



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE FICHAS DE
SEGURIDAD COMO MATERIAL DE APOYO PARA PROMOVER LA
CULTURA DE SEGURIDAD EN EL LABORATORIO DE CIENCIA
BÁSICA DE LA CARRERA DE QFB DE LA FES ZARAGOZA, UNAM**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICA FARMACÉUTICO BIOLÓGICA

PRESENTA

MARÍA FERNANDA CARRILLO ÁNGELES

DIRECTORA

MTRA. ANTONIA GUILLERMINA ROJAS FERNÁNDEZ

ASESORAS

QFB. ANA MIGUEL MEJÍA

MTRA. ANA KAREN RUIZ RODRÍGUEZ





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.

“La vida no es fácil para ninguno de nosotros. Pero lo que cuenta es la perseverancia, la valentía y la confianza en uno mismo”.

- *Marie Curie (1937).*

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. FUNDAMENTACIÓN.....	9
2.1 EI MATERIAL PARA LA DOCENCIA: LOS RECURSOS Y MATERIALES DIDÁCTICOS	9
Introducción	9
2.1.1 Material educativo	10
2.1.2 Material de apoyo	11
2.1.3 Definición de recurso didáctico	13
2.1.3.1 Elaboración de material didáctico.....	14
2.1.3.2 Funciones de los materiales y recursos didácticos.....	15
2.1.3.3 Clasificación de los materiales y recursos didácticos	17
2.1.4 Aplicación de los recursos didácticos al diseño y elaboración de material didáctico.....	21
2.1.4.1 Contextualización	22
2.1.4.1.1 El entorno escolar donde se empleará el producto de este trabajo	22
2.1.4.2 Objetivos.....	23
2.1.4.3 Medios disponibles.....	26
2.1.4.4 Manual de Fichas de Seguridad para las sustancias de uso común en los Laboratorios de Ciencia Básica I y II de la carrera de QFB de la FES Zaragoza, UNAM.....	27
2.2 La Seguridad como modelo en los Laboratorios de Docencia	28
Introducción	28
2.2.1 Seguridad.....	29
2.2.1.1 Hojas de Datos de Seguridad (HDS)	39
2.2.1.2 The Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals (GHS).....	47
2.2.1.2.1 Frases H (Hazard) y P (Prudence).....	52
2.2.1.3 NORMA Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2015, Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.....	56
2.2.1.4 Clasificación CRETI	57
2.2.2 Principios de Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL).....	60
2.2.2.1 Seguridad	66

2.2.2.2 Documentación.....	66
2.2.2.3 Manejo de sustancias químicas.....	68
2.2.2.4 Manejo de residuos peligrosos	69
2.3 Cultura de Seguridad (CS)	71
Introducción.....	71
2.3.1 ¿Qué es la Cultura de Seguridad?	72
2.3.2 ¿Cómo se construye una Cultura de Seguridad?	74
2.3.2.1 Reconocer los peligros: sustancias tóxicas y riesgos físicos.....	78
2.3.2.1.1 Sustancias tóxicas	81
2.3.2.1.2 Riesgos físicos	82
2.3.2.2 Evaluar los riesgos de los peligros.....	84
2.3.2.3 Minimizar los riesgos de los peligros	87
2.3.2.4 Prepararse para emergencias.....	93
2.3.3 Actitud positiva de seguridad.....	103
2.3.4 Química verde (QV)	106
2.3.5 Gestión química.....	112
III. OBJETIVOS	117
3.1 General.....	117
3.2 Específicos.....	117
IV. DESARROLLO DEL MATERIAL DIDÁCTICO.....	118
4.1 Objetivo específico 1: diseño y desarrollo de un prototipo de Ficha de Seguridad (FS) empleando como modelo el ácido clorhídrico.....	121
4.2 Objetivo específico 2: diseño y elaboración de una plantilla de Ficha de Seguridad (PFS)	137
4.3 Objetivo 3: elaboración de un Procedimiento Normalizado de Operación (PNO) para la realización de Fichas de Seguridad (FS)	148
4.4 Objetivo 4: elaboración de FS implementando el uso del PNO y del formato de PFS	156
4.5 Objetivo 5: elaboración del Manual de FS para las sustancias de uso común en los LCB I y II	162
V. CONCLUSIONES.....	177
VI. REFERENCIAS.....	180
VII. ANEXO	189

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1.1	Clasificación de los recursos didácticos con base en su formato ...	18
Cuadro 2.1.2	Clasificación de los recursos didácticos conforme a su propósito ..	19
Cuadro 2.1.3	Clasificación de los recursos didácticos de acuerdo con Reyes F..	20
Cuadro 2.1.4	Precusores que fueron necesarios para la elaboración del MFS producto final de este trabajo de tesis.....	21
Cuadro 2.2.1	Tópicos sobre seguridad propuestos para incorporar al currículo de la carrera de QFB en la FES Zaragoza, UNAM	38
Cuadro 2.2.2	Tipos, clases y categorías de riesgos (GHS).....	51
Cuadro 2.2.3	Pictogramas de peligros físicos, para la salud y para el medio ambiente, acordes con la NOM-018-STPS-2015	54
Cuadro 2.2.4	Características que definen a un residuo como peligroso	58
Cuadro 2.2.5	Elementos que debe contener la etiqueta del envase original y elementos que se podrían retomar para el etiquetado del envase secundario	68
Cuadro 2.3.1	Identificación de los riesgos más comunes en el manejo de sustancias químicas, sus factores y las acciones para disminuir su incidencia en los LCB I y II	80
Cuadro 2.3.2	Clases de incendios.....	95
Cuadro 4.1	Listado de las sustancias de uso común en el Laboratorio de Ciencia Básica I y II, para las cuales se elaborarán las FS.....	157

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.2.1 Las 16 Secciones de la Hoja de Seguridad establecidas por el GHS	46
Figura 2.2.2 Línea del tiempo sobre el desarrollo del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos	49
Figura 2.2.3 Ejemplo de frases H (riesgo) para mostrar qué representan los elementos que conforman el código alfanumérico	53
Figura 2.2.4 Ejemplo de frases P (prudencia) para mostrar qué representan los elementos que conforman el código alfanumérico	55
Figura 2.2.5 Etiqueta de residuos químicos estandarizada por el procedimiento SGC-FESZ-PO06.....	60
Figura 2.2.6 Breve línea del tiempo sobre el surgimiento de las Buenas Prácticas de Laboratorio	62
Figura 2.2.7 Diferentes definiciones de las Buenas Prácticas de Laboratorio	64
Figura 2.2.8 Los 4 principios de BPL fundamentales en los LCB.....	65
Figura 2.3.1 Los cuatro principios de seguridad propuestos por R. Hill y D. Finster	76
Figura 2.3.2 Factores externos a REMP que influyen en la práctica de la seguridad	77
Figura 2.3.3 Factores que intervienen en el potencial de lesión por un ácido o una base	83
Figura 2.3.4 Diagrama de los elementos básicos del EPP que debe utilizar un alumno en los LCB en la carrera de QFB de la FES Zaragoza, UNAM. Elaboración propia. 1) goggles de seguridad, 2) Bata de laboratorio, 3) zapatos cerrados, 4) guantes y 5) cubrebocas	89
Figura 2.3.5 Diagrama que muestra la implementación del modelo REMP en el laboratorio tomando como ejemplo la preparación de una disolución 0.02 M de ácido sulfúrico	103
Figura 2.3.6 Principios de la Química Verde propuestos por Anastas y Warner	109

Figura 2.3.7 Modelo de cómo los alumnos podrían elaborar una tabla para condensar la información de las HDS, retomando el ejemplo del ácido sulfúrico	116
Figura 4.1 Diagrama de la metodología seguida para el diseño y elaboración de los materiales de apoyo	120
Figura 4.2 Símbolos de protección personal de acuerdo con la NOM-018-STPS-2015 adaptados para los alumnos de los LCB	125
Figura 4.3 Área llamada “Uso obligatorio” para la rápida identificación de los símbolos de EPP (a) y pictogramas (b)	126
Figura 4.4 Sección 1 “Datos generales” para la rápida identificación de la sustancia	127
Figura 4.5 Recogedor de mano con cepillo	128
Figura 4.6 Ejemplo de los diferentes materiales para controlar derrames líquidos	128
Figura 4.7 Cordón absorbente universal	129
Figura 4.8 Recipientes para recolectar las sustancias derramadas y/o los materiales absorbentes.....	129
Figura 4.9 Sección 2 “En caso de derrame” propuesta de plan de acción para atender un derrame dentro de las instalaciones de los LCB	130
Figura 4.10 Sección 3 “Peligrosidad” relación de la clasificación CRET1 con los posibles efectos en la salud que puede tener una sustancia, tomando como modelo el ácido clorhídrico	131
Figura 4.11 Sección 4 “Primeros auxilios” diagrama con las indicaciones claras y concisas para atender a personas que entren en contacto directo con la sustancia	132
Figura 4.12 Sección 5 “Propiedades físicas y químicas” listado de las propiedades de mayor relevancia para el trabajo experimental y para la prevención de accidentes	133
Figura 4.13 Sección 6 “Estabilidad y reactividad”	133
Figura 4.14 Sección 7 “Almacenamiento” / “Manejo de residuos”	134
Figura 4.15 Versión final del prototipo de FS empleando como modelo el ácido clorhídrico.....	135

Figura 4.16 Comparación de los cambios hechos en el rediseño del encabezado de la PFS a partir del prototipo de FS	140
Figura 4.17 Gráfico que representa la estructura interna del formato de la PFS	141
Figura 4.18 Diseño final del encabezado para la PFS, empleando como modelo de sustancia biftalato de potasio	142
Figura 4.19 Sección 2 “En caso de derrame” con todos los cambios aplicados en su formato y contenido: a) símbolo para el EPP de vías respiratorias y b) símbolo para el equipo de limpieza de sólidos derramados	144
Figura 4.20 Sección 3 “Peligrosidad” rediseño de la tabla en formato APA	145
Figura 4.21 Reorganización del contenido de la Sección 7 en dos subsecciones: a) “Almacenamiento” y “Manejo de residuos”. b) etiqueta de residuos químicos empleada en los LCB según lo establecido en el SGC-FESZ-PO06 (51)	146
Figura 4.22 Formato de PFS terminado usando como modelo el biftalato de potasio	147
Figura 4.23 Formato del encabezado para identificar el Procedimiento Normalizado de Operación que se elaboró	149
Figura 4.24 Cuadro retomado del PNO que originalmente está numerado como “Figura 1”, el cual contiene los símbolos del equipo de protección personal (EPP) adaptados a los LCB	151
Figura 4.25 Cuadro retomado del PNO que originalmente está numerado como “Figura 2”, el cual contiene los pictogramas para la comunicación de riesgos de acuerdo con la NOM-018-STPS-2015 (44)	152
Figura 4.26 Fragmentos del uso de la plantilla tomados de los anexos del PNO	155
Figura 4.27 Ejemplo del formato de plantilla estandarizado	158
Figura 4.28 Ejemplo de las propiedades físicas y químicas que deben redactarse en la sección 5 de la FS	160
Figura 4.29 Ejemplos de FS terminadas	161
Figura 4.30 Portada del MFS con el desglose de todos sus contenidos	165
Figura 4.31 Tabla 1 del manual de FS para la identificación de riesgos comunes en los LCB.....	167

Figura 4.32 Principios del modelo de Cultura de Seguridad propuesto por Hill R. y Finster D.....	168
Figura 4.33 Gráfico que describe las características del EPP adaptado a las condiciones en los LCB.....	169
Figura 4.34 Pictogramas de peligros físicos, de la salud y para el medio ambiente acordes con la NOM-018-STPS-2015 y con Indicaciones de peligro (Frase R y H) de sustancias o mezclas	170
Figura 4.35 Diagramas implementados en los anexos del manual para explicar la conformación del código alfanumérico de las frases H y P	172
Figura 4.36 Ejemplo de la hoja usada como separador en el manual	173
Figura 4.37 Logo diseñado para ser utilizado en el manual como marca de agua	174
Figura 4.38 a) Imagen de la versión en digital (PDF) del MFS. b) Imágenes de la versión impresa del MFS.....	176

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ACS	American Chemical Society
ANSI	American National Standards Institute
BPD	Buenas Prácticas de Documentación
BPL	Buenas Prácticas de Laboratorio
CERFyS	Centro de Recursos Físicos y Servicios
CRETI	Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico ambiental, Inflamable
CS	Cultura de Seguridad
DoD	Department of Defense
EPA	Environmental Protection Agency
EPP	Equipo de Protección personal
EE. UU.	Estados Unidos
FEUM	Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos
FR	Federal Register
FS	Ficha de Seguridad
FDA	Food and Drug Administration
GQ	Gestión Química
GHS	Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals
HDS	Hojas de Datos de Seguridad
LCB	Laboratorio de Ciencia Básica
MFS	Manual de Fichas de Seguridad de las sustancias de uso común en el Laboratorio de Ciencia Básica I y II de la Carrera de QFB
MSDS	Material Safety Data Sheet
MAD	Mutual Acceptance of Data
NFPA	National Fire Protection Association
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NRC	Nuclear Regulatory Commission
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OTI	Organización Internacional del Trabajo
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PFS	Plantilla de Ficha de Seguridad
PNO	Procedimiento Normalizado de Operación
QFB	Química Farmacéutico Biológica
QV	Química Verde
REMP	Reconocer los peligros, Evaluar los riesgos de los peligros, Minimizar los riesgos de los peligros, Prepararse para emergencias.
SDS	Safety Data Sheet
STPS	Secretaría del Trabajo y Prevención Social
SGC	Sistema de Gestión de la Calidad
TA	Toxicidad aguda
TC	Toxicidad crónica
TMI	“The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals”
UNSCCUR	United Nations Scientific Conference on the Conservation and Use of Resources

I. INTRODUCCIÓN

En el pasado la alquimia fue la disciplina bajo la cual se estudiaba el comportamiento y características de los “4 elementos: agua, tierra, fuego y aire”, nombres que se le dieron a lo que se creía eran la constitución básica de toda la materia. Hoy en día se conocen más de 100 elementos químicos y un gran número de combinaciones, entre ellos, que dan origen a todo lo que nos rodea. Sin embargo, para llegar hasta este punto fue necesario el desarrollo de experimentos, investigaciones y estudios que ofrecen resultados comprobables.

Desafortunadamente, muchos de esos experimentos tuvieron un impacto negativo en la salud de quienes los llevaron a cabo. En los primeros tiempos de la Química, al igual que en otras ramas científicas, los métodos utilizados para realizar los experimentos no eran tan rigurosos como lo son hoy en día. Además, en aquel entonces no se tenía plena conciencia de los riesgos relacionados con los nuevos elementos y las reacciones químicas. El enfoque principal estaba en descubrir las características de estos elementos, y se prestaba menos atención a la salud de quienes se exponían a ellos. A medida que la Química se volvió más compleja, se hizo evidente la necesidad de priorizar la seguridad durante el trabajo experimental. Esta necesidad se convirtió en un requisito fundamental, en lugar de ser una opción (1).

Los efectos letales de los gases venenosos durante las guerras mundiales jugaron un papel fundamental en el impulso de la seguridad en los laboratorios químicos (1). Tanto con el objetivo de prevenir la repetición de esos efectos en la población en general como evitar lesiones en los propios laboratorios, el compromiso por implementar medidas de seguridad para manipular sustancias químicas y sus derivados creció y se extendió entre la comunidad científica.

La seguridad en los centros de trabajo tuvo un cambio notable en su enfoque a través del tiempo. Inicialmente, se centraba principalmente en evitar pérdidas económicas para las empresas farmacéuticas o plantas químicas a causa de

accidentes que dañaran las instalaciones, equipos o instrumentos. Sin embargo, con el auge de la seguridad industrial y la salud ocupacional, este enfoque materialista se transformó en un enfoque humanista, donde la seguridad de los trabajadores es tan importante como conservar la integridad de las instalaciones y los recursos.

En 1970, se creó el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) con el propósito de garantizar condiciones de trabajo seguras y saludables para los empleados. El NIOSH lleva a cabo actividades de investigación, información, educación y capacitación en el campo de la seguridad y salud ocupacional. Además, trabaja en conjunto con la Occupational Safety and Health Administration (OSHA), que es una agencia del Departamento de Trabajo de los Estados Unidos para promover y proteger la salud y seguridad de los trabajadores. La OSHA es responsable de establecer y hacer cumplir las normas de seguridad en el trabajo (2).

