestro comenzó en el almacén químico 956, el cual contenía 1350 toneladas de agroquímicos altamente inflamables. El humo ocasionado por la ignición de los ésteres fosfóricos

y mercaptanos activó las alarmas contra incendios de la bodega, lo que permitió la llegada del cuerpo de bomberos. Pese a ello, la contaminación llegó a 500 kilómetros río abajo y ocasionó la intoxicación con mercurio de bagres, anguilas, truchas, salmones, entre otras especies acuáticas. La República Federal Alemana fue uno de los países ribereños al Rin, más afectados. A pocos días del desastre químico de Sandoz, se encontraron en Baden Wuerttemberg (Alemania) más de 150.000 anguilas muertas, mientras que en el tramo de Basilea (Suiza) variedades de peces e insectos, se extinguieron (Zabala, 2015)

Las pérdidas no fueron sólo naturales, ya que el envenenamiento de las aguas superficiales complicó el abastecimiento de agua en numerosos pueblos y ciudades de la cuenca. En varias comunas alemanas tuvieron que prescindir del agua corriente, por lo que debieron utilizar el suministro de los bomberos. Ante la catástrofe y la creciente preocupación de la población suiza, la respuesta popular no se hizo esperar. Masivas manifestaciones en Basilea contra la falta de control estatal en la industria farmacéutica, y el repudio a la compañía Sandoz fueron una constante durante las primeras semanas posteriores al incendio. Reclamaban medidas de seguridad más severas para las industrias farmacéuticas.

Biólogos suizos y germanos que estudiaron el desastre ecológico destacaron el impacto ambiental en ambos países y criticaron la lenta reacción por parte de los gobiernos más afectados, al indicar que el proceso de recuperación del Rin tardaría por lo menos veinte años. Las autoridades alemanas no dieron la alarma hasta varios días después, cuando se hizo evidente la catástrofe. Por otro lado, los expertos señalaron que el gobierno suizo no reaccionó con la celeridad esperada, ya que, según indicaron, no tomaron medidas para amortiguar el impacto del derrame químico.

La tragedia ecológica aceleró la creación de un Comité de Crisis conformado por los ministros de Medio Ambiente de los países ribereños del Rin y representantes de la Comunidad Europea. El 12 de noviembre de ese mismo año, los miembros del Comité se reunieron en Zúrich y analizaron el impacto en la flora y fauna, y las responsabilidades de la catástrofe. En esta reunión se planteó la necesidad de entender que la seguridad nacional no se remite sólo a la acción militar sino a la promoción del equilibrio económico y ecológico. Pese a que en la inspección realizada el 28 de octubre de ese mismo año no se revelaron inconvenientes en el sistema de seguridad, a pocos días

del siniestro se dio a conocer un informe realizado en 1981, en el que una compañía de seguros advertía a Sandoz sobre los posibles riesgos de incendio en su bodega (Zabala, 2015).

2. CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Como un elemento de trascendental importancia en los estudios de seguridad y riesgos, se encuentra el interés que se le brinda a la evaluación y/o análisis del riesgo. Es por ello, que dentro de los estudios y análisis de riesgo tecnológico reviste una notable importancia el empleo de la Metodología Mosler (Navarro, 2013). Esta metodología contribuye a clasificar el nivel de riesgo tecnológico al que estamos expuestos, y por tanto ayuda a determinar hacia donde orientar el estudio, y en particular, a la toma de decisiones oportunas bajo criterios de confiabilidad y riesgo.

La información requerida para el desarrollo de la investigación se solicitó en cada una de las dependencias seleccionadas las cuales colaboraron con el estudio y proporcionaron una lista de las sustancias que manejan, el volumen y su concentración. Además de una estadística de accidentes, para de esta manera determinar la frecuencia con la que suceden accidentes de esta índole.

2.1 Diagrama de acción:

La investigación se basó, de manera general, como se muestra en la Figura 2.1 que se muestra a continuación. Primero se recaudaron los datos de las zonas de interés las cuales fueron seleccionadas bajo los criterios siguientes:

- Uso y manejo de sustancias potencialmente peligrosas para la investigación, docencia o servicios en general.
- Volumen de almacenamiento
- Concentración de sustancias.

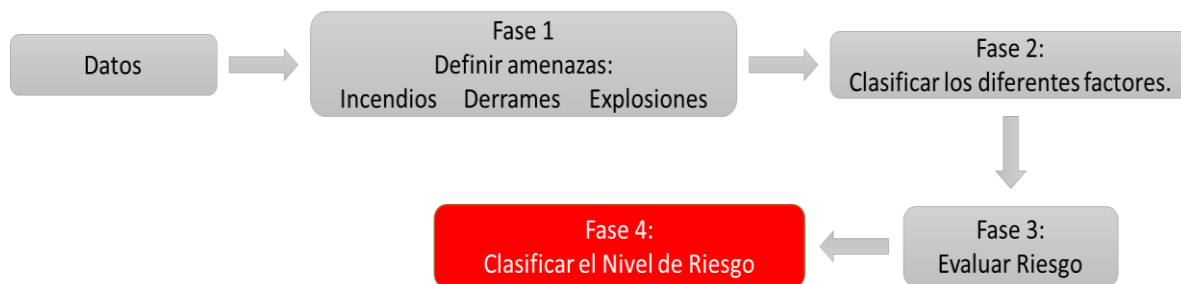


Figura 2.1 Diagrama General de la Metodología.

Teniendo en cuenta estos criterios se seleccionaron seis instituciones de la UNAM de diferentes misiones para realizar una evaluación de su vulnerabilidad y riesgo teniendo en cuenta las actividades que realizan. Posteriormente, se recaudaron los datos para desarrollar la metodología Mosler y así poder definir las amenazas (Fase 1). Este trabajo analiza las amenazas siguientes: explosiones, derrames e incendios. Es importante señalar que esta metodología es adaptable a otros tipos de amenazas, únicamente se deben reestablecer los criterios de cada fase de ella.

Seleccionando una amenaza, se pasa a la Fase 2 que consiste en clasificar los diferentes factores. En total son seis factores los cuales contribuyen en mayor o menor medida a calcular en la Fase 3 la expectativa de riesgo que posee cada sustancia. Finalmente, en la Fase 4 de esta metodología se clasifica el nivel de riesgo, que va desde muy bajo hasta muy alto.

A continuación, se explica de manera detallada la adaptación de la metodología Mosler con el propósito de que cumpliera con las exigencias de este trabajo de investigación.

2.2 Método Mosler para valoración del Riesgo

El método Mosler se aplica al análisis y clasificación del riesgo químico-tecnológico, y tiene como objetivo identificar, analizar y evaluar los factores que puedan influir en su manifestación.

El método Mosler se desarrolla en cuatro fases concatenadas (Galaviz, 2013).

2.2.1 Fase 1: Identificación de amenazas

Las amenazas son los eventos que pueden afectar la continuidad de las operaciones de manera directa y negativa, ya sea a los miembros de una comunidad, ya sea poblacional o universitaria, y/o a su patrimonio. En este trabajo, específicamente se analizarán aquellas amenazas debido al manejo de sustancias peligrosas en Ciudad Universitaria. Esta identificación como se señaló, tiene su origen en la estadística e información que se disponga de los hechos que se han presentado en el pasado y aquellos que deberán adicionarse porque tienen probabilidad de suceder o de presentarse, aunque no se tenga antecedente alguno.

Producto

Relación de amenazas. - Se analizarán las amenazas que pueden generar un derrame, incendio y/o explosión por un mal manejo de sustancias peligrosas con un criterio de mayor incidencia y mayor daño.

Relación de elementos que conforman la entidad o dependencia

La entidad o dependencia está compuesta por un conjunto de elementos que se relacionan entre sí para el desarrollo de las actividades y logro de sus objetivos. Los elementos son humanos o seres vivos (alumnos, académicos, trabajadores, visitantes; zonas forestales, plantas y fauna silvestre), elementos materiales (edificios, equipos, espacios abiertos, instalaciones especiales, laboratorios, almacenes, libros, acervo cultural y artístico, entre otros), e información (bases de datos, información sobre investigaciones, entre otros).

En cuanto a los elementos materiales, la descripción e información detallada de los inmuebles e instalaciones de la entidad o dependencia está considerada en los “Lineamientos generales para la elaboración del Programa Interno de Protección Civil” (Comisión Especial de Seguridad de la UNAM), de los cuales hay que seleccionar solo aquellos que puedan verse afectados por las amenazas establecidas.

2.2.2 Fase 2: Análisis del Riesgo

Para el análisis del riesgo se emplean una serie de factores que se relacionan a continuación y que deben calificarse para cada amenaza y para cada elemento de la entidad o dependencia.

Los factores que a continuación se definen se encuentran relacionados con el manejo de sustancias peligrosas.

2.2.2.1 Factor de Función

Para analizar el criterio de función de las consecuencias del daño cuando la amenaza altera la actividad institucional o personal que puede traer consigo el manejo de sustancias peligrosas, es necesario identificar las especificidades de ellas, basándose en los puntos siguientes (Gavilán et al., 2014)

1. Amenaza (explosión, derrame y/o incendio)
2. Identificación de la sustancia química peligrosa o mezcla y del proveedor o fabricante:
 - 1) Nombre de la sustancia química peligrosa o mezcla;
 - 2) Otros medios de identificación;
 - 3) Uso recomendado de la sustancia química peligrosa o mezcla, y restricciones de uso.

2.2.2.2 Identificación de los peligros

1. Clasificación de la sustancia química peligrosa o mezcla, conforme a lo que señala la NOM-018-STPS-2015 de acuerdo a sus propiedades de NFPA (por sus siglas en inglés, Asociación Nacional de Protección contra el Fuego); Propiedades Físicas y Termodinámicas.
2. Otros peligros que no contribuyen en la clasificación.
3. Concentración de la sustancia química peligrosa o mezcla.
4. Volumen de la sustancia química peligrosa o mezcla.

Luego de analizar las características anteriores de la sustancia o la mezcla, podemos de esta manera evaluar el nivel de consecuencia que se muestra en la Tabla 2.1:

Tabla 2.1 Clasificación del factor de Función.

| Puntaje | Consecuencia | Altera la actividad Institucional |
|---------|--------------------|-----------------------------------|
| 1 | Muy leve | De 1 a 12 horas |
| 2 | Leve | De 1 a 5 días |
| 3 | Medianamente grave | De 1 a 2 semanas |
| 4 | Grave | De 3 semanas a 1 mes |
| 5 | Muy grave | Más de 1 mes |

2.2.2.3 Factor de Sustitución

El nivel de alteración de la actividad Institucional se evalúa a través de la Tabla 2.2. Se debe tener en cuenta la facilidad con que pueden reponerse los bienes o reparar el daño en caso de que se produzca alguna de las amenazas. Luego de haber identificado los daños debido a una explosión, incendio y/o derrame se analizaron los siguientes puntos:

1. Costos de reemplazo vs. costos de restauración, e importancia.
2. Efecto del humo y del calor, ya sea por una explosión, incendio y/o derrame.
3. Pérdida de uso de los equipos.
4. Pérdida de valor.

Tabla 2.2 Clasificación del factor de Sustitución.

| Puntaje | Consecuencia | Altera la actividad Institucional |
|---------|-------------------------|--|
| 1 | Muy fácil | Inmediatamente (Bienes y recursos disponibles) |
| 2 | Fácil | Una semana (Recursos disponibles) |
| 3 | Sin muchas dificultades | Un mes (Solicitud de trámite de recursos) |
| 4 | Difícil | Mayor a 1 mes (Presupuesto especial) |
| 5 | Muy difícil | Irreparable, insustituible |

2.2.2.3 Factor de Profundidad o Perturbación

La perturbación social está estrechamente ligada al criterio de función, en el inicio, definido por la dependencia del nivel de consecuencia que tengan las amenazas, por tanto, será la alteración institucional. Este elemento tiene impacto en la imagen de la entidad o dependencia y como consecuencia tiene un puntaje asociado que se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Clasificación del factor de Profundidad o Perturbación.

| Puntaje | Consecuencia | Altera la actividad Institucional |
|---------|---------------------------|-----------------------------------|
| 1 | Perturbaciones muy leves | Individual y en su entorno |
| 2 | Perturbaciones leves | Reacción de grupo |
| 3 | Perturbaciones limitadas | Área de una entidad o dependencia |
| 4 | Perturbaciones graves | Entidad o dependencia |
| 5 | Perturbaciones muy graves | Impacta en medios de comunicación |

2.2.2.4 Factor de Extensión.

Mide el alcance territorial o geográfico de los daños, en caso de que se concrete una de las amenazas, basada en el nivel de daño de la amenaza, y su consecuencia tiene un puntaje asociado que se muestra en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Clasificación del factor de Extensión.

| Puntaje | Consecuencia | Altera la actividad Institucional |
|---------|--|-----------------------------------|
| 1 | De carácter individual | En una persona |
| 2 | Área de una dependencia | Área de una entidad o dependencia |
| 3 | De carácter de toda una dependencia | Entidad o dependencia |
| 4 | Considerando toda la UNAM | En toda o parte de la UNAM |
| 5 | De carácter nacional y/o internacional | Nacional o internacional |

2.2.2.5 Factor de Agresión.

Este criterio está intrínsecamente ligado a la frecuencia con que se presentan las amenazas en cada lugar. Mide la probabilidad de que la amenaza se concrete y tiene un puntaje asociado que se muestra en la Tabla 2.5. Para la investigación, el puntaje de este criterio es basado en la experiencia del personal entrevistado de cada dependencia para obtener los datos. Cada entrevista, se preguntó directamente cuál era la frecuencia, atendiendo a la siguiente tabla.