Bajo este nuevo enfoque de seguridad, la prioridad se centró en preservar la salud de las personas sin descuidar el mantenimiento de las instalaciones. Así, la industria química se comprometió a mejorar sus procesos con el objetivo de obtener mejores rendimientos, pero también puso un énfasis especial en las condiciones laborales de los trabajadores. Para lograr estos cambios, fue necesario derribar y superar el antiguo hábito arraigado en la conciencia de los estudiosos de la química: la creencia de que los accidentes eran actos “divinos” o, en otras palabras, impredecibles.

La implementación de la seguridad en la experimentación es un desafío constante. A pesar de los esfuerzos por establecerla como norma global, persisten accidentes que han tenido consecuencias catastróficas. Ejemplos como la explosión causada por la fuga de ciclohexano en la compañía Nyprox en Inglaterra en 1974 (3) y la fuga de isocianato de metilo en Bophal en 1984 (4) destacan la necesidad de mejorar las prácticas de seguridad y promover una cultura preventiva en la industria, así como en los laboratorios donde se realiza la experimentación.

Es en este sentido, que la aplicación de los principios de Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL), que no solo aseguran la calidad de los resultados emitidos por un laboratorio, sino que también promueven la seguridad de todas las personas involucradas al prevenir accidentes, y la continua búsqueda de mejoras son fundamentales para evitar futuros accidentes y garantizar entornos laborales seguros para proteger la vida y la salud de las personas (5).

Sin duda, la persistencia de accidentes químicos que ponen en riesgo la salud de los trabajadores y la población muestra la importancia de fortalecer la educación en seguridad en instituciones académicas, especialmente en laboratorios químicos de docencia. Por lo que es fundamental formar profesionales conscientes de que la seguridad es una práctica diaria.

Los expertos en docencia y seguridad han utilizado diversos materiales didácticos para abordar de manera efectiva temas sobre seguridad. Para diseñar un material de apoyo que promueva la seguridad como principio de BPL y además sienta las bases para establecer una **Cultura de Seguridad (CS)**, es necesario otorgar significancia lógica y psicológica a los contenidos, así como presentarlos de manera dinámica para motivar a los estudiantes a explorar más sobre temas de seguridad.

En ese sentido, se construyó el **“Manual de Fichas de Seguridad de las sustancias de uso común en el Laboratorio de Ciencia Básica I y II de la Carrera de QFB” (MFS)**, bajo la premisa de la enseñanza de la seguridad con enfoque preventivo. Este manual aborda desde conceptos básicos en seguridad, hasta los 4 principios de BPL fundamentales para su aplicación a los LCB: reactivos; documentación; equipos, instrumentos y otros materiales; y seguridad. Además, incluye la presentación y desarrollo del modelo **REMP (Reconocer los peligros, Evaluar los riesgos de los peligros, Minimizar los riesgos de los peligros, Prepararse para emergencias)**, con el fin de promover una Cultura de Seguridad (CS).

Por consiguiente, en los contenidos del manual fue indispensable adaptar al ámbito de los Laboratorios de Ciencia Básica I y II (LCB), conceptos como BPL, seguridad, accidente, riesgo, CS, etc; para comenzar a inculcar en los estudiantes

la seguridad como un valor, favoreciendo que no la perciban como una simple regla. Es así, como en la enseñanza de la seguridad en los LCB los estudiantes deben aprender que la seguridad implica más consideraciones que simplemente buscar evitar las cosas que son peligrosas. Por lo tanto, a medida que se va practicando la seguridad se vuelven evidentes dos cosas: 1) la seguridad es parte de la vida diaria y 2) la seguridad es colectiva, si alguien no es consciente del riesgo que representa una actividad o actitud, con certeza ocurrirá un accidente y habrá daños colaterales. Una vez que los alumnos empiezan a ser conscientes de este par de cosas es cuando se les puede hablar sobre la CS pues esta implica un compromiso colectivo e individual.

De este modo para comenzar con el tema de CS, las siguientes interrogantes pueden servir de guía: ¿qué es la Cultura de Seguridad y por qué debería practicarse? Preguntas que pueden ser desatendidas por los estudiantes, de QFB, quienes con frecuencia están abrumados por intentar comprender las reacciones químicas y operaciones implicadas en sus experimentos. Sin embargo, resulta de gran ayuda esforzarse por integrar la CS en todas las actividades dentro y fuera de las instalaciones de la facultad. Es en ese sentido que el MFS, además de ser de utilidad como material de apoyo, pretende brindar a profesores y alumnos una plataforma para inculcar en los laboratorios de docencia la CS, que desde hace tiempo es la tendencia que ha seguido la educación en Química y los campos relacionados a esta.

Debido a que la CS es más una forma de vivir, que sólo reglas para memorizar, los LCB resultan ser el escenario perfecto para comenzar a trabajar los cuatro principios de CS estructurados en un modelo conocido como **REMP** o RAMP, por su traducción al inglés (6). Aunque el modelo **REMP** se percibe ajeno a los temas vistos en los LCB, la realidad es que el programa de estos módulos contempla el tema de seguridad en el laboratorio, abordándolo desde un enfoque de Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL), las cuales se encuentran estrechamente conectadas con la CS. La conexión entre CS y BPL es compleja de explicar, por lo

que se aborda en los capítulos 2 y 3 de este trabajo. De forma general se puede decir que ambas filosofías le dan un enfoque preventivo a la seguridad.

La seguridad es uno de los principios de BPL, sin embargo, la filosofía de las BPL deja en claro que para cumplir con el principio de seguridad se necesita de los demás principios. Como se explicará más adelante en esta tesis para los LCB resultan fundamentales 4 de los 13 principios de BPL que reportan algunas fuentes bibliográficas (5). Estos 4 principios tienen una relación con los experimentos propuestos en los LCB y la seguridad. En dichos experimentos los estudiantes se enfrentan a la elaboración de anteproyectos (documentación), la consulta de Hojas de Datos de Seguridad (HDS) (seguridad), el uso de reactivos (manejo de sustancias) y al envasado de desechos (manejo de residuos); resultando, en mayor o menos medida, un reto para los alumnos del segundo y tercer semestre de QFB.

Sumado a lo anterior, no todos los alumnos que ingresan a la carrera de QFB de la FES Zaragoza tuvieron la oportunidad de realizar trabajo práctico en las escuelas de nivel medio superior a las que asistieron. Este panorama heterogéneo de conocimientos requiere adaptar los temas a las necesidades psicológicas de los estudiantes y que, durante la inducción al trabajo experimental, los profesores se apoyen y promuevan los 4 principios fundamentales de las BPL para favorecer las condiciones del aprendizaje significativo en los alumnos.

Por otro lado, la CS busca disminuir el riesgo de los peligros a los que se está constantemente expuesto debido a las actividades prácticas que se realizan durante los experimentos en los laboratorios de docencia y que en este caso no pueden ser eliminadas, ya que son inherentes a las actividades relacionadas a los experimentos. Lo que sí se puede hacer es minimizar dichos peligros disminuyendo, en la medida de lo posible, el riesgo que conlleva trabajar con sustancias químicas.

En ese contexto, según Jaeger (7), el riesgo está determinado por tres factores: 1) la cantidad de la sustancia, 2) el tiempo de manipulación y 3) la frecuencia con la que se manipula. La aplicación de los principios de la Química Verde (QV) y técnicas de química en microescala permite manipular una o más de estas variables, reduciendo aún más el riesgo asociado.

Además de las medidas anteriores, la revisión de las HDS antes de llevar a cabo el trabajo práctico en el laboratorio también contribuye a disminuir el riesgo de sufrir accidentes durante la experimentación. Dado que revisar estos documentos es una práctica común entre profesionales y expertos en seguridad, las Fichas de Seguridad (FS) diseñadas y desarrolladas en este trabajo, brindan una base para que los estudiantes, en su vida profesional, obtengan mejores resultados al consultar HDS y otros documentos relacionados con la seguridad, familiarizándose con los elementos y terminología de seguridad. Además, las FS fomentan la consulta de otras fuentes bibliográficas, como “The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals” (TMI), para cultivar el hábito de cruzar y complementar la información de múltiples fuentes, asegurando así su veracidad y actualidad.

Con base en lo ya descrito, los elementos de seguridad de las HDS, que se retoman en las FS, fueron adaptados para su uso en laboratorios de docencia, debido a que, las HDS y el sistema que las regula conocido como Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS) están enfocados en el ámbito comercial y laboral, pudiendo ser confusos para los estudiantes. Esa confusión se debe a la falta de materiales que ayuden a los estudiantes a familiarizarse con documentación formal como normas, tratados o acuerdos internacionales.

Como resultado de adaptar la información de las HDS a las condiciones de los LCB y de los experimentos planteados para estos laboratorios, fue posible concentrar en una página las medidas preventivas que ayudarán a la disminución de accidentes y cómo atenderlos. En tal sentido, el MFS enriquece el contenido de las fichas al ofrecer fundamentos teóricos que sustentan por qué se descartó o adaptó el contenido de las secciones de la HDS, además de incluir información extra que es fundamental en la comunicación de riesgos, como las frases H (Hazard = peligro) y P (Prudence = prudencia), pero que en la FS podrían saturar el área de “Uso obligatorio” distrayendo la atención de los pictogramas y símbolos del Equipo de Protección Personal (EPP).

En consecuencia, el MFS se ha estructurado en 5 secciones, comenzando con un índice que facilita la búsqueda de información al proporcionar los números de página correspondientes. El segundo apartado es la Presentación, donde se abordan los conceptos básicos de seguridad y se establece la importancia de la seguridad como principio de BPL, así como de una CS. En esta sección, se enseñan a los alumnos recomendaciones para aplicar el modelo REMP en el escenario real del trabajo práctico en el laboratorio, con énfasis en la posibilidad de participar activamente al ayudar a otros a identificar y evitar comportamientos inseguros. Con esto se espera que con el paso del tiempo a través de los semestres los estudiantes se conviertan en líderes en seguridad, fomentado una Cultura de Seguridad en su entorno.

El tercer apartado del manual llamado Fichas de Seguridad (FS), consta de 39 FS organizadas en orden alfabético. Estas fichas proporcionan información sobre precauciones y propiedades asociadas a las sustancias de uso común en los LCB.

El penúltimo apartado del manual incluye son dos anexos. El Anexo 1 es un glosario que recopila términos recurrentes utilizados tanto en el manual, como en las FS y el PNO. Este glosario facilita la comprensión de los conceptos clave utilizados a lo largo del material, brindando claridad y precisión en el lenguaje utilizado.

El Anexo 2 está organizado en 3 partes. En las primeras dos partes están las Frases H (anexo 2.1) y las Frases P (anexo 2.2), junto con la explicación de la forma en la que el sistema GHS conforma los códigos alfanuméricos de dichas frases y la clasificación que agrupa los peligros y consejos de prudencia. La tercera parte, son los Códigos de las Frases H (Hazard = peligro) y P (Prudence = prudencia), anexo 2.3, de las sustancias a las que se les elaboró una FS. Con este listado se proporciona a los estudiantes una fuente extra en donde encontrar las frases H y P que le corresponden a cada sustancia.

Para finalizar, en el último apartado, Referencias, se muestran las fuentes bibliográficas que se utilizaron para la elaboración del MFS, las FS y el PNO.

El **MFS** y las **FS** son **recursos de apoyo** que enriquecen la información sobre seguridad, pero **no deben reemplazar** la **revisión de los principios de BPL, las HDS, la Enciclopedia TMI, el sistema GHS y las frases H y P**. Su objetivo es motivar a los estudiantes y profesores a buscar en otras fuentes bibliográficas y complementar su conocimiento para garantizar una comprensión completa y precisa de los temas de seguridad.

II. FUNDAMENTACIÓN

2.1 EL MATERIAL PARA LA DOCENCIA: LOS RECURSOS Y MATERIALES DIDÁCTICOS

El presente capítulo inicia definiendo ¿qué es un material educativo?, ¿qué lo hace ser de apoyo a la docencia?, ¿qué es un recurso o material didáctico y cómo se elabora? ¿cuál es su utilidad? y ¿cómo se clasifica?; para después aplicar estos conceptos al diseño y desarrollo del Manual de Fichas de Seguridad (MFS), motivo de este trabajo, y asegurar que su contenido sea de valor para los Laboratorios de Ciencia Básica I y II (LCB I y II), asignaturas de la carrera de Química Farmacéutico Biológica (QFB) a las que va dirigido.

Introducción

Como resultado de las diversas variables que caracterizan la realidad educativa, los profesores requieren llevar a cabo una serie de acciones y decisiones como, por ejemplo, las relacionadas con la necesidad de contar con los materiales educativos que se van a emplear como eje de la actuación pedagógica en un determinado escenario y/o situación académica.

Dichos materiales favorecerán las condiciones requeridas para que el estudiante pueda realizar las actividades de aprendizaje programadas logrando el máximo aprovechamiento.

En el día a día del quehacer docente, los materiales y recursos se han constituido como una fuente importante de estrategias didácticas ya que están indisolublemente ligados a la actividad educativa, motivándola y orientándola.

Actualmente, los sistemas educativos consideran de suma importancia el empleo sistemático, por parte del profesor, de materiales y recursos didácticos que faciliten la comunicación entre docentes y alumnos, y a la vez, favorezcan un aprendizaje significativo en los estudiantes.

2.1.1 Material educativo

Uno de los elementos que intervienen en un proceso educativo son los materiales en los que el docente debe apoyarse para facilitar el proceso de enseñanza y aprendizaje. De acuerdo con Vargas (8) “Los recursos educativos didácticos refuerzan la actuación del docente, optimizando el proceso enseñanza y aprendizaje.” Para ello, los docentes cuentan con diversos materiales educativos, los cuales son definidos como objetos, instrumentos o medios dispuestos en diferentes soportes ya sean físicos, virtuales o abstractos, que cumplen una función mediadora entre el educador y el educando (9, 10). Tal función se desglosa en otras más específicas debido a que cada aprendizaje requiere condiciones concretas y diferentes a otro (10). Dichas condiciones deben ser determinadas mediante planeación y evaluación, pero dependen de los recursos educativos y las estrategias de enseñanza (10).

Para implementar de forma óptima los materiales educativos, el docente debe estar consciente de las necesidades de sus alumnos en relación con el Plan de Estudios y el programa de la materia que imparta y en medida de lo posible, desarrollar o seleccionar, en el caso de ya existir, el material que le permita enriquecer sus clases con nuevas perspectivas de un mismo tema.

Sin embargo, cuando el profesor a cargo realiza la tarea de desarrollar y/o seleccionar un material educativo deberá distinguir si lo que se requiere es un material de apoyo o un material didáctico. A continuación, haremos una distinción entre estos dos tipos de materiales.

2.1.2 Material de apoyo

Llevado a lo particular un material educativo puede ser de apoyo **si facilita el proceso de enseñanza y aprendizaje al tener versatilidad de uso** (9, 11), pues este puede usarse de forma grupal o individual; también será de utilidad si tiene la capacidad de motivar a los estudiantes con diferentes retos que requieran de esfuerzo colectivo (8). Dichas características ayudan a que los estudiantes desarrollen habilidades metacognitivas, es decir, que los estudiantes desarrollen las herramientas básicas que les permitan tomar conciencia de sus fortalezas y debilidades en el proceso de aprendizaje (12), y que a su vez ayude a fomentar un aprendizaje significativo, esto es, un aprendizaje que cobra sentido para ellos en su entorno, porque los sitúa dentro de su contexto.

Como se mencionó anteriormente fomentar el aprendizaje significativo es de suma importancia para el desarrollo de un material educativo y es igual de importante conocer la definición de este tipo de aprendizaje.

El aprendizaje significativo es, de acuerdo con David Ausubel (13), un tipo de aprendizaje en el que un estudiante asocia la información nueva con la que ya posee; reajustando y reconstruyendo ambas informaciones en este proceso.

El aprendizaje significativo supone un proceso en el que la persona recoge la información, la selecciona, organiza y establece relaciones con el conocimiento que ya tenía previamente. Así, este aprendizaje se da cuando el nuevo contenido se relaciona con nuestras experiencias vividas y otros conocimientos adquiridos a través del tiempo (14). Cabe señalar que, en este proceso, la motivación y las creencias personales sobre lo que hay que aprender juegan un papel relevante (13).

Así, de acuerdo con Ausubel (13), para que los materiales educativos propicien el aprendizaje significativo, su diseño y elaboración requiere que cumplan las siguientes condiciones:

Significatividad lógica. Condición que hace referencia a la estructura interna y organizada de los aprendizajes que da lugar a la construcción de significados.

Significatividad psicológica. Se refiere al requerimiento de establecer relaciones no arbitrarias entre los conocimientos previos y los nuevos.

Motivación. Los materiales en su diseño deben considerar elementos que los hagan atractivos a la vista, que faciliten la comprensión, que presenten situaciones reales y de ser posible incluir también elementos que los hagan interactivos.

Dicho en otras palabras, el educando necesita de conocimientos previos en relación con el tema a tratar, para que, a partir de ellos forme asociaciones que le permitan interiorizar nuevos conocimientos y desarrollar nuevas habilidades.

Para que el MFS, motivo de este trabajo, se considere un material de apoyo es necesario que cumpla con las características antes mencionadas. Por lo que, es oportuno señalar, que en el desarrollo del MFS se integraron elementos visuales y gráficos, atractivos, que además de darle la capacidad al manual de motivar al lector, ayudan a localizar rápidamente la información en los diferentes apartados de las Fichas de Seguridad (FS) y favorecen en los estudiantes la construcción de significados al facilitar la integración de la información de las FS a su aprendizaje.

En ese mismo sentido las FS, desarrolladas para las sustancias de uso común en los Laboratorios de Ciencia Básica I y II del área Química de la Carrera de QFB, retoman conocimientos previos, como nomenclatura química, para formar relaciones con nueva información que posteriormente se convertirá en aprendizaje significativo. Por otra parte, el MFS cuenta con una presentación en la cual se definen términos relacionados a la CS, Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL) y Gestión de la Calidad; temas que ayudan al profesor a complementar el temario y hacen del manual un intermediario que proporciona la información pertinente para introducir a los estudiantes en temas de seguridad e invita a indagar más sobre estos mismos.

2.1.3 Definición de recurso didáctico

El término **recurso** o **material**, según San Martín (15), se puede entender como aquellos artefactos que, en unos casos utilizando las diferentes formas de representación simbólica y en otros como referentes directos (objetos), incorporados en estrategias de enseñanza, contribuyen a la construcción de conocimiento, aportando significaciones parciales de los conceptos curriculares.

De acuerdo con Díaz Lucea (16) los **recursos y materiales didácticos** son “todo el conjunto de elementos, útiles, o estrategias que el profesor utiliza, o puede utilizar, como soporte, complemento o ayuda en su tarea docente”. Así, los recursos didácticos deben considerarse siempre como una ayuda para el proceso educativo.

El recurso y material didáctico, denominado también apoyo didáctico o medio educativo es aquel que reúne propiedades/características del material educativo y de apoyo, para convertirlo, en palabras de Morales (17), “en un conjunto de medios materiales que intervienen y facilitan el proceso de enseñanza y aprendizaje”. Materiales, que de acuerdo con el mismo autor, “pueden ser tanto físicos como virtuales, asumen como condición despertar el interés de los estudiantes al adecuarse a las características físicas y psíquicas de los mismos, además de que facilitan la actividad docente al servir de guía al proceso educativo; además, tienen la gran virtud de adecuarse a cualquier tipo de contenido”.

En general para este trabajo se definió que, un **material educativo didáctico** es un objeto o instrumento que facilita la enseñanza y aprendizaje al servir de guía para el proceso educativo, mantener el interés de los estudiantes al apoyarse en recursos visuales y gráficos y puede además adaptarse a las necesidades del estudiante y de cada tema y/o asignatura que cursen los alumnos con respecto a un Plan de Estudios.

2.1.3.1 Elaboración de material didáctico

Para lograr que el material a desarrollar tenga las características descritas en el apartado anterior, autores como Vargas G. (8) dividen el proceso de elaboración de un material didáctico en tres etapas: a) selección, b) composición y c) evaluación. A continuación, se desarrolla sucintamente cada una de estas etapas.

Selección. Es la primera etapa en el desarrollo de un material que implica localizar y recuperar los recursos o componentes pertinentes en relación a los requisitos de creación del material sobre el dominio del contenido disciplinar, los elementos para su enseñanza, los factores técnicos y por último los relacionados con el ingrediente de creatividad.

Composición. Es la segunda etapa del desarrollo del material en la que se integran los componentes seleccionados que formarán parte de la estructura definitiva de éste, de acuerdo a los requisitos pedagógicos establecidos para su creación, y con base al cumplimiento de los requisitos de soporte tecnológico para la entrega y visualización del material.

Evaluación. Esta es la última etapa en el desarrollo de un material. Es la etapa en que se valora que el material cumpla con las especificaciones establecidas inicialmente para su creación y con las expectativas de los potenciales usuarios. Como parte de esta etapa también deberá darse seguimiento a su utilidad pedagógica y usabilidad, vistos como criterios de calidad del material diseñado. En el caso de que dichas cualidades del material no alcancen los niveles aceptables que previamente fueron establecidos en los criterios de evaluación, éstas deberán ser rediseñadas. La evaluación es una actividad dentro del diseño y elaboración de material didáctico que posibilita comprobar si un material satisface las especificaciones o requisitos definidos en su diseño y si estos han sido integrados en su desarrollo, lo que valida si el material elaborado es útil para el fin propuesto y si permite el logro efectivo de los objetivos de cada uno de los participantes en el proceso

educativo. De ser necesario un rediseño del material didáctico diseñado y desarrollado, los resultados de la evaluación serán orientadores en esta tarea.

2.1.3.2 Funciones de los materiales y recursos didácticos

El uso de medios y materiales didácticos en el contexto educativo es de suma importancia para favorecer y consolidar los procesos de enseñanza y aprendizaje (18). Asimismo, estos medios y recursos se constituyen en elementos dinámicos en los diversos escenarios del aprendizaje (19). A su vez, estos medios son el conjunto de dispositivos que, al ser incorporados en las estrategias de enseñanza, contribuyen a la construcción de los aprendizajes en los estudiantes (15).

En este sentido, de acuerdo con Zapata (2016), “cada aprendizaje requiere condiciones concretas y diferentes a otro”. Condiciones que se determinan a través de la planeación y la evaluación, y que están definidas por la interacción de los recursos educativos y las estrategias de enseñanza (12); desempeñando diferentes funciones que afectan los procesos de enseñanza y aprendizaje. Así, y de acuerdo con lo propuesto por Márques (18), la forma en que sean empleados los diferentes medios didácticos y recursos educativos determinará las diferentes funciones que éstos pueden realizar, destacando las siguientes:

Guiar y facilitar los aprendizajes. Esto es, ayudar a los estudiantes a organizar la información, a relacionar y crear nuevos conocimientos para aplicarlos en contextos determinados. Esta tarea requiere el uso de estrategias metodológicas.

Desarrollar habilidades al dirigir la puesta en acción de los conocimientos.

Motivar, despertar y mantener el interés del educando. Es decir, ofrecer una experiencia diferente al estudiante, volviéndose fundamental

considerar en el diseño de materiales didácticos aspectos como formas, colores, estructura, sensaciones, entre otras.

Proporcionar simuladores que permitan la observación, exploración y la experimentación.

Proporcionar herramientas que faciliten la expresión y la creación, tal es el caso de los procesadores de textos o los editores gráficos informáticos.

Evaluar conocimientos y habilidades que se van desarrollando, así como retroalimentar al estudiante.

Por otro lado, de manera más concreta y bajo una perspectiva más amplia, Díaz Lucea (16) señala que los materiales y recursos didácticos deben favorecer principalmente las siguientes **funciones**:

Motivadora: se refiere a la capacidad del material de captar la atención de los alumnos mediante un poder de atracción caracterizado por las formas, colores, tacto, acciones, sensaciones, etc.

Estructuradora: refiere la necesidad de que los materiales se constituyan como medios entre la realidad y los conocimientos, para lograr funciones de organización de los aprendizajes y de alternativa misma de la realidad.

Estrictamente didáctica: enfatiza la necesidad de que exista congruencia entre los recursos materiales a utilizar y los objetivos y contenidos objeto de la enseñanza.

Facilitadora de los aprendizajes: muchos de los aprendizajes en las diversas áreas disciplinares no serían posibles sin la existencia de ciertos recursos y materiales que se tornan en elementos imprescindibles y facilitadores de los aprendizajes, mientras otros solo son facilitadores de estos.

De soporte al profesor: relacionada con el requerimiento que el docente tiene de emplear recursos y materiales que favorezcan la tarea docente

en aspectos, por ejemplo, de programación, enseñanza, evaluación, registro de datos, control, etc.

2.1.3.3 Clasificación de los materiales y recursos didácticos

Justificada la utilidad de los recursos didácticos, el propósito del presente apartado es establecer la tipología de los recursos didácticos, considerando que estos pueden clasificarse en virtud de diversos criterios, como el formato, el propósito, el tipo de medio que se utiliza, el uso didáctico de la información que proporciona al estudiante, la forma de transmitir el mensaje, los estímulos que pueden provocar, etc.

Centrando la atención en los cuatro primeros criterios arriba citados, la literatura nos permitió distinguir los elementos que los conforman, mismos que a continuación son presentados por autores como Moya, Mena Merchán y Reyes F.

De acuerdo con Moya (20), y con base en el formato, los recursos didácticos pueden clasificarse en impresos, material audiovisual, tableros didácticos y nuevas tecnologías de información y comunicación. Esta clasificación, junto con algunos ejemplos de cada uno de los elementos que conforman la clasificación se muestran en el cuadro 2.1.1.

Cuadro 2.1.1 Clasificación de los recursos didácticos con base en su formato

Textos impresos	Manual o libro de estudio Libros de consulta y/o lectura Biblioteca de aula y/o departamento Cuaderno de ejercicios Impresos varios Materiales específicos: prensa, revistas, anuarios
Materiales audiovisuales	Proyectables Vídeos, películas, audios
Tableros didácticos	Pizarra tradicional
Nuevas tecnologías de información y comunicación (recursos educativos informáticos: nTIC)	Software adecuado Programas informáticos (DVD, Pendrive y/o ONLINE). Educativos: videojuegos, lenguajes de autor, actividades de aprendizaje, presentaciones multimedia, enciclopedias, animaciones y simulaciones interactivas TV y vídeo interactivos Servicios telemáticos: páginas web, weblogs, WebQuest, correo electrónico, chats, foros, unidades didácticas Entornos Virtuales de Enseñanza y Aprendizaje Plataformas educativas, Campus Virtual, Aula Virtual, e-Learning

"Moya, A (2010). Recursos Didácticos en la Enseñanza. Innovación y Experiencias Educativas. Granada España". (20)

Por otro lado, la clasificación de los recursos didácticos que propone Mena Merchán (21), tiene como base el propósito que estos persiguen, abarcando así dos grandes tipos de recursos didácticos cuyos propósitos y ejemplos se muestran en el cuadro 2.1.2.

Cuadro 2.1.2 Clasificación de los recursos didácticos conforme a su propósito

Tipo de recurso didáctico	Propósito	Ejemplos
Materiales curriculares	Ayudar al desarrollo del currículo, tanto para la enseñanza como para el aprendizaje	Libros: de texto, de consulta, de ejercicios y práctica, y aquellos otros materiales editados que estudiantes y profesores utilizan para el desarrollo y aplicación de las enseñanzas de acuerdo con el currículo.
		<i>Materiales impresos:</i> estos materiales no desarrollan directamente un contenido del currículo en sus tres aspectos; conceptos, procedimientos y actitudes. Dentro de este apartado pueden incluirse atlas, mapas, libros de láminas, libros de divulgación, enciclopedias, juegos, anuarios, y diccionarios técnicos.
Recursos materiales	Facilitar las actividades de enseñanza y aprendizaje	<i>Materiales audiovisuales:</i> son materiales susceptibles de utilización en todas las áreas, entre ellos se encuentran las películas, los videos, las diapositivas, los proyectores, etc.
		<i>Materiales informáticos:</i> entre este tipo de materiales se encuentran los procesadores de texto, hojas de cálculo y programas informáticos. Con respecto a este tipo de materiales es pertinente distinguir entre programas de aplicaciones (por ejemplo, paquetería de Office) y los de aprendizaje (como puede ser 3D Periodic Table). Por otro lado, también existen los programas elaborados por los propios profesores para el aprendizaje de diversas temáticas.

“Mena Merchán B, Marcos M, Mena JJ. Didáctica y nuevas tecnologías en educación [Internet]. Madrid, España: EAE; 1996 [Consultado 20 Dic 2021]. Disponible en: <https://ulatina.metabiblioteca.org/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=3697>”. (21)

También se muestra en el cuadro 2.1.3 la clasificación que Fernando Reyes Baños (22) hace de los recursos didácticos en función de dos los siguientes criterios: tipo de medio que se utiliza y uso didáctico de la información.

Cuadro 2.1.3 Clasificación de los recursos didácticos de acuerdo con Fernando Reyes Baños

Tipo de medio que se utiliza	
Visuales	Materiales impresos, material visual no proyectado y material visual proyectado
Audibles	Materiales audibles en formato digital y físico (CD), audiolibros, podcast y programas de radio.
Audiovisuales	Material visual no proyectado y material visual proyectado
Electrónicos	Material visual proyectado, con o sin acceso a internet.

Uso didáctico de la información que proporciona a los estudiantes	
Para la transmisión de la información	Transmiten información sobre los contenidos a estudiar
Para la interacción	Fomentan el aprendizaje cooperativo entre los estudiantes para manejar información, elaborar contenidos o realizar trabajos y tareas

"Reyes F. (2007). *Los Recursos Didácticos*. Presentado en México". (22)

Retomando los elementos que Reyes considera para clasificar los recursos didácticos, encontramos que los manuales serían un recurso didáctico visual teniendo la posibilidad de convertirse en electrónico, si este adopta un formato digital. Los documentos que tradicionalmente se trabajaban en forma impresa poco a poco, y con el avance de las TIC, se han ido adaptando a formatos no físicos debido a que ofrecen ventajas como: fácil difusión, transporte y rápida actualización.

Por otra parte, un manual es un recurso didáctico para la transmisión de la información, ya que, permite difundir información entre los usuarios sin la necesidad de una intervención permanente de un supervisor o, en este caso, de un profesor.

Ya explicada la utilidad de los recursos didácticos y habiendo establecido la tipología de estos, el siguiente apartado tratará de la aplicación de los recursos didácticos al diseño y elaboración de material didáctico, apropiado para la enseñanza y aprendizaje de aspectos relacionados con la **seguridad química**, en particular, con las propiedades físicas, químicas y tóxicas de las sustancias químicas; su uso y manejo; así como su almacenamiento y disposición final.

2.1.4 Aplicación de los recursos didácticos al diseño y elaboración de material didáctico.

Con el fin de facilitar el seguimiento de la lectura de este trabajo se elaboró el cuadro 2.1.4, en el que se hace una diferenciación entre el material de apoyo a diseñar y elaborar como producto de esta tesis (MFS) y los subproductos requeridos para su elaboración o, dicho de otra forma, materiales que fueron necesarios para el desarrollo del material de apoyo, y que aquí se les llama precursores, por haberse requerido con antelación a su elaboración.

Cuadro 2.1.4 Precursores requeridos para la elaboración del MFS, producto final de este trabajo de tesis

Producto	Manual de Fichas de Seguridad (MFS) para las sustancias de uso común en los LCB de la carrera de QFB de la FES Zaragoza, UNAM
	Prototipo de Ficha de Seguridad
	Plantilla de FS con formato estandarizado
Precursores	Procedimiento Normalizado de Operación para la elaboración de las Fichas de Seguridad de las sustancias de usos común en los Laboratorios de Ciencia Básica
	Fichas de Seguridad (FS) de las sustancias de uso común en los LCB I y II

Retomando lo expuesto en apartados anteriores en relación con el tipo de recurso a utilizar, se puede decir que este inevitablemente está ligado a los contenidos que se pretenden impartir, a los objetivos que se quieran alcanzar y a la metodología docente a emplear. Estas cuestiones se desarrollarán en los siguientes puntos.

2.1.4.1 Contextualización

El desarrollo de este trabajo inicia ubicando el entorno escolar en el que tendrá uso el material didáctico, producto de este trabajo, estableciendo los objetivos, que persigue y los medios con los que se cuenta para su diseño y elaboración. Además, se da un panorama general de los retos a los que se enfrentan profesores y alumnos al llevar a cabo el trabajo experimental.