Tabla 2.5 Clasificación del factor de Agresión.

| Puntaje | Consecuencia | Altera la actividad Institucional |
|---------|--------------|-----------------------------------|
| 1 | Muy baja | No ha sucedido |
| 2 | Baja | Uno cada 5 años |
| 3 | Media | 1 cada 3 años |
| 4 | Alta | 1 cada año |
| 5 | Muy alta | 1 al semestre |

2.2.2.6 Factor de Vulnerabilidad.

Mide y analiza la posibilidad de que, dado el riesgo que se analiza, efectivamente se produzca y se tenga un daño significativo de acuerdo a la Tabla 2.6. Las características que serán evaluadas para determinar un criterio acertado para medir la vulnerabilidad son:

1. La ubicación de la zona de interés.
2. La facilidad de acceso y evacuación de las instalaciones.
3. Recursos externos para control de emergencias.
4. Las características estructurales de las instalaciones.
5. Las actividades que se desarrollan.
6. Descripción de la ocupación. Número de personas que laboran, horarios, visitantes, etc.
7. Recursos físicos con los cuales cuenta la institución para la prevención y atención de emergencias.

Tabla 2.6 Clasificación del factor de Vulnerabilidad.

| Puntaje | Consecuencia | Altera la actividad Institucional |
|---------|--------------|-----------------------------------|
| 1 | Muy baja | No requiere mayor protección |
| 2 | Baja | Bien Protegido |
| 3 | Media | Parcialmente o mal protegido |
| 4 | Alta | Sin protección |
| 5 | Muy alta | Sin protección y muy vulnerable |

2.2.3 Fase 3: Evaluación del Riesgo

En función del análisis (Fase 2) los resultados se calculan según las siguientes fórmulas:

2.2.3.1 Cálculo del carácter del riesgo (C):

$$C = I + D \quad (2)$$

Donde:

I Importancia del suceso

$$I = F * S \quad (3)$$

Donde:

F: Factor de Función

S: Factor de Sustitución

D: Daños ocasionados

$$D = P * E \quad (4)$$

Donde:

P: Factor de Profundidad o Perturbación

E: Factor de Extensión

2.2.3.2 Cálculo de la Probabilidad del suceso (Pb):

$$Pb = A * V \quad (5)$$

Donde:

A: Factor de agresión

V: Vulnerabilidad

2.2.3.3 Cálculo de la expectativa de riesgo (ER):

$$ER = C * Pb \quad (6)$$

Donde:

C: Cálculo del carácter de riesgo

Pb: Probabilidad del suceso

2.2.4 Fase 4: Cálculo y clasificación del riesgo

Tiene por objeto clasificar según la Tabla 2.7 el riesgo en función del valor obtenido de ER cuyo rango de valores está entre 2 y 1,250. La clasificación se obtiene aplicando la siguiente escala de puntos, y a partir de ello se le asignó valores para hacerlo de una manera didáctica también:

Tabla 2.7 Clasificación del Nivel de Riesgo.

| PUNTAJE | CLASIFICACIÓN |
|---------|---------------|
| <100 | MUY BAJO |
| 101-150 | BAJO |

| PUNTAJE | CLASIFICACIÓN |
|---------|---------------|
| 151-200 | MEDIO |
| 201-250 | ALTO |
| >251 | MUY ALTO |

2.2.5 Criterios para cada amenaza

2.2.5.1 Amenaza: Incendio.

En cada caso se comienza explicando la función fundamental de la entidad o dependencia en cuestión. Las sustancias que se muestran en las Tablas 3.1, 3.3, 3.5 y 3.7 (teniendo en cuenta la dependencia); son las principales que almacenan y que se utilizan con mayor frecuencia. Fueron clasificadas, basándonos en la norma estadounidense, llamada Norma NFPA 704 (Gavilán et al., 2014). Se establece un sistema de identificación de riesgos en forma de rombo (Figura 2.2), para que, en un eventual incendio o emergencia, las personas afectadas puedan reconocer los riesgos de los materiales y su nivel de peligrosidad respecto al fuego y diferentes factores.

El sistema consiste en asignar colores y números, y dar una “clasificación” a un producto,

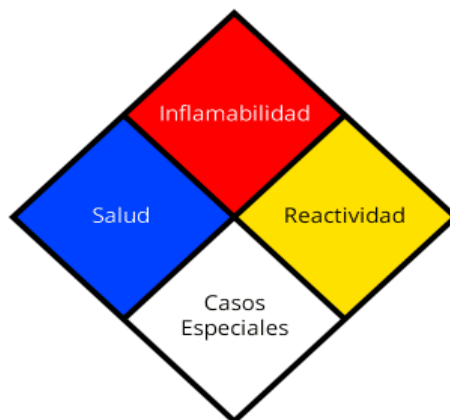


Figura 2.2 Rombo NFPA 704. (Gavilán et al., 2014).

manejando una escala del 0 al 4, dependiendo del grado de su peligrosidad. Cada uno de estos peligros está asociado a un color específico (Figura 2.3)

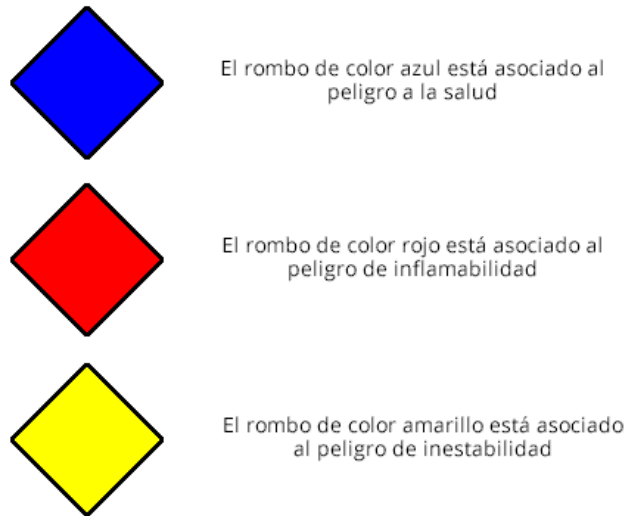


Figura 2.3 Clasificación NFPA 704 (Gavilán et al, 2014).

Las cuatro divisiones tienen colores asociados con un significado:

- El azul hace referencia a los riesgos para la salud
- El rojo indica el peligro de inflamabilidad
- El amarillo señala los riesgos por reactividad: es decir, la inestabilidad del producto.

A estas tres divisiones se les asigna un número de 0 (sin peligro) a 4 (peligro máximo).

En la sección blanca puede haber indicaciones especiales para algunos materiales, indicando que son oxidantes, ácidos, alcalinos, corrosivos, reactivos con agua o radiactivos.

Luego de clasificar el nivel de Riesgo ante Incendios según la norma anteriormente expuesta, se escogen las sustancias con una clasificación mayor que 1, que pueda significar un peligro ante la amenaza de incendio.

Posterior a esto, se tendrá en cuenta varios criterios importantes en el caso de la amenaza en cuestión (incendios):

- 1) Concentración de la sustancia.
- 2) Volumen de la sustancia.

- 3) Punto de ebullición.
- 4) Temperatura de inflamación.

2.2.5.2 Amenaza: Explosión

Ante la amenaza de explosión se siguió el procedimiento descrito anteriormente, se clasificaron las sustancias según la norma NFPA aunque por el tipo de amenaza en este caso que es "ante explosiones" se tomaron en cuenta otros criterios. Se comienza analizando su clasificación NFPA, la concentración y volumen en las que están almacenadas. Luego se analizan las características físico-químicas de las sustancias, específicamente la propiedad de la temperatura de autoignición y el límite de explosividad.

La temperatura de autoignición es la temperatura mínima, a presión de una atmósfera (101,3 kPa), a la que una sustancia, en contacto con el aire (en realidad con el oxígeno), arde espontáneamente sin necesidad de ningún aporte energético adicional a la mezcla (Torres et al., 2004). La diferencia con respecto a la temperatura de inflamación en que no necesita foco de ignición para generarse la combustión

El límite de explosividad son los que delimitan los porcentajes de concentración mínimos (límite inferior) y máximos (límite superior) en aire de un gas o vapor inflamable (% de volumen) entre los que la sustancia puede arder o explotar en contacto con un punto de ignición. Por debajo o por encima de estos límites no tiene lugar la ignición de la mezcla vapor - aire (oxígeno) (Montagud y Espadalé, 2000). Los criterios de evaluación son los siguientes:

- Clasificación según la Norma NFPA
- Concentración de las sustancias.
- Volumen de las sustancias.
- Temperatura de autoignición.
- Límites de explosividad.

2.2.5.3 Amenaza: Derrame

Según la definición de la Guía Práctica sobre Riesgos Químicos del CENAPRED, derrame es la liberación o pérdida de contención de cualquier sustancia líquida gaseosa o sólida, del recipiente que la contiene. Los lugares donde se almacenan este tipo de sustancias deben cumplir con una serie de precauciones básicas:

- El piso debe ser resistente a las sustancias que se van a almacenar.
- En el caso de que el almacenamiento sea considerable, es conveniente que tenga un desnivel hacia una zona de drenaje, segura y accesible, para evitar la permanencia de cualquier sustancia dentro del mismo en caso de derrame.
- Todos los recipientes deberán estar perfectamente etiquetados así como los materiales adecuados y homologados mediante la realización en fábrica de las pruebas correspondientes. Las etiquetas aportan información básica (NOM-018-STPS-2015) cuando se organiza el almacén.
- La iluminación debe ser adecuada.
- Dentro de la zona de almacenamiento debe figurar una nota con normas básicas de seguridad, teléfonos de emergencia, etc.
- Todos los lugares de almacenamiento deben estar correctamente señalizados con las correspondientes señales de advertencia (tóxico, corrosivo, inflamable,...), de obligación (utilización de equipos de protección personal) y de prohibición (acceso restringido, no fumar,...)
- Las zonas de almacenamiento de sustancias químicas deben estar en lugares frescos, lejos de cualquier fuente de calor excesivo o ignición. Deben mantenerse limpias y secas, con ventilación adecuada que evite acumulación de vapores.
- Los productos especialmente peligrosos como sustancias tóxicas o muy tóxicas, y dentro de esta clasificación las sustancias cancerígenas, mutagénicas o teratogénicas, por sus características particulares, deben almacenarse en lugares especialmente acondicionados con medidas de seguridad particulares y de acceso restringido.

- Es conveniente tener almacenadas las mínimas cantidades posibles de productos químicos.
- Deben hacerse revisiones periódicas para asegurarse de que los contenedores no presentan fugas.

Los criterios para evaluar esta amenaza con esta metodología son los siguientes:

1. Volumen de las sustancias almacenadas.
2. Frecuencia con la que ha ocurrido este tipo de accidentes.
3. Condiciones de almacenamiento.
4. Impacto (cada sustancia por separado, teniendo en cuenta sus propiedades)

2.3 Mapas de Zonas de Impacto

Una vez obtenidos los Niveles de Riesgo que constituye cada sustancia, para cada caso de estudio, se procede a realizar los mapas que muestren las zonas expuestas para cada amenaza. Se plantea un procedimiento sencillo para establecer las zonas potencialmente expuestas a riesgos tecnológicos en el territorio. Se utilizan para ello las funciones de cálculo de distancias utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG).

2.3.1 Áreas de exposición al riesgo

El modelo diseñado para caracterizar la exposición en su dimensión espacial es un procedimiento basado en los SIG para realizar mapas de zonas de impacto, especialmente en la técnica del buffer o corredor en torno a una entidad espacial dada. Concretamente han sido los programas de Esri, como Arcmap, los utilizados para realizar este estudio.