Es pertinente señalar que el material didáctico que se diseña y elabora en este trabajo apoyará la Unidad 1 “Introducción al trabajo de laboratorio”, del módulo del LCB I, correspondiente al Ciclo Básico del Plan de Estudios vigente (2016) de la Carrera de QFB de la FES Zaragoza de la UNAM, debido a que es en esta unidad donde, como parte de su contenido, se aborda la “Seguridad en el Laboratorio”, objeto de estudio de este trabajo, desde un enfoque de BPL.

De acuerdo con la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos (FEUM) la seguridad forma parte de los 19 principios generales de BPL (5). Por otro lado, de acuerdo con R. Hill y D. Finster “La seguridad se debe inculcar y trabajar al grado que permee en todos los ámbitos de la vida del individuo” (6). Por lo anterior, en este trabajo se abordará en un siguiente capítulo la seguridad, como principio de BPL y su relación con los principios de documentación, manejo de sustancias químicas, manejo de residuos peligrosos y equipos, instrumentos y otros dispositivos. En un apartado subsiguiente, se desarrollará la seguridad en su evolución hacia una CS.

2.1.4.1.1 El entorno escolar donde se empleará el producto de este trabajo

La Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza (ENEP Zaragoza) fue fundada el 19 de enero de 1976. La ENEP Zaragoza surgió como una alternativa

educativa multidisciplinaria en respuesta al proceso de descentralización de la Educación Superior (ES) emprendido por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en los años 70's. Se ubica al oriente de la Ciudad de México en la Alcaldía Iztapalapa. El 20 de mayo de 1993 se transformó en Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FES Zaragoza).

Esta unidad multidisciplinaria periférica de la UNAM imparte carreras del área de la salud y el comportamiento, así como del área químico-biológica. Dentro de esta última área se imparte la carrera de QFB, carrera eminentemente experimental, en la que se desarrollan **actividades prácticas de laboratorio**, que de acuerdo al Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) se refieren a “la modalidad de aprendizaje (práctica, proyecto y/o experimento) que tiene como objetivo, que los alumnos adquieran las habilidades necesarias para aplicar los conocimientos teóricos adquiridos” (23).

2.1.4.2 Objetivos

Como parte del Plan de Estudios vigente de la Carrera de QFB, se imparte en el segundo semestre del Ciclo Básico el **módulo de LCB I**. El objetivo general del programa de este módulo es “Desarrollar habilidades actitudes y valores; así como adquirir conocimientos a través de la metodología científica al resolver, mediante el **trabajo experimental**, problemas relacionados con la física, química y fisicoquímica”. Es en este mismo sentido, que uno de los objetivos específicos del mismo programa señala que “...**el trabajo experimental se realizará con base en Buenas Prácticas de Laboratorio**” (Plan de Estudios, 2016).

Como ya se indicó con anterioridad, el módulo del LCB I, en la unidad 1 “Introducción al trabajo de laboratorio” compromete abordar la temática de “**Seguridad en el Laboratorio**” como uno de los **principios** de las BPL, que se

relaciona intrínsecamente con otros principios como reactivos, documentación y equipos, instrumentos y otros materiales.

Con base en lo anterior, podemos establecer que toda actividad experimental deberá realizarse en el laboratorio bajo el enfoque de las BPL. También podemos asumir, de acuerdo con la dinámica con que se desarrolla el trabajo práctico en el LCB, que una de las actividades académicas a desarrollar previa a la realización del trabajo experimental en el laboratorio es revisar las propiedades físicas, químicas y tóxicas de las sustancias químicas a emplear que permiten realizar la actividad práctica en el laboratorio con seguridad en relación con la salud de las personas y el cuidado del medio ambiente. Además, deberá conocerse el tipo de residuo que genera el trabajo práctico **con base a la clasificación CRETI** (clasificación que se desarrolla en el apartado 2.1.4, capítulo 2), así como su disposición y/o tratamiento.

Para dar cuenta de esta actividad, los estudiantes deben consultar las **Hojas de Datos de Seguridad (HDS)** de los reactivos que emplearán, así como del producto y/o subproducto(s) de las reacciones y o procesos a realizar; cotejándolas siempre, mediante revisión, con las que aparecen en la Enciclopedia “The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals” (**TMI**), siempre consultando la edición vigente.

En general, los alumnos consultan las HDS, de forma más mecánica que comprensiva, lo que trae como resultado que ellos no sean conscientes del riesgo que esto implica, llegando incluso a considerar que la revisión somera de los aspectos de seguridad es suficiente para trabajar con “**seguridad**”, lo que se ve reflejado en el desarrollo del plan de trabajo, particularmente en la redacción del procedimiento que no contempla los elementos de **seguridad** en atención a un **enfoque de prevención de los accidentes** dentro de los LCB.

Por otro lado, y en consideración a la **nueva dinámica de disposición de los reactivos** en el propio laboratorio, es **impostergable contar** no solo con las HDS de los reactivos, sino **con un material de apoyo**, diseñado a partir de la consulta de las HDS y de la revisión de la Enciclopedia TMI, expreso para uso en el laboratorio que posibilite tanto a alumnos como a profesores el conocimiento

inmediato de las propiedades, físicas, químicas y tóxicas relacionadas con el manejo y uso de los reactivos de uso común en el LCBI y II, que reduzca o minimice la posibilidad de un accidente o exposición a sustancias tóxicas aún a bajas cantidades y concentraciones.

Con el fin de lograr lo anterior, se requiere **diseñar y elaborar un material de apoyo** que atienda la necesidad de contar con información pertinente para ayudar a los estudiantes a profundizar en temas sobre seguridad y cuente con las siguientes **características**: reúna información sobre las propiedades físicas, químicas y tóxicas de las sustancias de uso común en los LCB; su clasificación CRET; las indicaciones de etiquetado; la actuación de primeros auxilios; la indicación del uso del equipo de protección personal (EPP); los pictogramas, el manejo y/o tratamiento de los residuos generados; y qué hacer en caso de emergencia; además de organizar dicha información de manera dinámica con apoyo visual y gráfico. Todo lo anterior en un **espacio único** impreso a color, expreso **para cada sustancia** a la cual, en este trabajo, **se le llamará Ficha de Seguridad (FS)**.

Sin embargo, la **FS** es solo el primer elemento de apoyo que se pretende diseñar y elaborar para fomentar la Cultura de Seguridad (CS) en los LCB, tema que será abordado en el capítulo 3 de esta tesis. Debido a que el número de sustancias químicas utilizadas comúnmente en los laboratorios de docencia de la FES Zaragoza es bastante amplio, se realizó un listado de 39 sustancias químicas dando como resultado el mismo número de FS. Es en este sentido que fue necesario diseñar y elaborar un manual para presentar las 39 FS elaboradas, además de abordar temas como seguridad, riesgo, peligro, incidentes, accidentes, HDS; e incluir un glosario de términos, un listado de frases de peligro (H) y frases de prudencia (P) correspondientes a cada sustancia; una breve introducción a los 4 principios de la CS conocidos bajo el modelo REMP y a la misma CS. Con un formato a color y una organización que facilite identificar sus diferentes secciones llamadas presentación del manual, introducción, fichas de seguridad, anexó 1 y 2; y bibliografía.

Los materiales impresos pueden interpretarse como materiales de apoyo. De acuerdo con la clasificación de Mena Merchán, los materiales impresos son “aquellos que no desarrollan directamente un contenido del currículo en sus tres aspectos: conceptos, procedimientos y actitudes”. Por lo tanto, una **colección de FS**, conformadas como material impreso (y en caso de ser requerido en versión electrónica), que nos permita asociar los elementos arriba citados con cada una de las distintas sustancias a emplear en la actividad práctica de laboratorio, se encontraría dentro de este apartado que, a su vez, dentro de la gran clasificación que hace Mena Merchán, pertenece a recursos materiales, en el sentido de que su propósito es facilitar las actividades de enseñanza y aprendizaje.

En este caso nos referimos a que con el **diseño y elaboración** de este **material de apoyo** se pretende brindar **soporte** a la **enseñanza y aprendizaje** de **aspectos relacionados con la seguridad en el laboratorio**, concretamente con la **seguridad en el uso y manejo de las sustancias químicas** que posibilite reducir la probabilidad de **accidentes**, convirtiéndose en una guía para las actividades prácticas de laboratorio desde una óptica de prevención de accidentes.

2.1.4.3 Medios disponibles

Para llevar a cabo este proyecto se cuenta, entre otros, con los siguientes medios: computadora con procesador Intel PENTIUM, software Microsoft Windows 10, impresora, internet, acceso a HDS de laboratorios (Reactivos Química Meyer y Merck KGaA) (con máximo 5 años de antigüedad) y la Enciclopedia The Merck Index of Chemicals, Drugs and Biologicals el cual puede ser consultado de forma física en la sala de “Consultas Especializadas” en el segundo piso de la biblioteca de Campus II “Dr. José Manuel Álvarez Manilla de la Peña” de la FES Zaragoza, UNAM.

2.1.4.4 Manual de Fichas de Seguridad para las sustancias de uso común en los Laboratorios de Ciencia Básica I y II de la carrera de QFB de la FES Zaragoza, UNAM.

En el presente trabajo se define como manual de fichas de seguridad al documento que: proporciona una breve introducción a la Cultura de Seguridad (CS) planteando sus cuatro principios conocidos como modelo REMP; desarrolla los conceptos de BPL, riesgo, riesgo dinámico, peligro, peligrosidad, incidente y accidente; seguridad, química verde y HDS para adaptar dichos conceptos a las necesidades de: los LCB, los alumnos y profesores. Presenta en forma ordenada alfabéticamente las fichas de seguridad que brindan la información pertinente para prevenir accidentes y en caso de ser necesario enfrentar situaciones de emergencia; manipular de forma segura sustancias químicas y los residuos peligrosos generados durante el trabajo experimental.

El MFS, producto de este trabajo, abonará al cumplimiento de los requisitos del SGC al disponer de un material de apoyo que favorezca la práctica de la seguridad en los laboratorios de docencia.

2.2 La Seguridad como modelo en los Laboratorios de Docencia

Introducción

En los laboratorios de docencia universitaria como es el caso de los laboratorios de la carrera de QFB de la FES Zaragoza de la UNAM, uno de los requerimientos para el trabajo práctico es el manejo de materiales, equipos, instrumentos, reactivos y residuos desde los primeros semestres de la carrera. Semestres en los que resulta indispensable que el alumno identifique los elementos que implica el trabajo experimental, es decir, desde las bases científicas hasta los factores personales, estructurales y ambientales, así como los relacionados con la seguridad. En el caso de los factores relacionados con la seguridad, en el temario del programa para el Laboratorio de Ciencia Básica I (LCB I), están incluidos los principios de Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL) los cuales ayudan a inculcar valores en los alumnos. Valores que si se apropian de ellos les servirán a lo largo de la carrera y de su vida profesional, así como en su vida personal.

Los principios de las BPL pueden consultarse en varias fuentes bibliográficas desde nacionales hasta internacionales, por ejemplo, la NOM-059-SSA1-2015 junto con la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos (FEUM 11ªed) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en el marco internacional.

Cada una de estas tres fuentes bibliográficas consultadas, enfoca las BPL de acuerdo con el entorno para el cual fueron desarrollados sus documentos, es por ello que la OCDE y la NOM-059-SSA1-2015 atienden más al ámbito laboral pues los principios contribuyen a construir un sistema de calidad, mientras que la FEUM nos ofrece un panorama más general que puede ser adaptado para los Laboratorios de Docencia.

En dichos laboratorios resultan fundamentales cuatro principios de BPL, para aprender la disciplina del trabajo experimental, éstos son: manejo de sustancias químicas, manejo de residuos peligrosos, documentación y seguridad. En el contenido de este capítulo se desarrolla cada uno de estos principios, se explica la relación que guardan entre los cuatro y cómo influyen entre sí. Además, se sientan las bases del principio de seguridad con un enfoque preventivo que posteriormente le permite evolucionar a una Cultura de Seguridad.

2.2.1 Seguridad

En el trabajo práctico que se realiza en el laboratorio se espera que, tanto estudiantes como profesores de química, no sólo se familiaricen con las medidas de seguridad que se deben implementar durante el trabajo experimental, ya que la seguridad va más allá de conocer o memorizar reglamentos. La seguridad es todo un conjunto de conocimientos y actitudes que se practican diariamente y deben estar organizados y dirigidos a prevenir situaciones de emergencia. Para construir en los estudiantes un modelo de seguridad, es recomendable enseñar principios como prevención, organización y difusión; y conceptos que están implicados en dicho modelo y cómo lo afectan directamente.

El primer concepto que se plantea en este capítulo es el riesgo, palabra, que de acuerdo con Peretti (24), proviene del latín *resecum* que significa “aquello que corta” lo que se puede interpretar como la interrupción abrupta de algo. Sin embargo, otros autores como Cardona (24) atribuyen el término al griego *rhiza*, alusivo a los “peligros de navegar en un arrecife” en el cual ya se implica el peligro. Este no se debe tomar como un sinónimo de riesgo, pero sí como un componente de este que le atribuye un matiz desafiante en las acciones que se llevan a cabo. Tomando en cuenta el punto de vista de un Organismo Internacional como la Organización Mundial de la Salud (OMS), se tiene que ésta define el riesgo como

“la probabilidad (posibilidad) de que un peligro no sea controlado en una etapa del proceso y afecte la inocuidad del alimento” (25).

Así, por otro lado, y de acuerdo con Jaeger (7), “riesgo es una situación o evento en el que algo de valor humano (incluidos los propios humanos) se ha puesto en juego y donde el resultado es incierto”. Para tener una visión más amplia del riesgo, se le puede poner, por ejemplo, en un contexto epidemiológico, donde se asume que riesgo es la probabilidad de la ocurrencia de una patología en una población determinada, expresado a través del indicador paradigmático de incidencia (26).

Si en algo coinciden los autores mencionados, es en la incertidumbre que constituye que el riesgo sea impredecible, esté presente en cualquier momento y resulte difícil de reconocer dando una falsa sensación de tranquilidad. En contraste, los autores no definen claramente si el peligro es un elemento del riesgo o es un concepto que puede ir a la par del riesgo, para describir situaciones donde puede haber consecuencias negativas para todos los involucrados. En otro ámbito como el de un laboratorio académico, definiremos riesgo como la probabilidad de que ocurra un evento desafortunado que interrumpa las actividades del trabajo experimental y ponga en peligro la integridad de las personas ahí presentes, llámense alumnos, profesores, interlaboratoristas o personal de limpieza, así como la infraestructura.

Como ya se señaló el peligro forma parte del riesgo. Éstos, por ser conceptos que se relacionan estrechamente, son usados con frecuencia como sinónimos. Sin embargo, en un ambiente donde se requiere rigor, como lo es un laboratorio, es preferible distinguirlos. Es en este sentido, que revisando la etimología de la palabra peligro, hallamos que proviene del latín *periculum* que significa “prueba, tentativa, ensayo y después también riesgo” (27), pero como lo señalan Yassi, Kjellstrom, Dekok y Guidotti en la 3^{ra} edición del Diccionario de Epidemiología, peligro es “un factor de exposición que puede afectar a la salud adversamente” (28) estos autores se refieren al peligro como una variable de una ecuación que por influencia de otras variables resulta en riesgo.

Considerando, de acuerdo con los autores citados anteriormente, que peligro se refiere a un factor de exposición al riesgo, adoptaremos la definición de peligro como la certeza de que algo causa daño (28). Así, tomemos como ejemplo, la manipulación de sustancias químicas en el laboratorio, en particular la del ácido clorhídrico (HCl); un ácido fuerte y oxidante, altamente corrosivo, por lo que sus características intrínsecas lo convierten inevitablemente en una fuente de daño. Se dice inevitable porque no es posible quitarle lo corrosivo al ácido, pero sí se puede reducir el daño que éste podría generarnos al entrar en contacto con él.

Siguiendo la lógica anterior pasamos de peligro a peligrosidad la cual es la característica intrínseca de las sustancias o mezclas que es adjudicada por sus propiedades físicas y químicas. Retomando el ejemplo anterior, la capacidad corrosiva del HCl es adjudicada por su propiedad química de ácido fuerte y oxidante y aunque este se trabaje en disoluciones poco concentradas no va a reducir su peligrosidad, pero sí el riesgo de que este cause algún daño (29).

Es así como, en la ecuación anteriormente mencionada, se involucra la peligrosidad como un elemento del riesgo. Esta ecuación podemos representarla de la siguiente manera (7):

$$R = F(\text{exposición}) \dots\dots (1) \quad \text{Donde:} \quad R = \text{riesgo}$$

Como se observa en la formulación anterior, el riesgo está en función de la exposición al elemento al que se le adjudica la peligrosidad. En consecuencia, la exposición tiene como variables la cantidad de masa o volumen, el tiempo y la frecuencia, es decir, que podemos disminuir o aumentar el riesgo que implica trabajar con sustancias químicas dependiendo de cómo movamos estas variables (7), es así como el riesgo pasa a ser dinámico al depender de factores que podemos manipular hasta cierto punto (29).

Con base a esto, podemos remplazar la exposición en la ecuación 1, por las tres variables mencionadas.

$$R = F(\text{cantidad} + \text{tiempo} + \text{frecuencia}) \dots\dots (2)$$

Lo ideal durante el trabajo experimental, sería poder reducir todas las variables implicadas en la ecuación. En el caso de la frecuencia la única manera de reducirla es sustituyendo un reactivo peligroso por otro considerado menos peligroso o no peligroso, opción que nos da la química verde, la cual se enfoca en evitar futuros problemas de contaminación ambiental a través de sus 12 principios. Por lo tanto esta, puede ser empleada al diseñar experimentos que reduzcan o eliminen el uso y la generación de sustancias químicas y residuos peligrosos (30). La química verde será retomada posteriormente, pues su contribución para que la seguridad pase a ser Cultura de Seguridad es mucho más importante de lo que aquí se menciona. Considerando la práctica de los principios de la química verde y retomando el ejemplo del HCl, que además de ser un oxidante, es un ácido fuerte; podemos en un proceso o experimento sustituir este ácido fuerte por un ácido débil, sin que el resultado de dicho experimento se vea afectado.

Continuando con el ejemplo ya citado, en especial el de reducir las variables implicadas en la ecuación de riesgo, podemos aplicar la química en microescala, la cual es una técnica que se basa en disminuir la cantidad y el tiempo de exposición reemplazando el uso de grandes cantidades a cantidades más pequeñas sustituyendo, siempre que sea posible, soluciones y/o sustancias concentradas por soluciones diluidas (31). Considerando que se apliquen simultáneamente la química verde y la química en microescala, es posible manipular las tres variables en la ecuación de riesgo para disminuirlo de forma significativa, y en caso de que el experimento no permita la sustitución del reactivo considerado más peligroso, en este ejemplo el HCl, con la práctica de la química en microescala aún podemos manipular dos variables, favoreciendo la disminución del riesgo.

Después de entender lo que es riesgo debemos delimitarlo al ambiente en el que está inmerso el alumno, esto porque desde la vida cotidiana hasta la vida laboral el riesgo está presente en las diferentes actividades que realizamos.

Aunque parezca que en un laboratorio de química es más evidente la presencia de diferentes tipos de riesgo, en ocasiones, es complicado ubicar en un primer momento todos los riesgos a los que constantemente se está expuesto. En

especial cuando la práctica de la seguridad no es constante. Considerando lo anterior, en el caso de los Laboratorios Docentes de la carrera de QFB en la FES Zaragoza profesores y alumnos están expuestos a riesgos biológicos, eléctricos y químicos al realizar actividades tales como: fraccionar, pesar, preparar soluciones, titular, manejar equipo que se debe conectar a la energía eléctrica y además alcanza altas temperaturas, toma de muestra de sangre y trabajo con animales y/o microorganismos para experimentación.

A pesar de que se identifican tres tipos de riesgos en los Laboratorios Docentes, para los LCB solo los riesgos eléctrico y químico están presentes durante el trabajo experimental. Cuando hablamos de riesgo eléctrico nos referimos a la probabilidad de sufrir una descarga o quemadura por la exposición a una corriente eléctrica, derivada de una instalación defectuosa o de un equipo dañado. Por otra parte, entiéndase riesgo químico como aquel que resulta de una exposición no controlada a un agente químico y de acuerdo con la Legislación y Normas sobre seguridad y salud en el trabajo, agente químico es “todo elemento o compuesto químico, por sí solo o mezclado, tal como se presenta en estado natural o como es producido, utilizado o vertido, incluido el vertido como residuo, en una actividad laboral, se haya elaborado o no de modo intencional y se haya comercializado o no” (32). Retomando esta definición, se puede entender como agente químico a toda aquella sustancia utilizada de principio a fin en un proceso, reacción o análisis químico; considerando como sustancia a los reactivos y a los residuos.

Una rápida identificación de diferentes tipos de riesgos, junto con la comprensión de cómo se relacionan las variables en la ecuación 2 contribuye significativamente a disminuir la incidencia de situaciones de emergencia y a poder controlarlas en caso de que se presenten. Por supuesto, hay más factores que intervienen para que se produzca una tragedia, pero al riesgo es al que continuamente se le toma menor importancia (33).

Lo anterior puede que se deba, a que no se ve la relación que guarda la disminución del riesgo con evitar que una situación de emergencia termine en tragedia, dicha relación se puede entender mejor si aprendemos a diferenciar entre

incidente y accidente. Para la ISO 45001:2018 un incidente es, “un suceso que surge del trabajo o en el transcurso del trabajo que podría tener o tiene como resultado lesiones y deterioro de la salud” (34), mientras que para la Ley General de Salud un accidente es “el hecho súbito que ocasione daños a la salud y que se produce por la concurrencia de condiciones potencialmente prevenibles” (35).

En ambas definiciones se deja claro que son eventos inesperados, diferenciando el incidente por no ser prevenible, ni ocasionar daños a la salud a largo plazo o de importancia médica mayor. Mientras que el accidente sí puede prevenirse y las lesiones resultan ser más graves, pero con la disminución del riesgo se pueden evitar quedando solo en incidentes. Centrándonos en el trabajo experimental, vamos a clasificar a los accidentes que se podrían presentar dentro de los LCB como accidentes de trabajo, que de acuerdo con la Organización Internacional del Trabajo (OIT) tienen subclasificaciones (36). Una de ellas es la clasificación de los accidentes de trabajo según la forma del accidente, desglosada en nueve tipos principales. Aquí sólo se tomarán dos, los cuales engloban a los accidentes que sí pueden ocurrir en los LCB:

- a) Exposición a, o contacto con, corriente eléctrica
- b) Exposición a, o contacto con, sustancias nocivas
 - b.1) Contacto por inhalación, por ingestión o por absorción de dichas sustancias nocivas

Clasificar de esta manera los accidentes permite visualizar, las posibles lesiones a las que alumnos y profesores se pueden enfrentar en caso de un accidente, entendiendo como lesión “el efecto adverso en la condición física, mental o cognitiva de una persona” (34), que puede ser desde leve hasta grave, dependiendo del grado del daño. De acuerdo con los tipos de accidentes ya enlistados, dentro de los LCB podemos tener 4 tipos de lesiones, 1- quemaduras por corriente eléctrica o por contacto con sustancias químicas, 2- irritación por contacto con los ojos y/o la piel, 3- irritación por inhalación, digestión o absorción e 4- intoxicación por inhalación o ingestión.

Detectar el tipo de lesión y el tipo de accidente que puede ocurrir durante el trabajo experimental, sumado a conocer y comprender las propiedades químicas de las sustancias empleadas, junto con otros conocimientos que se abordarán más adelante en este capítulo, ayuda a encontrar e identificar la información pertinente a las situaciones de emergencia, favoreciendo la preparación de los estudiantes para enfrentar este tipo de situaciones. Esto no quiere decir que no se haga nada para prevenir los posibles incidentes y accidentes que pudieran ocurrir.

En este sentido, resulta importante reconocer que uno de los puntos del Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) es la Gestión del Riesgo, y aunque el SGC en la NOM-059-SSA1-2015 está orientado a la calidad de un producto, reconoce que la finalidad de establecer un sistema así es “identificar, mitigar y controlar los riesgos potenciales a la calidad” (37). Es ahí, donde la norma da el enfoque clave de la gestión del riesgo el cual es la prevención, y aunque no se tenga un sistema de gestión de riesgo en los LCB, la seguridad en estos laboratorios se puede abordar desde el mismo enfoque preventivo, apoyada en los principios de las Buenas Prácticas de Laboratorio.

Por lo tanto, es importante adoptar una definición de seguridad que vaya acorde con el enfoque preventivo que se le debe inculcar a los estudiantes para que finalmente la práctica diaria de la seguridad se convierta en una cultura. Para ello es fundamental lograr una comprensión clara de un concepto amplio y complejo como lo es el de seguridad.

Por otra parte, tanto la seguridad como el riesgo se pueden abordar desde diferentes ámbitos. De acuerdo con Michael Foucault (38) la seguridad es un concepto que se refiere a una forma de gobernar con el objetivo de “garantizar que los individuos y la colectividad estén expuestos lo menos posible a los peligros”. Este concepto está ubicado en el ámbito político, pero aporta un elemento valioso para construir la definición de seguridad: exponerse lo menos posible a los peligros.

Por el contrario, para el Departamento de Defensa (DoD por sus siglas en inglés, Department of Defense) de Estados Unidos, la seguridad es “estar libre de aquellas condiciones que pueden causar la muerte, lesión, enfermedad

ocupacional, daño o pérdida de equipo o propiedad, o daño al medio ambiente” (39). Con base en esta definición, la seguridad puede interpretarse como la ausencia de eventos peligrosos. Otro autor que ofrece una definición con elementos similares es Hollnagel, quien define brevemente la seguridad como “la ausencia de eventos no deseados, lo que esencialmente significa la ausencia de riesgo” (40).

Dado que, en semestres superiores, como 7º, los estudiantes suelen revisar normativas para fundamentar sus proyectos, prácticas y/o experimentos, es probable que consulten la NOM-059-SSA1-2015 en su numeral 3.115, donde se define seguridad como “la valoración del beneficio que produce un medicamento frente a sus posibles riesgos en un momento dado” (37). Debido a que la norma está dirigida a la producción de medicamentos, la definición que ofrece también está enfocada en este sentido, pero los elementos de beneficios versus riesgos siguen siendo un común denominador.

Como se puede observar, el enfoque de seguridad muchas veces depende del contexto donde se haya desarrollado dicha definición. Comparando lo propuesto por Foucault y el DoD, en relación con la seguridad, se observa que estos dos planteamientos implican en el concepto de seguridad a los individuos u objetos que deben estar protegidos o alejados de situaciones que pongan en peligro su salud, o en caso de los objetos, comprometa su buen funcionamiento. Por otro lado, Hollange no implica a las personas en su definición, pero, sí reconoce situaciones y espacios que se deben mantener seguros. Contrario a lo que plantea Hollange, para la normativa lo más importante es garantizar que un medicamento ofrezca mayores resultados positivos que negativos, respecto a la salud. Indirectamente, en esta definición están implicados las personas, un elemento en común con la definición de Foucault (38) y el DoD (39).

Para concluir con la revisión del concepto de seguridad, de las propuestas ya citadas se retoman varios elementos que permitirán construir una definición de seguridad que se adapte a los Laboratorios Docentes. El principal elemento rescatado es el peligro, que como bien ya se había mencionado forma parte del riesgo, pues siempre estará implicado en las acciones que puedan ser

potencialmente dañinas. El segundo elemento que es una constante son las condiciones que puedan ocasionar lesiones o causar algún inconveniente a la salud; básicamente se está hablando de incidentes y accidentes.

Es así como en el ámbito de los LCB I y II la seguridad se define como el estado en el cual el riesgo dinámico y las condiciones que pueden provocar incidentes o accidentes son controlados, para prevenir situaciones de emergencia, preservar la salud y el bienestar de los alumnos, profesores y en general de cualquier persona que se encuentre presente durante el trabajo experimental; además de, conservar y proteger las instalaciones y el medio ambiente.

Para lograr eso que llamamos seguridad se debe estar convencido de que la seguridad, y la prevención de accidentes es responsabilidad de todos los que trabajan en el laboratorio. Siendo necesaria la cooperación activa de cada uno de ellos. La seguridad debe ser lo más importante para usted como alumno y para su profesor.

Aunado a lo ya mencionado la buena organización y comunicación entre alumnos y profesores, se convierte en una herramienta que ayudará a implementar con mayor facilidad la seguridad, como un modelo de trabajo que no solo es aplicable a los Laboratorios Docentes sino, también, a la vida diaria.

Por último, es importante ubicar en el mapa curricular en qué semestre y ciclo de la carrera de QFB se imparte el LCB I y II, en el sentido de reconocer los tópicos de seguridad que deben de introducirse como el inicio de una formación en seguridad que resulte en una actitud positiva frente a la seguridad. En la tabla 2.2.1(41) se muestra un ejemplo de los tópicos de seguridad que podrían abordarse en cada semestre y ciclo de la carrera con el fin de continuar con la educación en seguridad y a la vez favorecer la actitud positiva de los estudiantes en relación con la seguridad.

Cuadro 2.2.1 Tópicos sobre seguridad propuestos para incorporar al currículo de la carrera de QFB en la FES Zaragoza, UNAM

Ciclo	Semestre	Materias	Tópicos sobre seguridad que se podrían abordar
Introdutorio	1	Física Matemáticas Química Desarrollo personal Estrategias de aprendizaje	N/A
	2	Laboratorio de Ciencia Básica I* Matemáticas I Química I Seminario de problemas socioeconómicos de México	Introducir a los conceptos básicos de seguridad para laboratorios de docencia; reglas básicas de laboratorio, identificación y clasificación básica de riesgos comunes en los laboratorios químicos académicos. Revisar y analizar las Hojas de seguridad (HDS). Revisar el contenido de la NOM-018STPS-2015, de interés para los LCB: HDS, apéndice B. Pictogramas de peligros físicos y para la salud, apéndice C. Frases H, para los peligros físicos y para la salud, apéndice D. Consejos de prudencia P, para los peligros físicos y para la salud y apéndice E. Instrucciones para la elaboración de HDS. Consultar la clasificación CRETI en la NOM-052-SEMARNAT-2005.
Básico	3	Fisicoquímica I Laboratorio de Ciencia Básica II* Matemáticas II Química II	
	4	Estadística Fisicoquímica II Química Analítica** Química Orgánica**	Introducir al GHS. Evaluar los riesgos durante el trabajo experimental: conocimiento de la relación entre las propiedades químicas, físicas y tóxicas con el riesgo. Conocer las prácticas de trabajo prudentes incluyendo: manejo, almacenamiento y eliminación de sustancias químicas. Respuesta a emergencias: extintores de incendios, derrames de sustancias químicas y fugas de gas.
Intermedio**	5	Análisis de fármacos y materias primas I Bioquímica celular y de los tejidos I Síntesis de fármacos y materias primas I	Reconocer y comunicar los peligros del laboratorio; evaluar el riesgo de los peligros en el laboratorio. Introducir en la diferenciación de riesgos químicos y riesgos biológicos.
	6	Análisis de fármacos y materias primas II Bioquímica celular y de los tejidos II Síntesis de fármacos y materias primas II	
	7	Evaluación de fármacos y medicamentos I Microbiología general I Tecnología farmacéutica I	Diseñar un plan de seguridad para gestionar, controlar y minimizar los riesgos en el laboratorio. Manejar situaciones de emergencia. Conocer las normas que impactan en los laboratorios. Acercar a la seguridad química. Introducir a la bioseguridad.
	8	Evaluación de fármacos y medicamentos II Microbiología general II Tecnología farmacéutica II	
Avanzado Área terminal** (Farmacia Industrial)	9	Desarrollo Analítico Diseño experimental aplicado a la Farmacia Industrial Tecnología farmacéutica II	Ubicar y conocer fuentes de información respecto a seguridad, incluidas organizaciones para la seguridad química en laboratorio. Abordar temas especiales de seguridad, como seguridad biológica, contaminación, descontaminación, botiquines de primeros auxilios y kits para derrames químicos.
	10	Biofarmacia Estabilidad de Medicamentos Microbiología Farmacéutica Seminario de Farmacia	

Nota: *Estos módulos implican contenidos teóricos y actividades prácticas de laboratorio. ** En estos módulos y/o ciclos todas las materias se dividen en teoría y laboratorio. Adaptado de "Hill R, Nelson DA. Strengthening safety education of chemistry undergraduates. Elsevier Inc [Internet] 2005 [Consultado 3 Mar 2022]; 12 (6): p. 19 - 23. 1 tabla: 3 columnas y 5 filas". (41)
N/A: No aplica.