En nuestro caso y en función de los datos existentes, se pretende aportar dos medidas de la exposición y su cartografía: 1) zonas susceptibles de ser afectadas por un fallo tecnológico; 2) la valoración de la intensidad de la afección del desastre en cada punto.

El planteamiento utilizado parte del principio fundamental de la distancia considerada como factor de exposición (Bosque, 2004); lo que permitirá:

- Delimitar el área de exposición a una fuente de peligro, mediante el alcance espacial.
- Calcular la intensidad de la exposición, bajo el supuesto de que los posibles efectos nocivos de una actividad disminuyen gradualmente con la distancia a ella.
- Ponderar la probabilidad de los riesgos que experimenta un determinado sector del territorio debida a la situación de un conjunto de focos peligrosos próximos a él.

2.3.2 Alcance espacial de la exposición

El alcance espacial, en el contexto de análisis de riesgos, indica la capacidad del peligro para extenderse sobre el entorno, y se define como la distancia existente desde el foco emisor hasta el punto en el que dicho peligro deja de suponer un riesgo. Suele ser medido en línea recta, como el radio de acción o de influencia del foco emisor del peligro (Bosque, 2004).

Las dificultades comentadas anteriormente para delimitar las áreas de exposición (debidas a la diversidad de instalaciones seleccionadas, a la complejidad de agentes que pueden intervenir en un accidente, así como de los factores que intervienen en la propagación sobre el medio) permiten deducir que la estimación del alcance espacial es igualmente complicada.

Buscando medidas que hablen del alcance espacial para algunos riesgos tecnológicos, en la bibliografía consultada no se encontraron valores de distancias que permitan fijar alcances en función de tipos de instalaciones peligrosas, niveles de peligrosidad, medio afectado, etc. Es frecuente en la literatura relacionada con los SIG, aplicar referencias generales y dependientes de la escala: estudios urbanos o regionales abarcan desde pocos metros hasta 5 o incluso 10 kilómetros (Petts y Eduljee, 1994; Chakraborty y Armstrong, 1997; Glickman et al. 1995, citado por Nyerges et al., 1997)

De esta manera se consideró que el alcance de este tipo de amenazas pueda ser de 200, 400 y 600 metros, según información de SIG para este tipo de instalaciones (Bosque, 2004). A partir de ello, se obtuvo el mapa de distancias para cada caso de estudio seleccionado, usando para ello el cálculo de buffers múltiples en torno a cada punto con las anchuras concéntricas mencionadas anteriormente.

2.3.3 La distancia como valor de intensidad en la exposición

Apoyados en el principio de distancia como factor de exposición, se asume que la intensidad de la exposición es un valor dependiente de ella. Así, se considera que los posibles efectos nocivos derivados de un accidente en una actividad o elemento peligroso disminuyen gradualmente con la distancia al punto de origen, dependiendo de la sustancia y el volumen que se maneja.

Se recurre nuevamente al análisis de distancia del SIG, en esta ocasión para medir la gradación de la exposición en función de la proximidad a las fuentes de riesgo.

Para ajustar el proceso matemático que ha de llevarse a cabo con el marco teórico establecido, se parte de dos supuestos: 1) la distancia es un valor inverso a la intensidad, y 2) ésta decrece progresivamente conforme una función lineal a medida que nos alejamos del foco de peligro.

Por ello, se ha obtenido el mapa de distancias para cada instalación individual seleccionada (usando para ello el cálculo de buffers múltiples en torno a cada punto con anchuras concéntricas: 200 m, 400 m, hasta 2.000 m), de tal forma que se puede representar, finalmente, la intensidad de todos y cada uno de los focos de riesgo individuales. (Moizo Marrubio, 2004).

El SIG utilizado para este trabajo (ArcMap 10.5) proporciona mapas con áreas concéntricas al punto de origen, cada corona con valores iguales de distancia. Los valores muy bajos indican proximidad a la instalación y van aumentando hacia el exterior con la distancia y a su vez, disminuyendo la intensidad.

3. CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo analizaremos los resultados, clasificando primero por amenaza y luego por las diferentes zonas de estudio considerando cada una las sustancias potencialmente peligrosas que manejan.

3.1 Amenaza: Incendio.

3.1.1 Caso 1: Facultad de Química (FQ)

En la Tabla 3.1 se describen las sustancias más utilizadas y de mayor volumen que se almacenan en la Facultad. Como se puede observar, existen seis sustancias que están sombreadas en gris claro (Nivel: 3) y gris oscuro (Nivel: 4). La clasificación es según la Guía de Clasificación de Riesgo, Peligrosidad y primeros Auxilios, elaborada en la Facultad de Química de la UNAM. Únicamente una de estas sustancias tiene la máxima puntuación en la clasificación, dicha sustancia es el éter etílico.

Sustancias:

Tabla 3.1 Clasificación de las sustancias según la NFPA.

| Sustancias | Salud | Incendio | Reactividad |
|--------------------------------|-------|----------|-------------|
| Ácido clorhídrico | 3 | 0 | 1 |
| Ácido nítrico | 3 | 0 | 0 |
| Acetato de etilo | 1 | 3 | 0 |
| Ácido sulfúrico | 4 | 0 | 2 |
| Amoníaco | 3 | 1 | 0 |
| Permanganato de potasio | 3 | 0 | 2 |
| Acetona | 1 | 3 | 0 |

| Sustancias | Salud | Incendio | Reactividad |
|-----------------------------|-------|----------|-------------|
| Benceno | 4 | 3 | 0 |
| Bromo | 3 | 0 | 0 |
| Cloroformo | 4 | 0 | 0 |
| Dicromato de Potasio | 4 | 0 | 3 |
| Etanol | 4 | 3 | 0 |
| Éter etílico | 3 | 4 | 1 |
| Hexano | 3 | 3 | 0 |
| Hidróxido de Sodio | 3 | 0 | 1 |
| Hipoclorito de sodio | 2 | 0 | 1 |
| Mercurio | 4 | 0 | 1 |
| Metanol | 4 | 3 | 0 |
| Plomo | 4 | 1 | 0 |
| Sodio | 4 | 1 | 0 |
| Tolueno | 3 | 3 | 0 |

Teniendo las sustancias que se van a analizar, se consideran detalladamente los criterios definidos en el capítulo de la Metodología clasificándose cada uno de los diferentes factores.

Se observa en la Tabla 3.2 que el nivel de concentración de todas las sustancias es igual, Grado Reactivo Analítico (RA)¹ y los volúmenes que se manejan no son muy grandes, van desde 4 litros hasta 12 litros como máximo, lo que significa que la diferencia no es muy significativa. Además la sustancia que tiene un potencial de peligro más alto es el éter etílico, lo cual está dado principalmente por la clasificación que posee en el rombo de NFPA. Además, es la sustancia que mayor volumen se almacena en la Facultad de Química. Datos suficientes para que el resultado se

¹ Grado Reactivo Analítico (RA): Se ajustan a los estándares mínimos establecidos por la CENAM (laboratorio nacional de referencia en materia de mediciones)

perciba de manera certera. Su resultado es de Riesgo Alto, con una puntuación de 240 (ver el Capítulo 2 de metodología).

Para evaluar el nivel de Riesgo se hace necesario clasificar el Factor de Vulnerabilidad definido en el Capítulo II (Metodología), para ello se consideraron los criterios allí mencionados. Esta clasificación será la misma para todas las sustancias debido que se encuentran en el mismo almacén y bajo las mismas condiciones. Esta dependencia se encuentra parcialmente protegida porque a pesar que cuenta con todos los recursos para la prevención y atención de emergencias; la frecuencia de uso de estas sustancias es muy alta y además tienen un gran número de personas laborando; por tanto, la dependencia se hace más expuesta. En el caso de la frecuencia con la que ha ocurrido este tipo de accidentes (incendio), según los datos proporcionados por el personal de la dependencia encuestada, es baja, debido que al menos en 5 años no ha ocurrido.

La metodología utilizada arrojó que hay un riesgo de nivel Alto asociado al manejo del éter etílico, seguido del etanol, dado por su temperatura de inflamación, porque si hacemos una comparación con la acetona, tiene la misma clasificación de NFPA, concentración y volumen. Su diferencia es en el punto de ebullición que es de unos pocos grados. La temperatura del metanol (12°C) es más fácil de alcanzar que la de la acetona (-18°C). Este es el factor determinante para el nivel de riesgo que se observa: Riesgo Medio por el metanol y Riesgo Bajo por la acetona.

La exposición a las restantes sustancias condiciona la existencia de un nivel de Riesgo Muy Bajo, dado por sus características físico-químicas principalmente.

Tabla 3.2 Resultados para el Caso 1, ante la amenaza Incendio.

| Amenaza: Incendio | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------|---------------|------------------|--------------------------|---------------------------------|-----------|---|---|---|---|---|-----------------------|
| Sustancia | Nivel de Riesgo | Concentración | Volumen (litros) | Punto de ebullición (°C) | Temperatura de inflamación (°C) | Criterios | | | | | | Expectativa de Riesgo |
| | | | | | | F | S | P | E | A | V | |
| Acetato de Etilo | 3 | RA | 4 | 77 | -4°C | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 78 |
| Acetona | 3 | RA | 8 | 56.5 | -18 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 126 |
| Benceno | 3 | RA | - | 80.1 | -11 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 90 |
| Etanol | 3 | RA | 4 | 78.3 | 12 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 60 |
| Éter etílico | 4 | RA | 12 | 34.6 | -45 | 5 | 4 | 5 | 4 | 2 | 3 | 240 |

| Amenaza: Incendio | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------|---------------|------------------|--------------------------|---------------------------------|-----------|---|---|---|---|---|-----------------------|
| Sustancia | Nivel de Riesgo | Concentración | Volumen (litros) | Punto de ebullición (°C) | Temperatura de inflamación (°C) | Criterios | | | | | | Expectativa de Riesgo |
| | | | | | | F | S | P | E | A | V | |
| Hexano | 3 | RA | 4 | 69 | -21.7 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 72 |
| Metanol | 3 | RA | 8 | 64.7 | 12 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 150 |
| Tolueno | 3 | RA | 4 | 111 | 4 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 72 |

3.1.2 Caso 2: Instituto de Investigaciones de Materiales (IIM)

Este caso en particular se trata de un instituto de investigación, en el cual, como dice su nombre las actividades que se desarrollan precisamente es investigación. Esto significa que los volúmenes que se manejan en este lugar son mayores a los anteriores, esto se observa en la Tabla 3.4. La frecuencia de accidentes que corresponde al criterio de agresión, mostrado en la tabla, fue basado en la experiencia del personal del lugar, para la acetona, hexano, éter etílico y metanol, han ocurrido incendios de baja magnitud aproximadamente 1 cada año; el uso y manejo del resto de las sustancias no han ocurrido accidentes en un período menor de 5 años.

A continuación, se muestra en la Tabla 3.3 las sustancias almacenadas en este lugar, y su clasificación según la norma NFPA. Como se puede observar hay 10 sustancias con una clasificación de 3 que están sombreadas en gris claro y solo una con clasificación 4 sombreada con gris oscuro. La cual coincide con el caso anterior, lo que nos lleva a suponer que los resultados serán similares.

Tabla 3.3 Clasificación de las sustancias según la NFPA.

| Sustancias | Salud | Incendio | Reactividad |
|----------------------|-------|----------|-------------|
| Acetato de Etilo | 1 | 3 | 0 |
| Acetona | 1 | 3 | 0 |
| Ácido fórmico | 3 | 2 | 0 |
| Ácido Sulfúrico | 4 | 0 | 2 |
| Alcohol isopropílico | 3 | 3 | 0 |
| Alcohol propargílico | - | 3 | 3 |

| Sustancias | Salud | Incendio | Reactividad |
|-------------------|-------|----------|-------------|
| Anhídrico acético | 3 | 2 | 1 |
| Benceno | 4 | 3 | 0 |
| Cloroformo | 4 | 0 | 0 |
| Diclorometano | 2 | 1 | 0 |
| Dioxano | 2 | 3 | 1 |
| Drierite | 2 | 0 | 0 |
| Etanol absoluto | 4 | 3 | 0 |
| Éter de petróleo | 1 | 2 | 0 |
| Éter etílico | 3 | 4 | 1 |
| Hexano | 3 | 3 | 0 |
| Metanol | 4 | 3 | 0 |
| Tolueno | 3 | 3 | 0 |

Se analiza de la Tabla 3.4 de resultados que el nivel más alto de riesgo está dado por el uso del metanol en las diferentes actividades docentes e investigativas, con una puntuación de 243 (en el nivel de Riesgo Alto), y luego se encuentran con una puntuación más baja, pero en el mismo nivel, el riesgo por el manejo de las sustancias éter etílico y hexano.