2.2.1.1 Hojas de Datos de Seguridad (HDS)

Como parte de la formación en seguridad de los estudiantes, cuadro 2.2.1, la revisión de documentación será un recurso recurrente no solo para los LCB, sino, para toda la carrera y vida profesional de los futuros QFBs. Un claro ejemplo, y probablemente los primeros documentos que tendrán que aprender a buscar y revisar, son las Hojas de Datos de Seguridad (HDS). En dichas hojas los alumnos podrán encontrar información pertinente sobre seguridad y, en general, datos que les pueden apoyar en la elaboración de los anteproyectos. A su vez, las HDS son documentos de los cuales se puede aprender sobre seguridad y cómo practicarla.

En el caso de los alumnos de los primeros semestres, el primer documento sobre seguridad al que tienen acceso es la Hoja de Datos de Seguridad (HDS), también conocida como Ficha de Datos de Seguridad. Las HDS son elaboradas y proporcionadas por los fabricantes de los reactivos que se manipulan durante el trabajo práctico (42).

Las HDS deben ser localizadas y revisadas por los alumnos como parte de la búsqueda de información sobre las propiedades físicas, químicas y tóxicas de las sustancias químicas involucradas en el experimento que vayan a realizar. Sin embargo, para que los alumnos comprendan la información de las HDS al grado de poder aplicarla, es necesario despertar en ellos el interés por aprender sobre temas de seguridad a la vez que los vuelven una práctica cotidiana.

Con el propósito de instruir a los alumnos en el uso de las HDS, se pueden implementar ejercicios sencillos pero efectivos, por ejemplo, se les puede pedir que localicen en las HDS las secciones que les puedan ser de ayuda en caso de un accidente y resalten, en estas secciones, información que consideren útil para tratar lesiones. Otro ejemplo, más enfocado a prevención, sería localizar las frases de riesgo y prudencia, la clasificación CRETI a la que pertenece la sustancia y qué relación tiene con sus propiedades físicas, químicas y tóxicas.

La intención de proponer estos ejercicios es garantizar que el alumno se tome el tiempo de leer y procesar la información proporcionada por la HDS, no solo

limitándose a imprimir y pegar las hojas en su bitácora. Sin embargo, es importante reconocer que no toda la responsabilidad recae solo en el alumno, pues muchas veces éstos no conocen la importancia o el significado de las HDS. Es en este sentido que interrogantes como ¿qué es una HDS? ¿quiénes las elaboran y distribuyen? sea común que se presenten en estudiantes de segundo o tercer semestre al recibir la indicación de revisar las HDS, o tal vez, estas mismas dudas se presentan en estudiantes de cursos más avanzados, cual sea el caso, siempre será conveniente tratar de responderlas.

Antes de abordar la definición de HDS, es pertinente revisar un poco de historia pues las HDS no surgieron de la noche a la mañana, ni fueron la invención de un solo autor, además, no siempre tuvieron la misma organización y estructura que tienen actualmente. Las HDS que hoy en día se utilizan, son la suma de esfuerzos en el desarrollo de herramientas que permitan desempeñar el trabajo experimental bajo condiciones seguras.

De acuerdo con Kaplan (43), los primeros registros que se tienen, en los que se mencionen características de materiales utilizados como medicamentos y colorantes, se remontan a los principios de los tiempos cuando se intercambiaba información verbalmente. Sin embargo, esto no fue impedimento para que, mediante prueba y error, el hombre acumulara conocimiento en la preparación de drogas y colorantes simples; y describiera sus parámetros de almacenamiento, aplicación y peligros de uso. De esta manera, el hombre sentó las bases para las futuras Hojas de Datos de Seguridad de Materiales (MSDS, por su nombre en inglés, Material Safety Data Sheet).

Más tarde en las antiguas tumbas de los egipcios, se encontraron los primeros registros de materiales escritos, los cuales datan de hace más de 4000 años e incluyen prescripciones de Imhotep, médico personal de faraones en el antiguo Egipto, sobre 1) las fuentes de obtención, 2) el nombre de las preparaciones farmacéuticas, 3) indicaciones relacionadas con su forma de almacenamiento, 4) aplicación y 5) contra indicaciones de uso (43).

Posteriormente, con el desarrollo del sistema de escritura, gracias a los sumerios, y con el avance en las ciencias de la medicina y la química, los escritos hechos a mano sobre materiales químicos se fueron refinando, al grado de que a finales del siglo XIV ya se tenían registros, llamados “Hojas de Datos Químicos”. Pero fue hasta mediados del siglo XIX, cuando los fabricantes comenzaron a proporcionar un tipo de MSDS, aún con el nombre de Hojas de Datos Químicos, éstas ya vislumbraban una estructura parecida a las MSDS que hoy en día son utilizadas, debido a que, en estos escritos, ya se habían trabajado las secciones 1,3 y 9 correspondientes a la MSDS actuales. Se puede decir que el ejemplo más antiguo de MSDS es el de Valentine and Company de 1906 (43).

En los siguientes años las secciones de las MSDS y la información que estas debían concentrar se fueron desarrollando a la par de la industria química y de la industria de seguros. Alrededor de 1968 el Sr. LaRocca junto con su grupo de investigación, elaboró un documento llamado “Hoja de datos de Seguridad del Material”, pero no fue hasta 1998 que la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos (OSHA, por su nombre en inglés, Occupational Safety and Health Administration), recomendó el uso de un formato de MSDS basado en ANSI Z400.1-1993 (43).

Es así como la actual Hoja de Datos de Seguridad (HDS) o Safety Data Sheet (SDS), está conformada por 16 secciones de acuerdo con el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (GHS, por su nombre en inglés, Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals). Hoy en día, la HDS se ha convertido en una herramienta primaria para la comunicación de riesgos químicos y en un documento técnico. Dicho en otras palabras, es un documento estandarizado que está diseñado para informar sobre los peligros que representa una sustancia química (43).

Dentro de la normativa mexicana, también se encuentran definidas las HDS como “la información sobre las características intrínsecas y propiedades de las sustancias químicas o mezclas, así como de las condiciones de seguridad e higiene necesarias, que sirve como base para el desarrollo de programas de comunicación

de peligros y riesgos en el centro de trabajo” (44). Esta definición no identifica, explícitamente, a la HDS como un documento, pero sí la reconoce como un medio para comunicar los peligros y riesgos dentro de una organización.

Retomando elementos de la definición anteriormente citada, se puede observar que la función primaria de la HDS es la comunicación de peligros y riesgos, dándole a las hojas un enfoque preventivo al servir como alerta de potenciales lesiones. Otro factor, que vale la pena resaltar es que las HDS están reguladas por entidades internacionales como la OSHA, la cual se encarga de estandarizar su contenido y exigir su distribución (42). En el caso de México, la institución encargada de esta tarea es la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) a través de la NOM-018-STPS-2015 (44), donde se establecen las especificaciones que deben de cumplir la HDS. Por supuesto, las HDS que circulan en territorio nacional cumplen con las mismas características que las usadas en otros países que hayan adoptado el GHS para comunicar peligros químicos.

En conclusión, las HDS son un documento oficial estandarizado que ayuda a prevenir y atender situaciones de emergencia proporcionando información sobre propiedades físicas y químicas de sustancias y mezclas; medidas de seguridad e higiene; medidas contra incendios y derrames; almacenamiento de sustancias químicas, eliminación de residuos y envases. Es así, como las HDS se consideran una fuente primaria de seguridad de fácil acceso y hasta cierto punto, de fácil uso, ya que, no necesita de conocimiento demasiado especializado. Aunque, lo recomendable es, aunado a lo anterior, estar familiarizado con el GHS, las normas internacionales y nacionales para la regularización de productos químicos, y consultar en otras fuentes todo lo relacionado a la sustancia química en cuestión.

La recomendación de consultar otras fuentes de seguridad a la hora de trabajar con sustancias o mezclas químicas surge de una problemática bastante común ya tratada por expertos como DeMasi (42) quién en un reciente artículo señala las carencias que padecen las HDS elaboradas y distribuidas por los mismos fabricantes, quienes, a pesar de estar obligados a gestionar las HDS y mantenerlas actualizadas, aún deben mejorar su elaboración.

En su artículo, DeMasi (42) menciona que las principales quejas por parte de los usuarios son datos faltantes, incompletos o datos contradictorios entre fabricantes. Aunque, claramente estos inconvenientes son desventajas que autores como él, buscan entender y resolver; en los Laboratorios Docentes pueden utilizarse para formar en el alumno un criterio que lo impulse a cuestionarse ¿qué hacer en caso de encontrar, en las HDS, datos incompletos o faltantes? ¿cómo saber que los datos proporcionados son confiables? y lo más importante, volverlo proactivo en la búsqueda de información.

En caso de que los datos faltantes sean sobre medidas de seguridad e higiene una forma efectiva en la que el alumno puede resolver este problema, es adquiriendo y comparando HDS de diferentes proveedores, procurando que estén actualizadas y correspondan a la misma sustancia. Por el contrario, si los datos faltantes corresponden a propiedades físicas y químicas, siempre se pueden consultar libros como Fundamentos de Química Analítica de Douglas A. Skoog o Análisis químico cuantitativo de Daniel C. Harris, por mencionar algunos; donde se pueden encontrar propiedades de sustancias muy concurrentes.

Sin embargo, la opción más efectiva es acudir al The Merck Index of chemicals, drugs and biologicals; el cual es una enciclopedia sobre productos químicos, fármacos y productos biológicos que, durante 120 años, ha sido considerada una fuente de información autorizada y fiable. Esta enciclopedia es publicada por la compañía farmacéutica Merck & Co. y actualmente se puede encontrar en línea gracias a las licencias adquiridas por The Royal Society of Chemistry. Las monografías del TMI, no solo proporcionan datos sobre las propiedades químicas y físicas; también brindan información sobre manejo, almacenamiento y eliminación (45).

El alumno, como usuario final, debe aprender a resolver problemas como la falta de datos o datos incongruentes porque no se puede quedar con dudas, que en caso de una situación de emergencia lo hagan presa del pánico o lo conviertan en una fuente de accidentes por sus acciones desinformadas.

Ya se planteó el punto de vista de una de las partes afectadas, los usuarios. Sin embargo, “los fabricantes de HDS se quejan de la falta de información consistente, la dificultad para obtener información de calidad y los costos de administrar los documentos” (42), aunque pareciera que estos inconvenientes por los que pasan los fabricantes, simplemente desembocan en la falta de datos o datos incompletos, en realidad, es mucho más grave, como lo explica Kolchinski (46) en su artículo titulado “Cuando las hojas de datos de seguridad son un peligro para la seguridad”.

En dicho artículo, Kolchinski enlista los errores típicos en las HDS que en su mayoría están relacionados con la química y tienen implicaciones serias en la seguridad. El autor los clasifica en (46):

1. Contradicciones en datos ya existentes en la literatura
2. Declaraciones contradictorias en diferentes partes del mismo documento
3. Advertencias insuficientes que no brindan detalles sobre los peligros y no usan un lenguaje de advertencia que distinga a los peligros graves de los moderados
4. Uso excesivo de formatos sin cuestionar los casos donde se deben hacer excepciones o ajustes
5. Atención limitada a las reacciones de descomposición y otros procesos secundarios

Como parte de la argumentación, el autor explica que para la elaboración de las HDS muchas veces el personal involucrado es reducido y no necesariamente competente en las áreas cubiertas por las hojas (46). Otro factor que juega en contra es el tiempo, pues como bien lo explica, la cantidad de documentos exigida para la comercialización de sustancias es abrumadora, y resulta contraproducente cuando no se cuenta con información de seguridad real y a pesar de ello el fabricante debe emitir la HDS (46).

Sería lógico pensar que la forma de agilizar la emisión de HDS es utilizando formatos “universales”, cosa que el autor no recomienda, pues en sus palabras “las

declaraciones generales reemplazan las recomendaciones basadas en el conocimiento” (46). Resultando en HDS que cumplen con lineamientos legales, pero no siempre contribuyen a mejorar la seguridad.

La conclusión a la que se llega en el artículo para mitigar esta problemática concuerda con la recomendación antes mencionada, es decir, procurar la inclusión de otras fuentes disponibles para su análisis sobre seguridad (46). Así la revisión en más de una fuente demanda como mínimo hacer una comparación de al menos dos HDS. Sin embargo, si realmente se desea incursionar y poner en práctica la seguridad, se debe estar familiarizado con las declaraciones de seguridad del TMI.

Aunque el uso de plantillas puede resultar inconveniente en ocasiones como ya lo explicó Kolchanski (46), es cierto que adoptar un formato universal facilita la comunicación de peligros entre, países, fabricantes e individuos. Es el caso del formato aceptado internacionalmente para las HDS, el cual está organizado en 16 secciones, según lo establece el GHS (47). Dichas secciones se muestran en la figura 2.2.1.

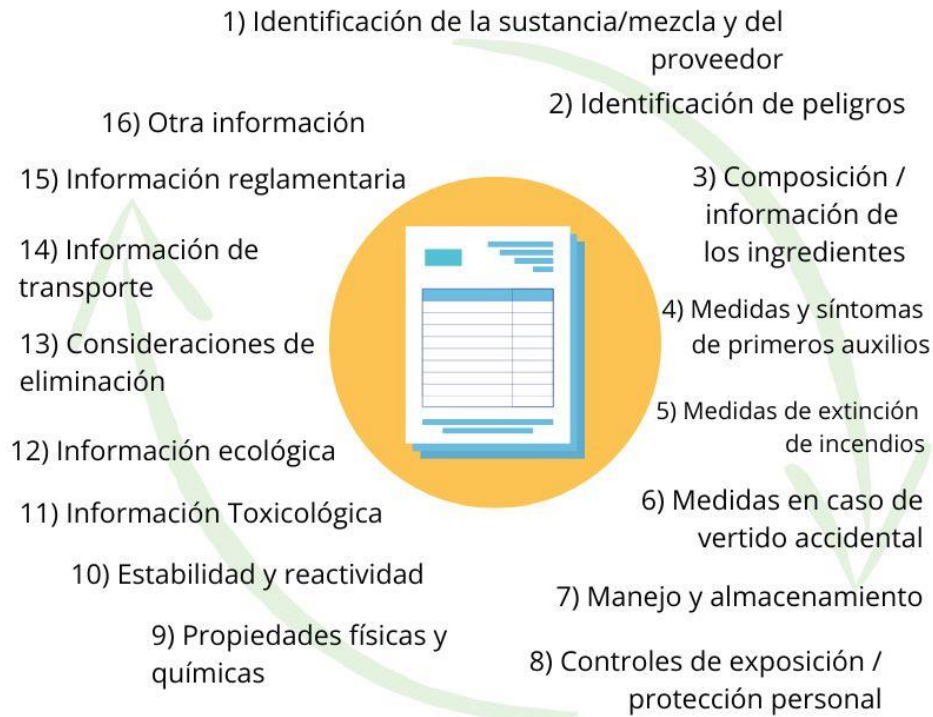


Figura 2.2.1 Las 16 Secciones de la Hoja de Seguridad establecidas por el GHS
Elaboración propia

La implementación del GHS en México, como ya se mencionó, es a través de la NOM-018-STPS-2015 llamada “Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo” (44) en la cual se describe, a partir del numeral 9, el contenido de las 16 secciones de las HDS. Por otra parte, en el apéndice B, de esta misma norma, se encuentran los Pictogramas de peligros físicos y para la salud los cuales son retomados del GHS. Así mismo, en los apéndices C y D se proporciona, respectivamente, el listado de Frases H, para los peligros físicos y para la salud; y el listado de Frases P de consejos de prudencia, para los peligros físicos y para la salud (44). Y, por último, también ofrece una guía de símbolos y letras del equipo de protección personal los cuales no son normativos, es decir, que se pueden adaptar dependiendo de las necesidades del fabricante o del usuario (44).