Antes de continuar con los resultados, es necesario definir la clasificación del Factor de Vulnerabilidad de esta dependencia. Teniendo en cuenta las condiciones donde se almacenan dichas sustancias, podemos darle una puntuación de 3 (Mal Protegido), debido que estas sustancias analizadas se encuentran resguardadas en un almacén de forma inapropiada. Lo cual, no cumple con las normas ni requerimientos establecidos. A pesar de esto, cuentan con los recursos físicos para la prevención de accidentes.

La diferencia de la puntuación (en el mismo nivel de riesgo) está dada por varias razones: la misma concentración, mismo volumen y puntos de ebullición no tan distantes, el contraste radica

en la temperatura de inflamabilidad. Es más probable que el metanol llegue a 12°C (teniendo en cuenta las temperaturas promedio de Ciudad de México) a que el hexano llegue -21.7°C esta es la razón principal.

Ahora pasamos a analizar el éter etílico y el hexano, a pesar que el éter etílico posee una clasificación de 4 (NFPA) y el hexano 3, se compensa en el volumen que maneja. El hexano se maneja 5 veces más volumen que del éter etílico, por lo que es lógico que ambos estén en la misma clasificación del nivel de riesgo. Posteriormente, se identifica un Riesgo Medio por la acetona, debido a sus características físico-químicas y a la frecuencia con la que la utilizan que es mucho menor.

Tabla 3.4 Resultados para el Caso 2, ante la amenaza Incendio.

| Amenaza: Incendio | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|---------------|---------------|------------------|--------------------------|---------------------------------|-----------|---|---|---|---|---|-----------------------|
| Sustancia | NFPA Incendio | Concentración | Volumen (litros) | Punto de ebullición (°C) | Temperatura de inflamación (°C) | Criterios | | | | | | Expectativa de Riesgo |
| | | | | | | F | S | P | E | A | V | |
| Acetato de etilo | 3 | RA | 20 | 77 | -4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 126 |
| Acetona | 3 | RA | 20 | 56.5 | -18 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 189 |
| Ácido fórmico | 2 | RA | 1 | 101 | 69 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 12 |
| Alcohol isopropílico | 3 | RA | 4 | 83 | 18,3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 60 |
| Alcohol propargílico | 3 | RA | 1 | 115 | 36 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 36 |
| Anhídrico acético | 3 | RA | 1 | 139 | 49 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 36 |
| Benceno | 3 | RA | 8 | 80.1 | -11 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 90 |
| Dioxano | 3 | RA | 2 | 101 | 12 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 18 |
| Etanol | 3 | RA | 3 | 78.3 | 12 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 60 |
| Éter de petróleo | 2 | RA | 4 | 190 | 62 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 48 |
| Éter etílico | 4 | RA | 4 | 34.6 | -45 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 216 |
| Hexano | 3 | RA | 20 | 69 | -21.7 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 216 |
| Metanol | 3 | RA | 20 | 64.7 | 12 | 4 | 3 | 5 | 4 | 3 | 3 | 243 |

| Amenaza: Incendio | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|---------------|---------------|------------------|--------------------------|---------------------------------|-----------|---|---|---|---|---|-----------------------|
| Sustancia | NFPA Incendio | Concentración | Volumen (litros) | Punto de ebullición (°C) | Temperatura de inflamación (°C) | Criterios | | | | | | Expectativa de Riesgo |
| | | | | | | F | S | P | E | A | V | |
| P-dioxano | 3 | RA | 0.5 | 101 | 12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 6 |
| Tolueno | 3 | RA | 4 | 111 | 4 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 72 |

3.1.3 Caso 3: Instituto de Química (IQ)

Este caso de estudio su actividad fundamental también es la investigación aunque sus investigaciones son a mayor escala, por lo tanto los volúmenes serán muchos mayores que en los sitios de interés anteriores. Como ya se conoce lo primero que se hace es clasificar las sustancias según la norma de NFPA, donde podemos observar que existen seis sustancias con una clasificación de 3 en gris claro. Para evaluar el criterio de agresión, se preguntó al personal que nos proporcionaron los datos, la frecuencia con la que ha ocurrido algún incendio por el uso y manejo de las sustancias en cuestión, referenciando que hay accidentes de esta índole, 1 cada 3 años aproximadamente.

Tabla 3.5 Clasificación de las sustancias según la NFPA.

| Sustancias | Salud | Incendio | Reactividad |
|------------------|-------|----------|-------------|
| Acetato de Etilo | 1 | 3 | 0 |
| Acetona | 1 | 3 | 0 |
| Cloroformo | 4 | 0 | 0 |
| Diclorometano | 2 | 1 | 0 |
| Etanol | 4 | 3 | 0 |
| Heptano | 1 | 3 | 0 |
| Hexano | 3 | 3 | 0 |
| Metanol | 4 | 3 | 0 |

Una vez que obtenemos los resultados (Tabla 3.6), basándonos en la metodología, se tiene que existe un nivel de riesgo alto asociado a la manipulación de la acetona, que está dado primero por el volumen que se maneja y por el punto de ebullición que al ser más bajo que los demás tiene más probabilidad que se llegue a esa temperatura, y por tanto la probabilidad de que ocurra un incendio. Le sigue la existencia de un nivel de Riesgo Medio por el acetato de etilo, el etanol y el hexano, las tres manejan similares volúmenes y puntos de ebullición. El acetato de etilo varía en la temperatura de inflamabilidad, que está en un orden menor.

Tabla 3.6 Resultados para el Caso 3, ante la amenaza Incendio

| Amenaza: Incendio | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|---------------|---------------|------------------|--------------------------|---------------------------------|-----------|---|---|---|---|---|-----------------------|
| Sustancia | NFPA Incendio | Concentración | Volumen (litros) | Punto de ebullición (°C) | Temperatura de inflamación (°C) | Criterios | | | | | | Expectativa de Riesgo |
| | | | | | | F | S | P | E | A | V | |
| Acetato de etilo | 3 | RA | 140 | 77 | -4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 2 | 3 | 168 |
| Acetona | 3 | RA | 200 | 56.5 | -18 | 5 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 216 |
| Etanol | 3 | RA | 160 | 78.3 | 12 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 192 |
| Heptano | 3 | RA | 140 | 98 | -1 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 150 |
| Hexano | 3 | RA | 200 | 69 | -21.7 | 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 192 |
| Metanol | 3 | RA | 80 | 64.7 | 12 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 126 |

3.1.4 Caso 4: Dirección General de Servicios Generales (DGSG)

Este caso es una dependencia de servicio, por tanto sólo posee una sustancia de interés para esta investigación, con la característica que su clasificación según la NFPA, es 0. Por tanto, como observamos en la Tabla 3.7, el empleo de esta sustancia tiene asociado un nivel de Riesgo Medio, de acuerdo a la metodología utilizada. Esto está dado principalmente por el volumen que manejan y las condiciones de explotación, su clasificación de vulnerabilidad es 4 porque las condiciones hace que sea una instalación bien protegida, además que no ha ocurrido ningún tipo de accidentes de esta índole. Primero, que es un combustible y además este tanque no tiene un muro de contención ante un posible derrame por lo que ante un incendio puede resultar un escenario fatal.

Tabla 3.7 Resultados para el Caso 4, ante la amenaza Incendio

| | | | |
|-------------------|--------------|-----------------|--------------------|
| Sustancias | Salud | Incendio | Reactividad |
|-------------------|--------------|-----------------|--------------------|

| Biodiesel B-5 BRV | | | 0 | 0 | 1 | | | | | | | |
|--------------------------|---------------|---------------|------------------|--------------------------|---------------------------------|-----------|---|---|---|---|---|-----------------------|
| Amenaza: Incendio | | | | | | | | | | | | |
| Sustancia | NFPA Incendio | Concentración | Volumen (litros) | Punto de ebullición (°C) | Temperatura de inflamación (°C) | Criterios | | | | | | Expectativa de Riesgo |
| | | | | | | F | S | P | E | A | V | |
| Biodiesel B-5 BRV | 0 | RA | 26 000 | 204 a 1760 mm Hg | >51.67°C | 5 | 4 | 5 | 5 | 1 | 4 | 180 |

3.2 Amenaza: Explosión

3.2.1 Caso 1: Facultad de Química (FQ)

Como ya se mencionó, existen ocho sustancias en estudio para este caso, con volúmenes bajos y la misma concentración. Además, se muestra la temperatura de autoignición y el límite de explosividad. Para evaluar el criterio de agresión (frecuencia con la que ha ocurrido este tipo de accidentes) se consultó con el personal, ellos comentan que se puede dar una explosión, de mínimo alcance (1 metro de diámetro), 1 vez cada 5 años, por lo que la clasificación es de 2.

Analizando los resultados que se muestran en la Tabla 3.8 y teniendo en cuenta que el nivel de vulnerabilidad es el mismo que en la sección anterior porque se trata de la misma dependencia, el manejo las sustancias del hexano, metanol y el éter etílico exponen a la dependencia condicionando su nivel de riesgo Alto, a pesar de tener diferentes puntuaciones caen en el mismo rango de riesgo definido en la metodología. Como se observa, la sustancia con mayor puntaje es el éter etílico el cual se obtiene por su clasificación según la NFPA y porque se almacena en mayor volumen que las demás. Su temperatura de autoignición además es baja y más fácil de alcanzar. Por esta razón, en el factor de extensión de la metodología tiene el puntaje de 5. Razones por las cuales la dependencia tienen mayor potencial de riesgo y considerando la escala, casi clasifica en el nivel de riesgo Muy Alto (>250) dado por las sustancias analizadas.

La FQ posee un nivel de riesgo Medio por la acetona, etanol y tolueno. Las cuales tienen la característica fundamental que poseen temperaturas de autoignición más altas y su intervalo de límite de explosividad es más reducido. Esto trae como consecuencia que los factores de función sean más bajos porque alteran en menor cuantía la actividad institucional.

Solo quedan exentos de un riesgo considerable para la FQ por exposición, la utilización del acetato de etilo, el amoníaco y el benceno, para las diferentes actividades que se realizan. Está dado principalmente por su volumen y por tanto el criterio para darle puntuación a los diferentes factores de la metodología es menor.

Tabla 3.8 Resultados para el Caso 1, ante la amenaza Explosión

| Amenaza: Explosión | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|---------------|------------------|----------------------------------|----------------------------|----------|---|---|---|---|---|-----------------------|
| Sustancia | NFPA Incendio | Concentración | Volumen (litros) | Temperatura de autoignición (°C) | Límite de explosividad (%) | Factores | | | | | | Expectativa de Riesgo |
| | | | | | | F | S | P | E | A | V | |
| Acetato de Etilo | 3 | RA | 4 | 426 | 2-11.5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 144 |
| Amoníaco | | RA | | 651 | 16-25 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 102 |
| Acetona | 3 | RA | 8 | 538 | 2.6-12.8 | 3 | 5 | 4 | 4 | 2 | 3 | 186 |
| Benceno | 3 | RA | - | 560 | 1.3-7.9 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 108 |
| Etanol | 3 | RA | 4 | 363 | 3.3-19 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 150 |
| Éter etílico | 4 | RA | 12 | 160 | 1.85-36.5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 2 | 3 | 246 |
| Hexano | 3 | RA | 4 | 223 | 1.2-7.7 | 4 | 4 | 5 | 4 | 2 | 3 | 210 |
| Metanol | 3 | RA | 8 | 380 | 6-36.5 | 3 | 5 | 4 | 5 | 2 | 3 | 216 |
| Tolueno | 3 | RA | 4 | 530-600 | 1.27-7 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 168 |

3.2.2 Caso 2: Instituto de Ciencias de Investigaciones de Materiales (IIM)

El caso de estudio ante la amenaza explosión se muestra en la Tabla 3.9. Existe nivel de riesgo Alto asociado al uso y manejo de una sustancia, Medio por cuatro sustancias, Bajo por dos sustancias y Muy Bajo por ocho sustancias.

La exposición a la sustancia peligrosa, hexano, condiciona la presencia un riesgo Alto en el IIM, lo cual se debe principalmente por el volumen que se almacena, y sus propiedades. El acetato de etilo, acetona y metanol por su parte, tienen la misma clasificación NFPA, la misma concentración y el mismo volumen por lo que poseen propiedades similares. El éter etílico, posee un nivel de clasificación según la NFPA de 4, teniendo un volumen de 4 litros, pero su temperatura de autoignición es bastante bajo, por lo que esto hace que sea más probable que la afectación institucional sea mayor y por tanto, la sustitución de los bienes afectados. Esto significa que se le dio un puntaje mayor (4) a los Factores de Función y Sustitución en la metodología. Para el criterio de agresión, el personal de la dependencia manifiestan que un accidente de esta índole es en dependencia de las sustancia que se maneje, para el caso de la sustancia éter etílico el nivel de frecuencia es mayor, 1 cada semestre, teniendo en cuenta las características de esta, y para la acetona, hexano y metanol, se estima que la frecuencia sea de 1 cada año, por ello es el puntaje para el criterio de agresión.