Los países que adopten el GHS deben de contar con normativas que le permitan implementar este sistema de comunicación de peligros, ya que más que

un requerimiento legal este es una recomendación. Tal es el caso de México que lo implementa a través de la NOM-018-STPS-2015, lo que facilita la importación y exportación de productos químicos (47). Por otro lado, desde el punto de vista educativo, para los alumnos dicha norma es una fuente valiosa de conocimientos aplicados de seguridad y un primer acercamiento al GHS, el cual puede resultar complicado para un alumno de primeros semestres, pero no imposible de comprender si se trabaja de la mano del profesor.

2.2.1.2 The Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals (GHS)

El Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos, por su traducción al español, es el resultado de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de 1992, donde el principal acuerdo fue la protección del medio ambiente y la salud humana con respecto al manejo seguro de sustancias y mezclas químicas (48). Con el fin de lograr lo anterior, se propuso la implementación de un sistema uniforme con alcance global para la clasificación de sustancias, la identificación y comunicación de peligros; para que, al ser adoptado por un país, el GHS sustituya el sistema implementado en dicha nación (48).

La implementación de este sistema también ayudaría a derribar las barreras comerciales entre países, al trabajar todos bajo una misma dirección y lograr que el intercambio de productos químicos se vuelva más eficiente y a la vez seguro (48). Con todo esto como objetivo, la elaboración del sistema fue lenta debido a diversos factores, como, la complejidad en el tema de los riesgos químicos, la cantidad de diferentes sistemas nacionales e internacionales que predominan alrededor del mundo, las exigencias por parte de los países que planean implementar el sistema

para que éste tenga similitudes con el sistema implementado en dicho país; entre otras cosas (48).

Lo anterior, se vio claramente reflejado en el largo periodo que tomó poder presentar una versión terminada del sistema GHS en 2002, la cual, aunque fue tomada como una versión final, tuvo que pasar por severas revisiones de expertos siendo la quinta revisión la última en 2013 (figura 2.2). También, se vio reflejado en lo complejo y extenso que es el documento, 529 páginas, que dependiendo de cada país puede ser más o menos extenso (48).

Para México fue aún más larga la espera, pues no fue hasta el 2015 cuando por fin fue aceptado el proyecto de norma NOM-018-STSS-2015, con el cual quedaron establecidas las pautas para implementar el GHS en todos los centros de trabajo en los que se manipularan sustancias químicas. Sin embargo, no fue hasta 2018 que esta norma entró en vigor, con ello, fueron necesarios los cambios en los laboratorios que prestan servicios, pero también en las instituciones educativas (44). Aunque la actual normativa brinda un panorama de lo que es y cómo funciona el GHS, lo cierto es que para estar actualizados con este sistema es recomendable revisar la 9ª edición publicada en 2021.



Figura 2.2.2 Línea del tiempo sobre el desarrollo del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos

Nota: Los años de las actualizaciones fueron tomados de diferentes fuentes. "Kaplan SA. Development of Material Safety Data Sheets. En: 191st ACS. National Meeting. EUA, New York: Division of chemical health and safety; 1986. p. 13 – 18". (43)
 "Domínguez A. La implantación del GHS en México [Tesis ingeniería química]. México; Facultad de Química, UNAM. 2015". (48)

Como cualquier propuesta innovadora, el GHS ha sido analizado por diferentes expertos, los cuales han señalado las ventajas y oportunidades de su implementación como elemento de seguridad en los laboratorios químicos, tomando consideración en si se desea implementarlo en otro tipo de laboratorios. Uno de los expertos en seguridad en los laboratorios de docencia es Hill R. (49), quien menciona el conflicto que puede llegar a generar la clasificación de riesgos del GHS al usar una escala diferente a la del NFPA (National Fire Protection Association), ya que, en la escala del GHS la severidad del riesgo va decreciendo conforme incrementa el número de la categoría. En forma contraria, en la escala del rombo del NFPA la severidad incrementa al aumentar el número de la categoría (49). Por

ejemplo, mientras para el GHS una categoría 1 indica una severidad alta para el NFPA una categoría 1 indica una severidad baja.

Aunque el GHS es un documento que constantemente presenta cambios, es prudente presentar en esta sección una descripción práctica sobre cómo la información de peligros químicos recopilada en el GHS es utilizada en las etiquetas y en las HDS de productos químicos.

Con base a lo anterior es conveniente comenzar por mostrar cómo el GHS regula la clasificación de sustancias y mezclas en riesgos físicos, riesgos para la salud y riesgos para el medio ambiente (47). Así, dependiendo del riesgo intrínseco que represente la sustancia o mezcla es al tipo de riesgo al que pertenece, es decir, cómo afecta y a qué afecta.

Cada riesgo está dividido en clases de riesgos y para saber a qué clase pertenece una sustancia o mezcla, primero se define la naturaleza de su peligro o su peligrosidad (47). Para determinarlo se debe tener conocimiento de las características intrínsecas de la sustancia, como lo son las propiedades físicas y químicas que hacen que una sustancia sea un ácido o una base fuertes, un ácido o una base débil; y son las mismas que le confieren peligrosidad al volverla corrosiva, explosiva o reactiva (47). Por último, las clases de riesgo también se dividen en categorías de acuerdo con la severidad del peligro, la cual va decreciendo, asignándosele cada vez un menor número en la lista, siendo las más dañinas las primeras en la lista como se muestra en el cuadro 2.2.2 (47).

Para explicar mejor lo anterior, podemos retomar la tabla que Ribeiro (47) y colegas elaboraron, para mostrar cómo los tipos de riesgo se van desglosando en diferentes subcategorías, gracias a esto la clasificación de las sustancias y mezclas químicas se vuelve más completa y describe con mayor claridad la peligrosidad inherente de las sustancias. De igual forma, esta tabla es la base para la construcción del código alfanumérico de las frases H y P, como se muestra en el cuadro 2.2.2.

Cuadro 2.2.2 Tipos, clases y categorías de riesgos (GHS)

Riesgos	Clases de Riesgo	Categorías de riesgo
(2) Físicos	Explosivos	Explosivos inestables División 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6
	Gases inflamables (incluidos gases inestables)	Categorías 1, 2 Categoría A (gases químicamente inestables) Categoría B (gases químicamente inestables)
	Corrosivo para metales	Categoría 1
(3) Para la salud	Toxicidad aguda	Categorías 1, 2, 3, 4, 5 (oral) Categorías 1, 2, 3, 4, 5 (cutánea) Categorías 1, 2, 3, 4, 5 (inhalación)
	Peligroso para el entorno acuático, a corto plazo (agudo)	Agudo 1
		Agudo 2
Agudo 3		
(4) Para el medio ambiente	Peligroso para el entorno acuático, a largo plazo (crónico)	Crónico 1
		Crónico 2
		Crónico 3
		Crónico 4

Nota: Esta es una versión corta de las clases y categorías de riesgos que normalmente usa el GHS, con fines de ejemplificar cómo está organizado el sistema.

Adaptado de "Ribeiro M, Yunes S. Machado A. Assessing the greenness of chemical reactions in the laboratory using updated holistic graphic metrics based on the globally harmonized system of classification and labeling of chemicals. *jchemeduc* [Internet]. 2014 [Consultado 4 Mar 2022]; 91(11): p. 1901 - 1908.

[Tabla] Washington: Journal of Chemical Education. 2014. 1 tabla: 3 columnas y 30 filas". (47)

2.2.1.2.1 Frases H (Hazard) y P (Prudence)

Para el GHS lo primordial es facilitar la comunicación de riesgos sin importar el lugar o idioma. Es por esta prioridad, que además de clasificar los riesgos el GHS también proporciona un código alfanumérico que corresponde a frases de identificación de riesgos y frases de consejos de prudencia, para agilizar la identificación de una sustancia peligrosa y, por lo tanto, saber qué cuidados se deben tener durante su manejo.

Consultando la normativa mexicana, se observa que ésta proporciona un listado muy práctico de las fases H y P, el cual se puede consultar en los apéndices C y D de la NOM-018-STPS-2015 (44). Es muy importante que los alumnos de QFB se acerquen a estas frases desde los primeros semestres de la carrera y reconozcan que las HDS no son el único documento donde las pueden encontrar. Sin embargo, el solo saber dónde encontrarlas no es suficiente para fomentar en los estudiantes una actitud positiva de seguridad, para ello, es indispensable que comprendan la estructura de los códigos de las frases.

Retomando la tabla 2.2.2, a cada categoría y clase se les asignan indicaciones de riesgo que son usadas para caracterizar los peligros. Estas indicaciones de riesgo están dadas por las frases H las cuales describen la naturaleza y severidad del riesgo que representa una sustancia o mezcla química (47). A su vez, las frases H están representadas por un código de riesgo que se compone de la letra H, seguida de tres números como se observa en la figura 2.2.3 (47).

La palabra hazard está representada por la letra H, de la cual la traducción en español es riesgo, aunque en algunas bibliografías se traduce como peligro en este trabajo su traducción siempre será riesgo. Los tres números siguientes a la letra corresponden a dos criterios: tipo de riesgo y clase de riesgo. Así, el primer número indica el tipo de riesgo, que de acuerdo con la tabla 2.2.2 se subdivide en 3 tipos: (2) Riesgos físicos, (3) Riesgos para la salud y (4) Riesgos para el medio

ambiente (47). Finalmente, los dos últimos números corresponden a la numeración secuencial de las clases de riesgos (47).

Cada código alfanumérico de peligro está diseñado para usarse como referencia de una frase en específico, sin embargo, éstos no sustituyen a las frases de riesgo o prudencia (47). Por lo tanto, cuando se utilice un código de riesgo éste siempre debe estar acompañado por la frase H correspondiente. En la mayoría de los casos, cuando a una sustancia o mezcla química se le asigna una frase H, también se le asignan pictogramas (47).

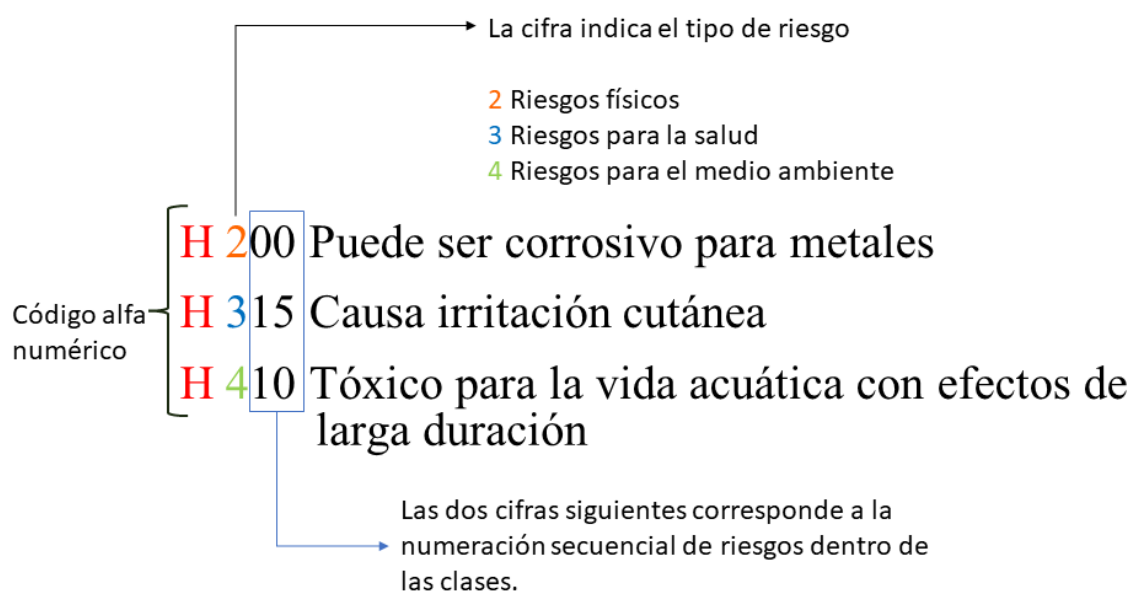













Figura 2.2.3 Ejemplo de frases H (riesgo) para mostrar qué representan los elementos que conforman el código alfanumérico

Adaptado de “Ribeiro M, Yunes S. Machado A. Assessing the greenness of chemical reactions in the laboratory using updated holistic graphic metrics based on the globally harmonized system of classification and labeling of chemicals. *jchemeduc* [Internet]. 2014 [Consultado 4 Mar 2022]; 91(11): p. 1901 – 1908”. (47)

De acuerdo con la NOM-018-STPS-2015, pictograma es “aquella composición gráfica que contiene un símbolo en el interior de un rombo con un borde rojo o negro, un color blanco de fondo, y que sirve para comunicar informaciones específicas de peligro de una sustancia o mezcla” (44). Dentro de esta definición la norma también estandariza el formato que deben tener los gráficos para que se les considere un pictograma (44). Como tal, los usuarios no pueden

elaborar sus propios pictogramas pues estos ya están estandarizados e incluso tienen su propia clasificación como se muestra en el cuadro 2.2.3.

Cuadro 2.2.3 Pictogramas de peligros físicos, para la salud y para el medio ambiente, acordes con la NOM-018-STPS-2015

Pictogramas de peligro físico, para la salud y para el medio ambiente														
Peligros físicos														
Clase de peligro	Explosivos.		Inflamables.		Comburentes.		Gases a presión.		Corrosivos para metales.					
Pictograma														
Peligros para la salud														
Clase de peligro	Sensibilizantes respiratorios y cutáneos.		Toxicidad específica para determinados órganos tras una exposición única.		Mutagenicidad en células.	Carcinogenicidad.	Tóxicos para la reproducción y efectos sobre la lactancia o a través de ella.	Toxicidad específica para determinados órganos tras exposiciones repetidas.	Peligro por aspiración.	Irritación cutánea y ocular.	Lesiones oculares graves.	Toxicidad aguda por ingestión.	Toxicidad aguda por vía cutánea.	Toxicidad aguda por inhalación.
Pictograma														
Peligros para el medio ambiente														
Clase de peligro	Peligro para el medio ambiente.													
Pictograma														

En la anterior tabla, los pictogramas están clasificados según los tres tipos de riesgos y clases de peligro que considera el GHS (43, 44), sin embargo, para conocer las frases que se le asignan a cada uno se debe consultar la NOM-018-STPS-2015 (44) o la última actualización del GHS.

Continuando con las frases de prudencia, por su traducción al español, estas describen las medidas recomendadas que deben ser tomadas para minimizar o prevenir efectos adversos causados por la exposición a sustancias y mezclas peligrosas o por un mal manejo y almacenamiento de éstas (47). Al igual que las frases H, el código de las frases de prudencia está compuesto por una letra P y tres números.

El primer número después de la letra corresponde al tipo de consejo de prudencia, que de acuerdo con el GHS se clasifica en 5 tipos diferentes (47). Los últimos dos números corresponden a la secuencia numérica con la que están ordenados los consejos de prudencia dentro de los tipos (47). Esta descripción se puede entender mejor con la figura 2.2.4.

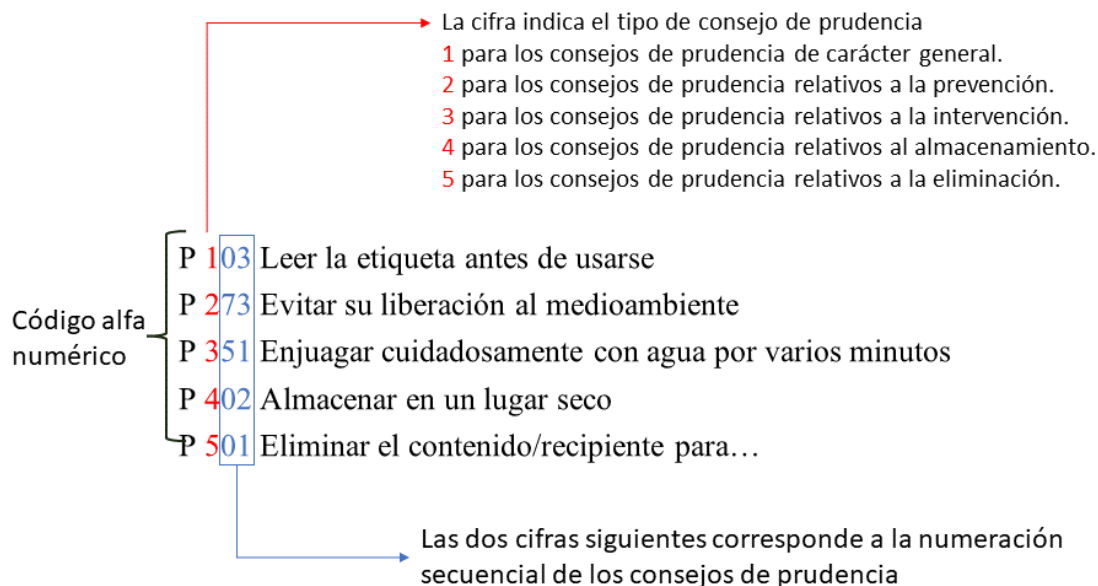


Figura 2.2.4 Ejemplo de frases P (prudencia) para mostrar qué representan los elementos que conforman el código alfanumérico

Adaptado de "Ribeiro M, Yunes S, Machado A. Assessing the greenness of chemical reactions in the laboratory using updated holistic graphic metrics based on the globally harmonized system of classification and labeling of chemicals. *jchemeduc* [Internet]. 2014 [Consultado 4 Mar 2022]; 91(11): p. 1901 – 1908". (47)

En conclusión, las frases H (riesgo) y P (prudencia) son un elemento valioso del GHS para facilitar la comunicación de riesgos al transformar los tipos de riesgos y los consejos de prudencia en breves pero claras indicaciones que ayudan a prevenir accidentes y, por lo tanto, contribuyen a minimizar el riesgo de manejar sustancias y mezclas químicas. Por consiguiente, enseñar estas frases en los Laboratorios Docentes promueve la formación de un lenguaje que permite una organización eficiente entre alumnos y profesores durante el trabajo experimental.