Se determinó un riesgo bajo dado por el manejo benceno y el éter de petróleo, los cuales poseen volúmenes bajos y temperaturas de autoignición muy altos. Igualmente ocurre con el ácido fórmico, alcohol propargílico y anhídrico acético que almacenan 1 litro, el dioxano con 2 litros, el etanol con 3 litros, alcohol isopropílico y el tolueno con 4 litros; esto unido con el nivel de exposición, dado por la ubicación, las actividades que se desarrollan y los recursos físicos con los que cuentan en la dependencia, entre otros, existe un riesgo Muy Bajo.

Tabla 3.9 Resultados para el Caso 2, ante la amenaza Explosión.

| Amenaza: Explosión | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------------|---------------|------------------|----------------------------------|----------------------------|----------|---|---|---|---|---|-----------------------|
| Sustancia | Nivel de Riesgo | Concentración | Volumen (litros) | Temperatura de autoignición (°C) | Límite de explosividad (%) | Factores | | | | | | Expectativa de Riesgo |
| | | | | | | F | S | P | E | A | V | |
| Acetato de etilo | 3 | RA | 20 | 427 | 2.2-11.5 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 189 |
| Acetona | 3 | RA | 20 | 538 | 2.6-12.8 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 162 |
| Ácido fórmico | 2 | RA | 1 | 520 | 18-51 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 6 |
| Alcohol isopropílico | 3 | RA | 4 | 399 | 2-12.7 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 78 |

| Amenaza: Explosión | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------------|---------------|------------------|----------------------------------|----------------------------|----------|---|---|---|---|---|-----------------------|
| Sustancia | Nivel de Riesgo | Concentración | Volumen (litros) | Temperatura de autoignición (°C) | Límite de explosividad (%) | Factores | | | | | | Expectativa de Riesgo |
| | | | | | | F | S | P | E | A | V | |
| Alcohol propargílico | 3 | RA | 1 | 422 | 3.3-19 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 18 |
| Anhídrico acético | 3 | RA | 1 | 316 | 2.7-10.3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 36 |
| Benceno | 3 | RA | 8 | 560 | 1.3-7.9 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 108 |
| Dioxano | 3 | RA | 2 | 180 | 2-22 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 30 |
| Etanol | 3 | RA | 3 | 793 | 3.3-19 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 78 |
| Éter de petróleo | 2 | RA | 4 | 240 | 1-7.4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 108 |
| Éter etílico | 4 | RA | 4 | 160 | 1.85-36.5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 168 |
| Hexano | 3 | RA | 20 | 223 | 1.2-7.7 | 4 | 5 | 5 | 4 | 2 | 3 | 240 |
| Metanol | 3 | RA | 20 | 385 | 6-36 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 192 |
| Tolueno | 3 | RA | 4 | 530 | 1.27-7 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 48 |

3.2.3 Caso 3: Instituto de Química (IQ)

Este es el caso más crítico que existe en esta investigación debido a los grandes volúmenes que maneja. Su nivel de riesgo según el NFPA es igual para las sustancias en cuestión, al igual que su concentración. Analizando la frecuencia con que ocurre este tipo de Los resultados arrojados se muestran en la Tabla 3.10 demostrando que existe en este sitio un Riesgo Muy Alto por el uso del hexano y riesgo Bajo por el acetato de etilo y acetona. Se evaluaron todos los factores de la metodología, clasificando cada uno según los criterios definidos, para el caso del factor de agresión se tomaron las frecuencias definidas por el personal entrevistado para los datos de esta investigación. En esta dependencia, existe un accidente de esta índole cada 5 años, teniendo en cuenta el registro histórico que se lleva. Para el caso del hexano, etanol y metanol, la frecuencia de ocurrencia es más amplia, por lo menos 1 cada 5 años.

Comencemos por el resultados que indican un Nivel de Riesgo Muy Alto para la dependencia, dado por la exposición al hexano, se manejan 200 l, el mayor volumen y unido a ello, una temperatura de autoignición de 223°C lo suficientemente baja, comparando con las demás.

A continuación se encuentra expuesto el IIM con un nivel de Riesgo Alto, por el uso del etanol y el heptano. Ambas contienen un volumen alto y además, su temperatura de autoignición está en un rango de 200-300°C, por lo que hace que estas sustancias sean potencialmente peligrosas. Su límite de explosividad, además, se encuentra en el mismo rango. La existencia de las sustancias de acetato de etilo y la acetona, condiciona la existencia de un nivel de riesgo Medio en los laboratorios. Estas tienen el mismo rango de volumen, pero su temperatura de autoignición son altas, en el orden de los 400-500°C. Estas temperaturas tan altas hacen que sea más difícil que arda espontáneamente y que llegue a una explosión.

En la lista de sustancias que maneja este sitio de interés, la única que implica un riesgo (Bajo) asociado por su manejo es el metanol, principalmente, porque es la que se almacena en menor cantidad, y por ello su factor de función (Metodología Mosler) es 3, porque no va afectar en gran medida la actividad institucional.

Tabla 3.10 Resultados para el Caso 3, ante la amenaza Explosión.

| Amenaza: Explosión | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------------|---------------|------------------|----------------------------------|----------------------------|----------|---|---|---|---|---|-----------------------|
| Sustancia | Nivel de Riesgo | Concentración | Volumen (litros) | Temperatura de autoignición (°C) | Límite de explosividad (%) | Factores | | | | | | Expectativa de Riesgo |
| | | | | | | F | S | P | E | A | V | |
| Acetato de etilo | 3 | RA | 140 | 426 | 2-11.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 192 |
| Acetona | 3 | RA | 200 | 538 | 2.6-12.8 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 192 |
| Etanol | 3 | RA | 160 | 363 | 3.3-19 | 4 | 4 | 4 | 5 | 3 | 4 | 240 |
| Hexano | 3 | RA | 200 | 223 | 1.2-7.7 | 5 | 4 | 5 | 5 | 2 | 4 | 270 |
| Heptano | 3 | RA | 140 | 215 | 1.1-6.7 | 5 | 4 | 5 | 5 | 3 | 4 | 246 |
| Metanol | 3 | RA | 80 | 380 | 6-36.5 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 126 |

3.2.4 Caso 4: Dirección General de Servicios Generales (DGSG)

Para este caso, que la única sustancia es el Biodiesel, no se encontró su temperatura de autoignición, pero según las opiniones de los expertos es una temperatura muy alta, lo que hace que sea difícil que la alcance y que ocurra esta explosión. Sin embargo, teniendo en cuenta el volumen que allí se almacena y el manejo que tiene, se determinó que puede alterar la actividad institucional hasta casi un mes, y además, que la sustitución de los bienes y materiales sería muy

difícil. A pesar de esto, cuando se implementa la metodología indicando el puntaje de cada factor que interviene en la metodología, incluyendo el criterio de agresión (frecuencia con la que pasa este tipo de accidentes) clasificado en 1 porque nunca ha sucedido; arroja que tiene un nivel de riesgo Bajo esta dependencia de servicios por la sustancia con potencial de peligro que maneja.

Tabla 3.11 Resultados para el Caso 4, ante la amenaza Explosión

| Sustancias | | | Salud | Incendio | Reactividad | | | | | | | |
|----------------------|------------------|---------------|---------------------|---|----------------------------------|----------|---|---|---|---|---|--------------------------|
| Biodiesel B-5 BRV | | | 0 | 0 | 1 | | | | | | | |
| Amenaza: Explosión | | | | | | | | | | | | |
| Sustancia | NFPA Incendio | Concentración | Volumen (litros) | Temperatura de autoignición (°C) | Límite de explosividad (%) | Factores | | | | | | Expectativa de Riesgo |
| | | | | | | F | S | P | E | A | V | |
| Biodiesel B-5 BRV | 0 | RA | 26 000 | - | - | 4 | 4 | 4 | 4 | 1 | 4 | 128 |

3.3 Amenaza: Derrame

3.3.1 Caso 1: Facultad de Química (FQ)

Como hemos mencionado anteriormente, este es un sitio que se dedica a la docencia, por lo tanto, los experimentos han sido minimizados tanto que las cantidades almacenadas son muy bajas. Lo que quiere decir que su factor de función no será tan alto. Para analizar la frecuencia, se entrevistó al personal de esta dependencia. Los cuales comentan que este tipo de accidentes ocurren aproximadamente cada cinco años sin mayor trascendencia.

Las condiciones de almacenamiento son adecuadas, aunque no cumplen con algunas de las precauciones anteriormente señaladas, como son:

- ✓ El piso debe ser resistente a las sustancias que se van a almacenar
- ✓ Las zonas de almacenamiento de sustancias químicas deben estar en lugares frescos, lejos de cualquier fuente de calor excesivo o ignición. Deben mantenerse limpias y secas, con ventilación adecuada que evite acumulación de vapores.

Tabla 3.12 Resultados para el Caso 1, ante la amenaza Derrames

| Amenaza: Derrames | | | | | | | | | | | |
|-------------------|---------------|------------------|-------------|-----------|----------|---|---|---|---|---|-----------------------|
| Sustancia | Concentración | Volumen (litros) | NFPA | | Factores | | | | | | Expectativa de Riesgo |
| | | | Reactividad | Incendios | F | S | P | E | A | V | |
| | | | | | | | | | | | |
| Acetato de Etilo | RA | 4 | 0 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 60 |
| Acetona | RA | 8 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 90 |
| Benceno | RA | - | 0 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 60 |
| Etanol | RA | 4 | 0 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 60 |
| Éter etílico | RA | 12 | 1 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 108 |
| Hexano | RA | 4 | 0 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 60 |
| Metanol | RA | 8 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 90 |
| Tolueno | RA | 4 | 0 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 60 |

Como se observa en la tabla anterior, el mayor nivel de riesgo está dado por el éter etílico, Riesgo Bajo, la exposición a las demás condiciona un nivel de Riesgo Muy Bajo. Este resultado se debe principalmente por el volumen que se maneja.

3.3.2 Caso 2: Instituto de Ciencias de Investigaciones de Materiales (IIM)

Este caso es de los más críticos, debido a las condiciones de almacenamiento que se mencionó para el IIM en la sección anterior, teniendo más peso ante un derrame. Para clasificar el factor de agresión para esta dependencia y bajo las condiciones de almacenamiento mencionadas, el personal entrevistado mencionó que este tipo de accidentes ocurre cada cinco años aproximadamente; sin mucho alcance.

Los riesgos asociados con el uso de una de las cuatro sustancias analizadas (acetato de etilo, acetona, hexano y metanol) es Riesgo Medio, con una puntuación muy alta. Tiene la entidad un nivel de Riesgo Muy Bajo por el resto de las sustancias que se muestra en la Tabla 3.13, y esta diferencia está dada por el volumen principalmente, porque la frecuencia con la que ocurren y sus condiciones de almacenamiento son las mismas. Las variaciones que existen en la misma

clasificación de nivel de riesgo arrojado por la metodología son debido a su clasificación de la NFPA ante incendios y su reactividad.

Tabla 3.13 Resultados para el Caso 2, ante la amenaza Derrames.

| Amenaza: Derrames | | | | | | | | | | | |
|----------------------|---------------|------------------|----------|-------------|----------|---|---|---|---|---|-----------------------|
| Sustancia | Concentración | Volumen (litros) | NFPA | | Factores | | | | | | Expectativa de Riesgo |
| | | | Incendio | Reactividad | F | S | P | E | A | V | |
| | | | | | | | | | | | |
| Acetato de etilo | RA | 20 | 3 | 0 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 192 |
| Acetona | RA | 20 | 3 | 0 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 192 |
| Ácido fórmico | RA | 1 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 36 |
| Alcohol isopropílico | RA | 4 | 3 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 48 |
| Alcohol propargílico | RA | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 60 |
| Anhídrico acético | RA | 1 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 48 |
| Benceno | RA | 8 | 3 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 108 |
| Dioxano | RA | 2 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 90 |
| Etanol | RA | 3 | 3 | 0 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 60 |
| Éter de petróleo | RA | 4 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 48 |
| Hexano | RA | 20 | 3 | 0 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 192 |
| Metanol | RA | 20 | 3 | 0 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 192 |
| Tolueno | RA | 4 | 3 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 48 |

3.3.3 Caso 3: Instituto de Química (IQ)

Analizando los resultados que se muestran en la Tabla 3.14, se puede ver que es de los casos más críticos, debido que existen dos sustancias que, teniendo en cuenta la vulnerabilidad de la dependencia evaluado entre los factores de la metodología y valorando el factor de agresión teniendo en cuenta las declaraciones hechas por el personal de la dependencia, este tipo de accidentes ocurren cada 5 años. Todo ello proporciona un nivel de Riesgo Muy Alto, por lo que es necesario que se tomen medidas preventivas para minimizarlo. La exposición a la mitad de las sustancias analizadas establece un Riesgo Medio, igualmente por el volumen que se maneja. Solo

hay un nivel de riesgo Bajo por el metanol, resultado que dependió del volumen que se maneja en la dependencia.

Tabla 3.14 Resultados para el Caso 3, ante la amenaza Derrames.

| Amenaza: Derrames | | | | | | | | | | | |
|-------------------|---------------|------------------|----------|-------------|----------|---|---|---|---|---|-----------------------|
| Sustancia | Concentración | Volumen (litros) | NFPA | | Factores | | | | | | Expectativa de Riesgo |
| | | | Incendio | Reactividad | F | S | P | E | A | V | |
| | | | | | | | | | | | |
| Acetato de etilo | RA | 140 | 3 | 0 | 4 | 3 | 5 | 4 | 2 | 3 | 192 |
| Acetona | RA | 200 | 3 | 0 | 5 | 4 | 5 | 5 | 2 | 3 | 270 |
| Etanol | RA | 160 | 3 | 0 | 4 | 3 | 5 | 4 | 2 | 3 | 192 |
| Hexano | RA | 200 | 3 | 0 | 5 | 4 | 5 | 5 | 2 | 3 | 270 |
| Heptano | RA | 140 | 3 | 0 | 4 | 3 | 5 | 4 | 2 | 3 | 192 |
| Metanol | RA | 80 | 3 | 0 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 3 | 126 |

3.3.4 Caso 4: Dirección General de Servicios Generales (DGSG)

Un derrame de Biodiesel en esta dependencia afectaría a gran parte de la UNAM como se muestra en la Tabla 3.15, sin contar que puede desencadenar otro accidente a causa de este. El factor de agresión, teniendo en cuenta la experiencia del personal entrevistado, es de 2, porque este tipo de accidentes ocurre cada 5 años aproximadamente. Todo esto desencadena el Riesgo Muy Alto que significa el uso y maneja de esta sustancia, dada principalmente por el volumen y, la falta de protección y condiciones de almacenamiento que tiene esta sustancia. Por ejemplo, no posee un muro de contención ante un accidente de esta índole y tampoco un sistema de recolección o drenaje.

Tabla 3.15 Resultados para el Caso 4, ante la amenaza Derrames.

| Amenaza: Derrames | | | | | | | | | | | |
|-------------------|---------------|------------------|----------|-------------|----------|---|---|---|---|---|-----------------------|
| Sustancia | Concentración | Volumen (litros) | NFPA | | Factores | | | | | | Expectativa de Riesgo |
| | | | Incendio | Reactividad | F | S | P | E | A | V | |
| | | | | | | | | | | | |
| Biodiesel B-5 BRV | RA | 26 000 | 0 | 1 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 256 |

3.4 Mapas de Zonas de Exposición

A continuación se presentan los diferentes mapas de zonas de exposición para los diferentes sitios de interés de este estudio. La ubicación de ellos se observa en la Figura 3.1. Se identifican con sus siglas Facultad de Química (FQ), Instituto de Química (IQ), Instituto de Investigación de los Materiales (IIM) y Dirección General de Servicios Generales (DGSG).

Sitios de Estudio

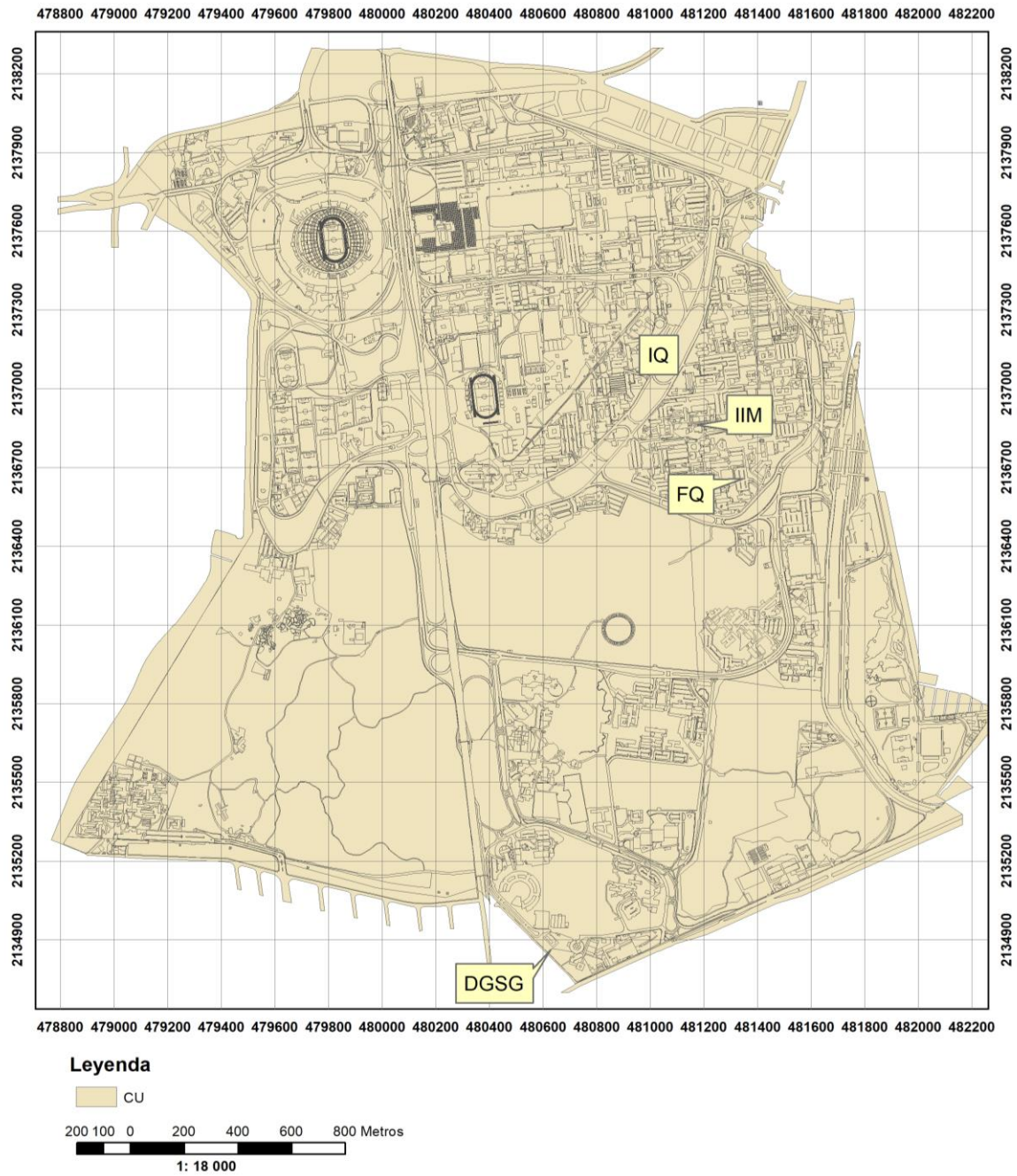


Figura 3.1 Mapa de la ubicación de los sitios de interés.

3.4.1 Caso 1: Facultad de Química (FQ)

En la Figura 3.2, se despliega el mapa que representa las diferentes zonas de exposición para las sustancias estudiadas en esta dependencia, considerando el nivel de peligro de cada una de ellas para los Edificios D y E de la Facultad de Química (FQ), señalados en el mapa con color blanco. Estas zonas, representan las áreas que se pueden ver afectadas, y se observa que están concentrados en la zona de Institutos y Facultades indicada en la figura. Las zonas están clasificadas en tres colores: Rojo, zona de exposición alta; Naranja, zona de exposición media y Verde, zona de exposición baja.

En la zona roja, se ubican todos aquellos edificios que están expuestos a las sustancias que poseen un potencial de peligro (Ver tabla 3.1). Aunque el manejo de dichas sustancias tengan un nivel de Riesgo Muy Bajo o Bajo, pueden llegar afectar a esta primera área de impacto. En el caso de la zona naranja, es la zona que se puede ver afectada por nivel de Riesgo Medio.

En caso de ocurrir un accidente, este podría afectar a la zona sombreada en rojo y en menor medida afectar a la zona naranja. El manejo de las sustancias, que arrojaron un resultado de Riesgo Alto y Muy Alto, pueden tener un alcance mayor, hasta la delimitada por la zona verde. Es decir, afectará en primera instancia y con mayor fuerza a la zona roja, luego a la naranja y, en el peor de los escenarios a la zona verde.

Como ejemplo, en caso que ocurriera una explosión por el riesgo asociado al uso de la sustancia acetona (Nivel de Riesgo Medio), en el peor de los escenarios, puede llegar afectar hasta la zona delimitada con color naranja (400 metros), afectando a dependencias que manejan sustancias peligrosas (Facultad de Ciencias, Facultad de Medicina, Instituto de Ciencias Nucleares, Instituto de Física, Instituto de Química, entre otros). En caso de incendio, dado por el éter etílico, puede llegar afectar hasta 600 metros alrededor de la zona (área verde) existiendo también la probabilidad que afecte a la Facultad de Ciencias, la Facultad de Ingeniería, la Facultad de Medicina, la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, el Instituto de Ciencias Nucleares, el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, el Instituto de Física, el Instituto de Química, entre otros. Afectará con mayor intensidad a los primeros 200 metros (zona roja), luego a los siguientes 400 metros (zona naranja) y luego a la zona verde.

Es importante mencionar que en estas zonas expuestas se encuentran otros Institutos, Facultades u otras dependencias que también manejan sustancias peligrosas aunque en menor volumen. Sin embargo, se podría conducir una reacción en cadena. Ejemplo de ello, es que en la zona roja se encuentra el Instituto de Física y la Facultad de Ciencias, donde se manejan sustancias de investigación potencialmente peligrosas. En el área delimitada por color naranja, se encuentra el Instituto de Química y el Instituto de Investigaciones de Materiales, por lo que se hace importante tenerlos en cuenta para la toma de medidas preventivas y de emergencia.

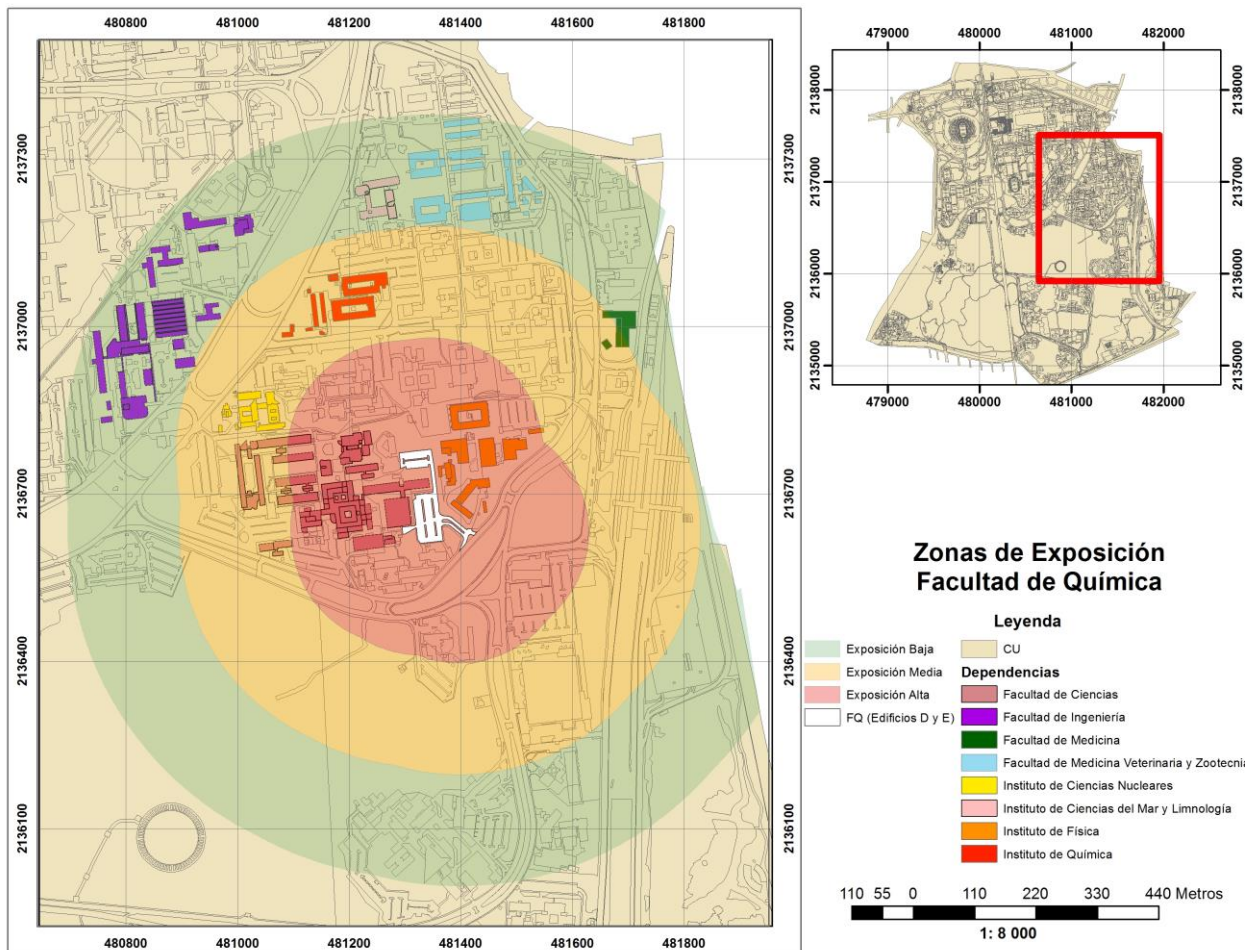


Figura 3.2 Mapa de Zonas de Exposición para el Caso 1.

3.4.2 Caso 2: Instituto de Investigaciones de Materiales (IIM)

El mapa que se muestra en la Figura 3.3, representa las zonas de exposición para las sustancias analizadas para el Instituto de Investigaciones de los Materiales (IIM), específicamente el Edificio E, señalado en blanco, de donde se tomaron los datos. Dichas zonas muestran los lugares

que se podrían ver afectados, en caso del peor escenario de algunos de los accidentes mencionados en este estudio. Igualmente al caso anterior, están marcados por tres colores, rojo (para todas aquellas sustancias que poseen un potencial de peligro); naranja (para las sustancias que poseen potencial de peligro mayor, esta será su área de afectación máxima) y verde (es el área de afectación máxima para aquellas sustancias que tienen un potencial de peligro bastante alto).

En la zona roja (Exposición Alta), se encuentran dependencias de gran interés y que, además, manejan sustancias con un potencial de peligro alto. Ejemplo de ello es el Instituto de Química, la Facultad de Ciencias y el Instituto de Ciencias Nucleares. Además, en la zona naranja se encuentra el Instituto de Física, la Facultad de Química, parte de la Facultad de Ciencias y la Facultad de Ingeniería. Un poco más alejado, pero que también puede llegar a sufrir consecuencias, se encuentra el Instituto de Ingeniería.

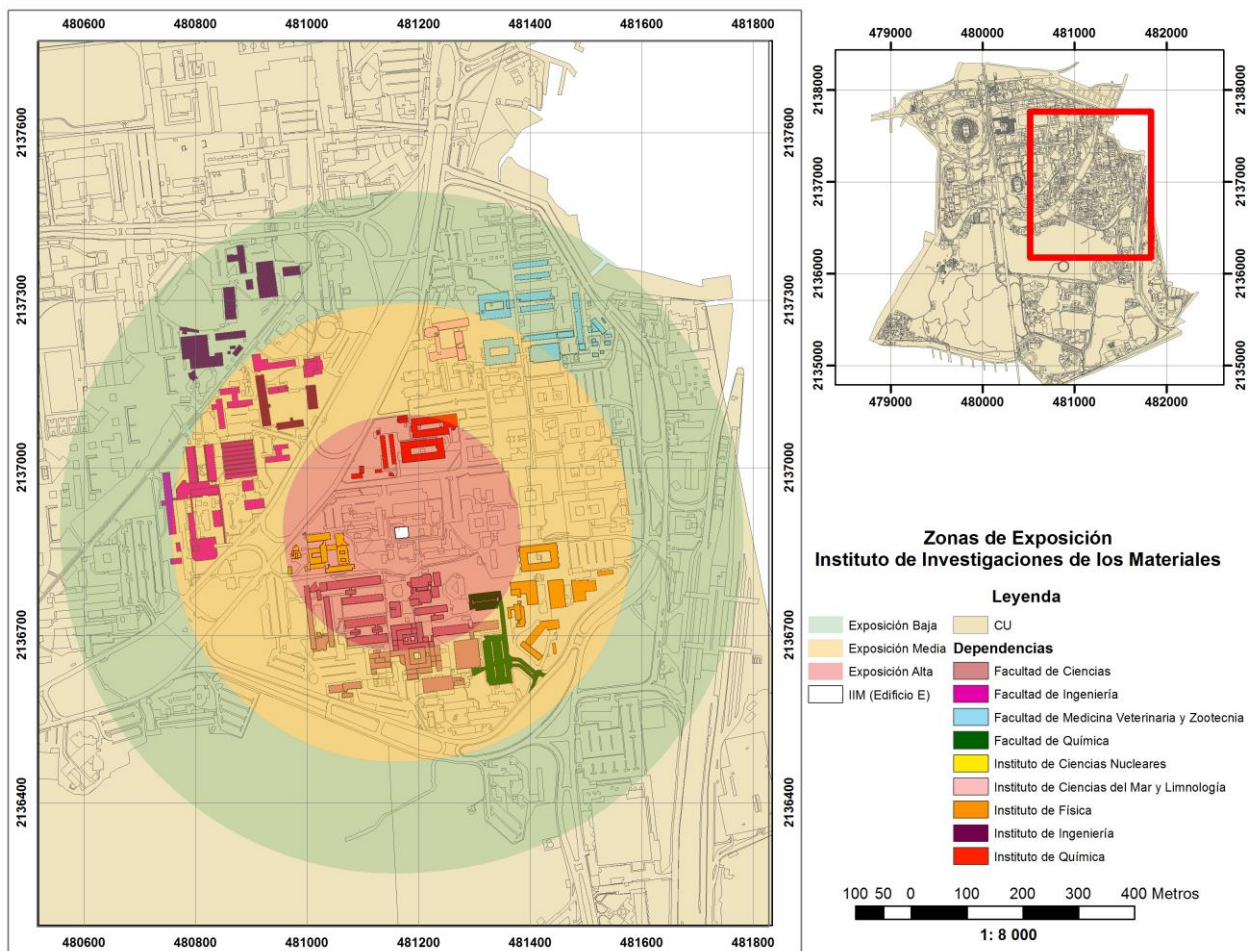


Figura 3.3 Mapa de Zonas de Exposición para el Caso 2.

3.4.3 Caso 3: Instituto de Química (IQ)

Las zonas de exposición para el Instituto de Química (edificio C) señalado en el mapa con color blanco, teniendo en cuenta las sustancias que maneja, son muy similares a la del IIM (Figura 3.4). Esto es debido a que ambas dependencias se encuentran muy cerca una de otra. En la zona de afectación se encuentra ubicado el IIM, el cual, como hemos observado maneja sustancias altamente peligrosas.

Los lugares más expuestos en caso de incendio, explosión y/o derrame son el Instituto de Investigaciones de los Materiales, el Instituto de Ciencias Nucleares y parte de la Facultad de Ingeniería y del Instituto de Ingeniería. En la zona naranja (Exposición Media) también se encuentran parte de la Facultad de Ingeniería y del Instituto de Ingeniería, la Facultad de Ciencias, el Instituto de Física y la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Por último en

la zona verde (Exposición Baja) se encuentran la Facultad de Medicina y la Facultad de Química, con menos probabilidades de que sean afectadas por las amenazas analizadas en esta investigación.

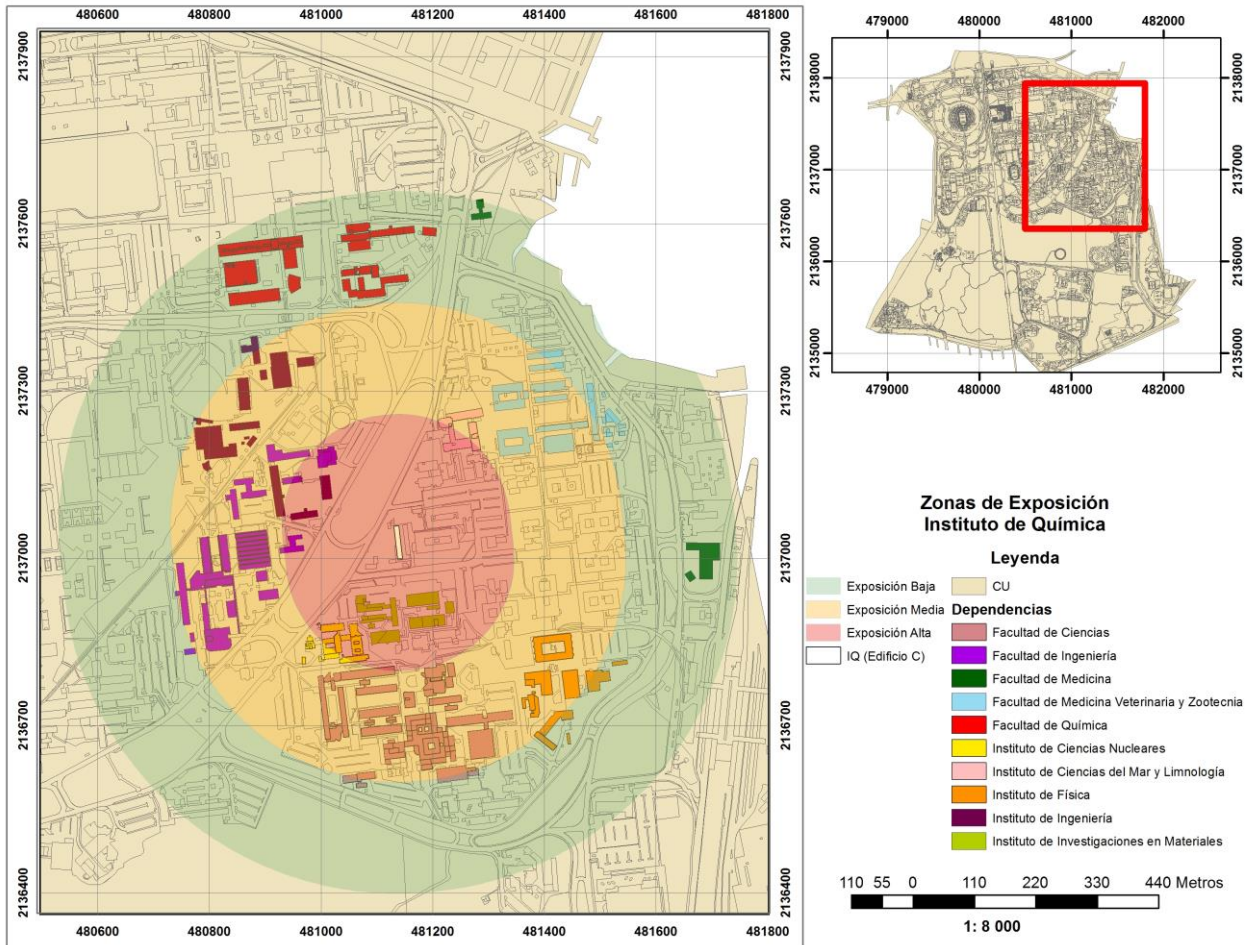


Figura 3.4 Mapa de Zonas de Exposición para el Caso 3.

3.4.4 Caso 4: Dirección General de Servicios Generales (DGSG)

En la Figura 3.5 se muestran las diferentes zonas expuestas en caso de incendio, explosión y/o derrame, clasificándolas en: Exposición Alta, Exposición Media y Exposición Baja. Este caso es muy singular debido a que el manejo de esta sustancia para la amenaza incendio trae asociado un nivel de riesgo Medio, lo que significa que su área de impacto puede llegar hasta la zona delimitada por el color naranja (400 metros). Por supuesto, las consecuencias más fuertes serán en los primeros 200 metros y luego en menor medida hasta llegar a 400 metros de radio (zona

naranja). En dichas zonas se encuentran expuestos los edificios de la Unidad de Posgrado, el almacén de UNIVERSUM y otras dependencias de Servicios, así como vialidades fuera de Ciudad Universitaria.

Ante una explosión, el nivel de riesgo vinculado por la utilización de la sustancia en cuestión, es Bajo, por lo tanto, solo afectará el primer radio de acción (color rojo), afectando a gran parte de la Unidad de Posgrados. No siendo así ante un derrame, porque tiene un nivel de riesgo asociado por su uso y manejo, Muy Alto, por tanto, su área de afectación puede llegar hasta la zona delimitada por el color verde, donde, la magnitud de las consecuencias va disminuyendo a medida que va aumentando el radio de afectación. Para este último nivel de riesgo asociado se pudiera ver afectado varias dependencias de servicios ubicadas en la zona, como es la Coordinación de Difusión cultural y el UNIVERSUM.

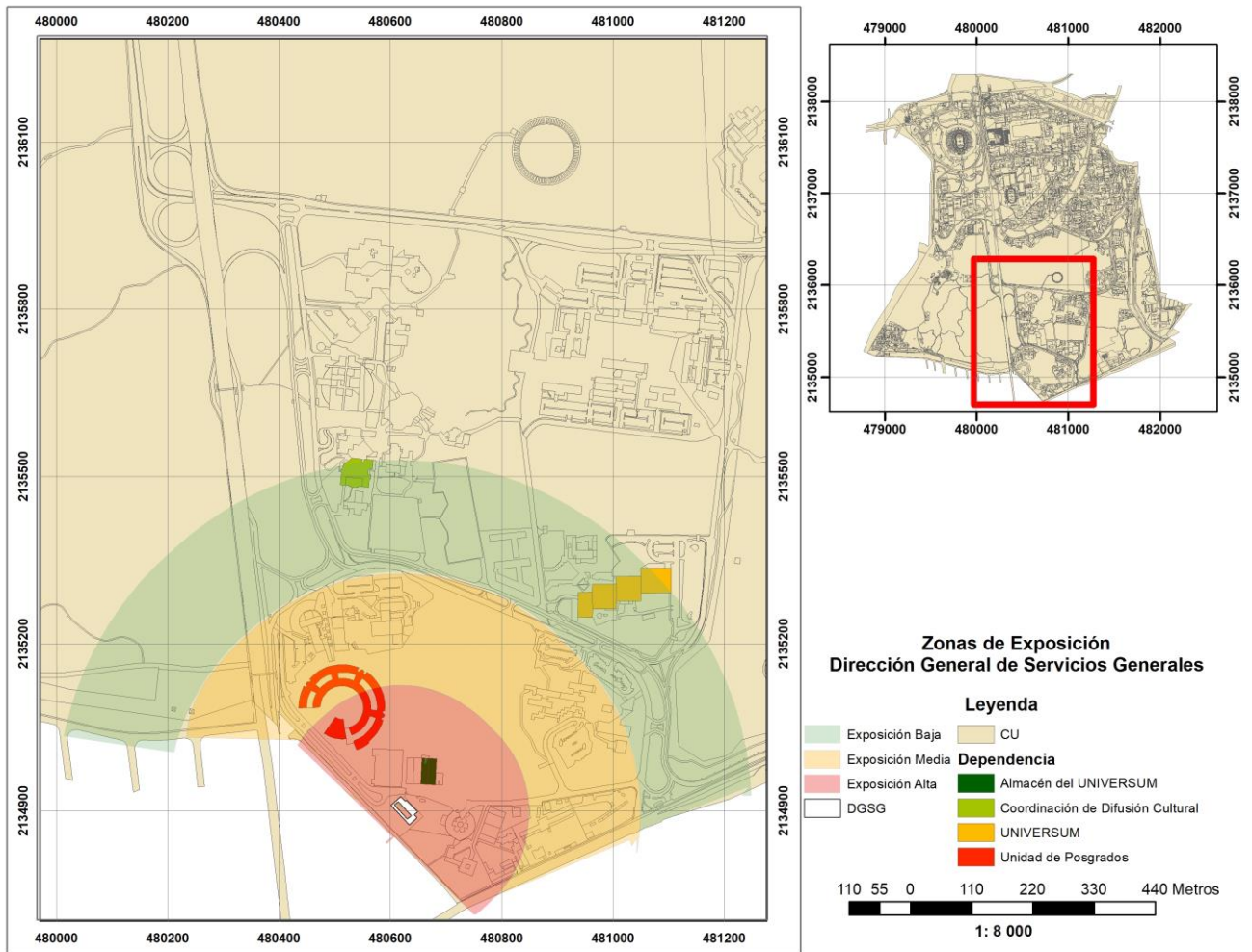


Figura 3.5 Mapa de Zonas de Exposición para el Caso 4.

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones como resultado de este trabajo son las siguientes:

1. Se logra un estudio de riesgo químico-tecnológico, ante varios tipos de amenazas para zonas de interés en Ciudad Universitaria mediante la adaptación de una metodología cuantitativa, con nuevos criterios y factores. Por tanto, se demuestra la validez de la hipótesis del trabajo.
2. Como aportación metodológica se señala que se adaptó la metodología cualitativa Mosler para este tipo de amenazas y se estableció la medida espacial de la exposición al riesgo tecnológico con datos genéricos.
3. El volumen de almacenamiento de las sustancias potencialmente peligrosas es el parámetro determinante para evaluar el nivel de riesgo asociado a su manejo, ya sea docencia, investigación o servicios.
4. Para precisar el nivel de vulnerabilidad de cada dependencia (parámetro de la metodología), es imperioso conocer las condiciones y disposiciones de almacenamiento de las sustancias químicas. Este factor en la metodología desarrollada tiene una gran contribución en los resultados, llegando a ser determinante para evaluar el nivel de riesgo.
5. Es recomendable que el Instituto de Química sea precavido en el uso y manejo de las sustancias de investigación con un potencial de peligro alto, por ser la institución en la UNAM que maneja mayor cantidad de sustancias, con mayor frecuencia y volumen.
6. En la zona de Institutos y Facultades pertenecientes a CU, es donde se debe prestar mayor atención a las medidas de seguridad y prevención ante incendios, explosiones y/o derrames; por estar ubicadas las dependencias con mayor contribución a un accidente de este tipo, como se muestra en los mapas de zonas de exposición.

RECOMENDACIONES

1. Aplicar, en toda su magnitud, el intercambio de experiencias en materia de seguridad ante sustancias químicas potencialmente peligrosas, entre las diferentes dependencias de Ciudad Universitaria.
2. Realizar una nueva evaluación de riesgo utilizando la misma metodología, ante incendios, derrames y/o explosiones; teniendo en cuenta más criterios y condiciones. Como ejemplo, las propiedades físicas de las sustancias que no se tuvieron en cuenta tales como punto de fusión, densidad, presión de vapor, etc. Adicionalmente a ello, sus efectos de exposición de corta duración y prolongada o repetida exposición. Todo esto permitirá comparar y obtener una mayor precisión de los resultados.
3. Cumplir las normas y procedimientos de las condiciones necesarias de almacenamiento que garanticen la seguridad de las dependencias que manejan sustancias potencialmente peligrosas, como el Instituto de Investigaciones de Materiales y la Facultad de Química, según las características de cada una.

REFERENCIAS

Bosque Sendra, J., Díaz Castillo, C., Díaz Muñoz, M. A., Gómez Delgado, M., González Ferreiro, D., Rodríguez Espinosa, V. M., Salado García, M. J. (2004): "Propuesta metodológica para caracterizar las áreas expuestas a riesgos tecnológicos mediante SIG. Aplicación en la Comunidad de Madrid", *GeoFocus*,(no 4) , p. 44-78. ISSN: 1578-5157

Cabrera Lamadrid, J.M, (2015). Evaluación de Riesgo ante derrames de hidrocarburos en la Central Termoeléctrica "Máximo Gómez". Tesis de Diploma en Opción al Título de Ingeniero en Tecnologías Nucleares y Energéticas. La Habana, Cuba

Comisión Especial de Seguridad de la UNAM. (2018) Recuperado de: <https://www.juridicas.unam.mx/acerca-de/comision-local-de-seguridad-y-proteccion>

Cox Jr., L.,(2008) *What's Wrong with Risk Matrices?*. Risk Analysis, Vol. 28, No. 2

Díez, F. M. (2007). Formación superior en prevención de riesgos laborales: parte obligatoria y común. Lex Nova.

Dirección General de Planeación, (2018). Recuperado de: <http://www.planeacion.unam.mx>

Dirección General de Servicios Generales, (2019). Recuperado de: <http://www.dgsgm.unam.mx/servicios>

Estrategia Internacional para la Reducción de Desastre de las Naciones Unidas (2009), Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres.

Fullwood R. (2000). Probabilistic Safety Assesment in the Chemical and Nuclear Industries. E.U.A. Marcel Dekker

Fundación UNAM,(2018). Recuperado de: <http://www.fundacionunam.org.mx>

Galaviz Rodríguez, J. V., Martínez Carmona, R., Vázquez Carrasco, Y., González Contreras, B. M. (2013). Análisis - Evaluación de riesgos, aplicando la metodología.

Gavilán, I; Santos, E.; Cano, G.; Crespo, J.L. (2014) Guía de clasificación de riesgo, peligrosidad y primeros auxilios de sustancias químicas de uso en los primeros en los laboratorio de nivel medio superior. Universidad Nacional Autónoma de México. México

Investigaciones Geográficas (2012), Boletín del Instituto de Geografía, UNAM (ISSN 0188-4611), Núm. 77, , pp. 63-74

Martínez, J. M. (2008). Análisis de riesgo con la metodología HAZOP a subestaciones eléctricas de CFE. Cholula, Puebla, México: Tesis Licenciatura. Ingeniería Química con área en Ingeniería de Procesos.

Maskrey, Andrew; (1993). *Los Desastres No son Naturales*, Colombia.

Moizo Marrubio, P. (2004): “La percepción remota y la tecnología SIG: una aplicación en Ecología de Paisaje”, GeoFocus (ISSN: 1578-5157), nº 4, p. 1-24.

Monroy Salazar, S ,(2009). "Riesgo Sísmico en Santa María Tixmadejé, Acambay, Estado de México". Universidad Autónoma de México, Ciudad de México, México.

Montagud, A. H., Espadalé, R. M. A. NTP 663: Propiedades fisicoquímicas relevantes en la prevención del riesgo químico. Gas, 15, 15.

Navarro, F. (2013) El Análisis de Riesgos. Método Mosler. Recuperado de: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/el-analisis-de-riesgos-metodo-mosler/>

Nyerges, T. L., Jankowski, P., Smith, A., Moore, T. J., & Horvath, E. (1997). Spatial group choice: a SDSS tool for collaborative spatial decisionmaking. International journal of geographical information science,. 11(6), 577-602.

Programa Habitat. (2011). ATLAS DE RIESGOS DEL MUNICIPIO DE MEXICALI. Mexicali: Instituto de Investigaciones Sociales, UABC.

Protocolo Adicional a los Convenios de Ginebra del 12 de agosto de 1949 relativo a la Protección de las Víctimas de los Conflictos Armados Internacionales (Protocolo I).

Rivero J., Salomón J.,(2001) . El análisis probabilista de seguridad (APS) aplicado a la gestión del mantenimiento". IV Taller Internacional de la Cátedra de Seguridad de la Industria (SAFIND 01). ISCTN. Ciudad de la Habana.

Rivero J., Salomón J., Perdomo M.,(2001), El Análisis de Riesgo como herramienta para la toma de decisiones en las industrias peligrosas. Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Nucleares (ISCTN). La Habana. Cuba.

Robertson, J. S. (1993). Chemical disasters, real and suspected. Public Health, 107(4), 277-286.

Ruiz Rivera, N.,(2011). La definición y medición de la vulnerabilidad social. Un enfoque normativo. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, ISSN 0188-4611, Núm. 77, 2012, pp. 63-74

Salomón J, Milian D. (2014) Una versión futura sobre riesgos antropogénicos. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, InSTEC.

Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL), 2006. Recuperado de: http://www.inapam.gob.mx/es/SEDESOL/Evaluaciones_Anuales_2006

SEDESOL. (2006). IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS. Chihuahua.

Sistema Nacional de Protección Civil. (2014). Centro Nacional de Prevención de Desastres. Guía Prácticas sobre riesgos químicos.

Universidad Nacional Autónoma de México, última actualización 10/09/2018. Recuperado de: <https://www.unam.mx/acerca-de-la-unam/dependencias-universitarias>

Wilches-Chaux, Gustavo.,(1989) Desastres, ecologismo y formación profesional: herramientas para la crisis. Servicio Nacional de Aprendizaje, Popayán.

Zabala, U. S. (30 de enero de 2015). Prezi. Obtenido de DESASTRE de SANDOZ, 1986: <https://prezi.com/5-zzyxmhrzra/desastre-de-sandoz-1986/>