2.2.1.3 NORMA Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2015, Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo

Como ya se abordó, dentro del ámbito normativo nacional se encuentra la NOM-018-STPS-2015 (44), la cual responde a la implementación del GHS en México como lenguaje en la comunicación de riesgos y peligros químicos dentro de los centros de trabajos para prevenir daños a los trabajadores y al personal en caso de una situación de emergencia.

Aunque las normas oficiales mexicanas están diseñadas para ser implementadas en el ámbito laboral, la revisión de estas mismas dentro del laboratorio de docencia aporta conocimientos que van relacionados con los contenidos del Plan de Estudios. En el caso de los LCB, en su programa se abordan temas como documentación en el laboratorio y seguridad en el laboratorio los cuales se relacionan con la norma aquí citada. Lo anterior porque en la norma se establecen los lineamientos que las HDS deben seguir para poder cumplir con su propósito de informar sobre las características de las sustancias y ser una base para implementar en los lugares de trabajo sistemas para la comunicación de riesgos y peligros.

Esta misma norma retoma elementos del GHS como los pictogramas y las Frases H (riesgo) y P (prudencia), que son fundamentales para fomentar la

seguridad durante el trabajo experimental y refuerzan los temas que ya contempla el programa del LCB I. Otra ventaja que proporciona esta misma norma es que en el numeral 4 define conceptos básicos como riesgo, peligro y HDS, entre otros (44), que resultan de gran ayuda para abordar y explicar la importancia de la seguridad en los laboratorios.

Además de esta norma existen otras, por ejemplo, NOM-052-SEMARNAT-2005 (50), que sirve de base para implementar un modelo de seguridad en cualquier lugar que lo necesite debido al manejo de sustancias químicas que allí se lleve a cabo. Es en este sentido, que se recomienda su consulta para alumnos que estén cursando los LCB I y II.

2.2.1.4 Clasificación CRETIB

Además de la adopción del GHS, en México se han implementado otras medidas para minimizar y prevenir los accidentes en los centros de trabajo, apoyando también a Instituciones Académicas para formar profesionistas consientes y proactivos en la implementación de la seguridad. Tal es el caso de **CRETIB** (44, 46), acrónimo de clasificación de las características a identificar en los residuos peligrosos y que significa: **C**orrosivo, **R**activo, **E**xplosivo, **T**óxico ambiental, **I**nflamable y **B**iológico-infeccioso.

Esta clasificación y el procedimiento para identificar a un residuo como peligroso están establecidos en la NORMA Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 (50), que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. En esta misma norma se encuentran listados de residuos peligrosos junto con un código que se les asigna según su aparición en la lista y si provienen de una fuente específica o no específica (50).

La importancia de revisar esta norma junto con los alumnos es evitar que al finalizar el trabajo experimental el área de confinamiento para desechos químicos se vea invadida por residuos mal envasados y etiquetados que atentan a la

seguridad de los alumnos, profesores y del personal que se encarga de recolectar los residuos en la facultad. Por lo que, es necesario concientizar a los alumnos, en el sentido de que el trabajo experimental también abarca el manejo y/o tratamiento de los residuos de la reacciones o procesos químicos efectuados.

Retomando la clasificación CRETIB (50) dentro de los LCB se adapta a CRET1, debido a que los experimentos que se plantean durante los primeros dos semestres no generan residuos biológico-infecciosos. Aun así, los alumnos están expuestos constantemente a sustancias y residuos químicos peligrosos. Es en este sentido que, a continuación, se resumen las características que según la NOM-052-SEMARNAT-2005 vuelven a un residuos o sustancia corrosivo, reactivos, explosivo, tóxico o inflamable (50).

Cuadro 2.2.4 Características que definen a un residuo como peligroso

Corrosivo	Reactivo	Explosivo	Tóxico Ambiental	Inflamable
Es un líquido acuoso o un sólido que cuando se mezcla con agua destilada presenta un pH \leq 2 o pH \geq 12.5.	Es un reactivo o residuos (líquido o sólido) que después de ponerse en contacto con el aire se inflama en un tiempo menor a cinco minutos sin que exista una fuente externa de ignición.	Cuando es capaz de producir una reacción o descomposición detonante solo o en presencia de una fuente de energía o si es calentado.	El extracto PECT, obtenido contiene cualquiera de los constituyentes tóxicos listados en esta Norma en una concentración mayor a los límites.	Es un líquido o una mezcla de líquidos que tiene un punto de inflamación inferior a 60,5°C
Es un líquido no acuoso capaz de corroer el acero al carbón.	Cuando se pone en contacto con agua reacciona espontáneamente y genera gases inflamables en una cantidad mayor a 1 litro * kilogramo * por hora.			No es líquido y es capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos a 25°C
				Es un gas que, a 20°C y una presión de 101,3 kPa, arde...
				Es un gas oxidante que contribuye más que el aire, a la combustión de otro material.

Nota: El extracto PECT es el lixiviado a partir del cual se determinan los constituyentes tóxicos del residuo y su concentración con la finalidad de identificar si éste es peligroso por su toxicidad al ambiente. "México. Secretaría de Gobernación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. NOM-052-SEMARNAT-2005. Diario Oficial de la Federación, Tomo DCXXXIII No. 17 (Jun. 23, 2006)". (50)

En los LCB no se realizan los procedimientos que se mencionan en la NOM-052-SEMARNAT-2005 para poder clasificar a un residuo como peligroso, pero sí se generan residuos peligrosos que de acuerdo con la ley son definidos como “cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó” (50). Los productos, que resultan de reacciones, procesos y/o análisis químicos realizados en el laboratorio, ya no se pueden volver a utilizar en otras actividades experimentales y/o procesos por esta razón la ley exhorta a eliminarlos mediante la contratación de servicios especializados en ello, sin embargo, dentro de las instalaciones del laboratorio de docencia es imprescindible que los desechos sean envasados y etiquetados adecuadamente para facilitar su recolección.

Por último, el uso de la clasificación CRETÍ dentro de los Laboratorio Docentes de la FES Zaragoza, se ve reflejado en el Procedimiento de manejo de residuos generados en los laboratorios de docencia (SGC-FESZ-PO06) desarrollado por el Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) el cual establece la etiqueta (figura 2.2.5) que se debe utilizar para identificar los envases de residuos químicos dentro de los Laboratorios de Docencia, por lo tanto, también dentro de los LCB (51).

Sistemas de Gestión de la Calidad de los Laboratorios de Docencia

ETIQUETA DE RESIDUOS QUÍMICOS

Nombre del generador: _____

Nombre del reactivo o mezcla _____

Concentración y/o cantidad: _____

Nombre de la reacción o análisis: _____

Unidad / Carrera / Semestre / Grupo _____

Edificio / N° de Laboratorio: _____

Fecha: _____

Marcar con una X lo que corresponda

C R E T I

Corrosivo Reactivo Explosivo Tóxico Inflamable

Figura 2.2.5 Etiqueta de residuos químicos estandarizada por el procedimiento SGC-FESZ-PO06

Nota: Reproducción de la etiqueta indicada para su uso en el etiquetado de residuos, contenida en el PNO "SGC-FESZ-PO06". (51)

2.2.2 Principios de Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL)

Como ya se mencionó anteriormente la seguridad es un concepto que se aborda en diferentes ámbitos, ya sea laboral o académico. En un ambiente académico como lo es el LCB I, la seguridad es abordada como uno de los 19 principios de BPL, acorde con la FEUM, tomando como enfoque la prevención de accidentes durante el trabajo experimental. No obstante, como se verá en esta última parte del capítulo 2.2 y a lo largo del capítulo 2.3, la seguridad como principio de BPL es el primer paso en la formación sobre temas de seguridad de los estudiantes, pero no debe ser el único. Es en ese sentido que a lo largo de la carrera de QFB en la FES Zaragoza, es un requerimiento que se aborden temas que refuercen la práctica de

la seguridad en las actividades experimentales y cotidianas de los estudiantes, además de enseñar la relación de la seguridad con los otros principios de BPL para terminar de integrar estos principios al pensamiento y actuar crítico de los alumnos.

Las BPL aparecen, por primera vez, como un proyecto de norma en 1976 cuando la Administración de Alimentos y Drogas (FDA, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos, encontró en algunos estudios analíticos resultados incongruentes (52). Esto resultó en inspecciones programadas a diferentes laboratorios farmacéuticos donde se evidenciaron datos contradictorios producto de prácticas inaceptables (52, 53). Estas inspecciones formaban parte de un programa desarrollado por la FDA, para asegurar la calidad e integridad de los medicamentos (53). Para noviembre de ese mismo año, aparecen publicadas en el Federal Register (FR) las propuestas para las BPL, las cuales incluían especificaciones basadas en datos científicos, así como estándares y procedimientos de prueba entre otros elementos (53). Dos años después, en 1978, la FDA ya tenía lista la versión final de las BPL y en diciembre de 1979 fueron publicadas en el FR (53).

Desafortunadamente, otras agencias como la Agencia de Protección Ambiental (EPA en inglés Environmental Protection Agency) también habían encontrado problemas similares en datos de estudios para la aprobación de proyectos ambientales (figura 2.2.6). Como resultado de dichos hallazgos entre 1979 y 1980 The Code of Federal regulations (CFR), emitió su propio proyecto de reglamento de BPL (50).

En 1981 (figura 2.2.6) la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), introdujo una guía sobre los principios de BPL y desde entonces los países que pertenecen a esta organización mantienen un acuerdo de Aceptación Mutua de Datos para la Evaluación de Químicos (MAD, por sus significado en inglés Mutual Acceptance of Data) que tiene por objeto evitar la repetición, en los países de destino, de los ensayos que respaldan el registro de productos, eliminando de este modo las barreras técnicas al comercio, reduciendo el número de ensayos con animales, a la vez que se abaten costos y tiempos (53).

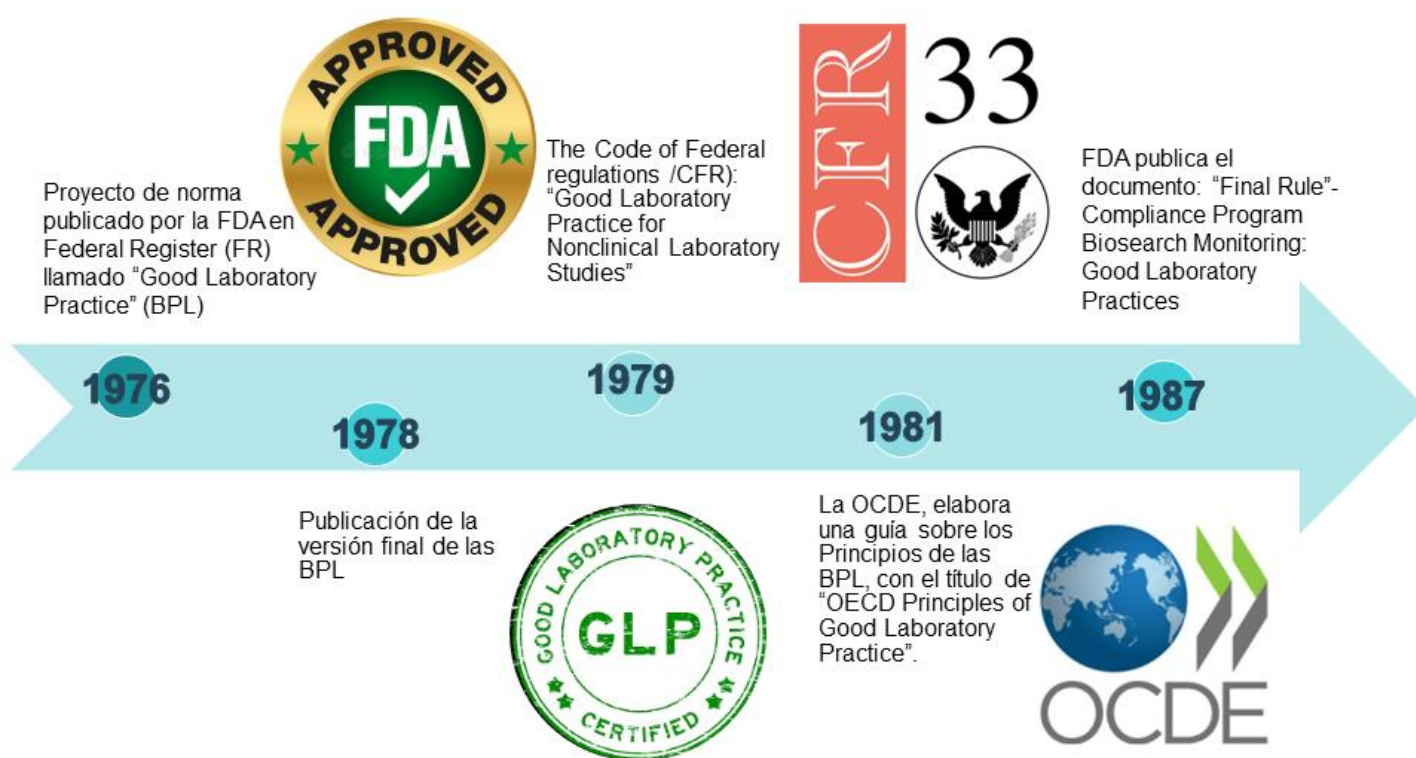


Figura 2.2.6 Breve línea del tiempo sobre el surgimiento de las Buenas Prácticas de Laboratorio

Nota: Los años de las actualizaciones fueron tomados de diferentes fuentes. "International Organization for Standardization. ISO 9000-2015. Sistema de Gestión de la Calidad, fundamentos y vocabulario [Internet]. 2015. p. 60. Disponible en: [http://www.sgc.uagro.mx/Descargas/ISO 9000- 2015.pdf](http://www.sgc.uagro.mx/Descargas/ISO_9000-2015.pdf)". (53)

En resumen, los principios de BPL surgieron de la necesidad de asegurar la calidad de las actividades de laboratorio para obtener resultados precisos y exactos, y aunque, no están impuestos por leyes internacionales sí son un requisito para los

laboratorios que manufacturan fármacos, medicamentos o productos de higiene personal; o que simplemente manejan sustancias químicas con fines académicos como es el caso de los LCB.

Los principios de las BPL pueden consultarse en varias fuentes bibliográficas desde internacionales hasta nacionales. Por ejemplo, en el marco internacional la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) (54), y en el caso de México la NOM-059-SSA1-2015 (37) junto con la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos 11ª edición (FEUM 11ª ed.) (5). Lo importante de consultar las BPL es comenzar a identificar los elementos que son de ayuda para trabajar sin percances y asegurar la veracidad de los resultados.

Cada una de estas tres fuentes bibliográficas consultadas, enfoca las BPL de acuerdo con el entorno para el cual fueron desarrollados los documentos. Sin embargo, es importante retomar la definición que ofrece cada una de estas fuentes como se muestra en la figura 2.2.7 para observar cómo se perciben las BPL desde un panorama internacional hasta uno nacional. Dichos panoramas ponen en evidencia cómo las BPL en esencia son las mismas para un laboratorio académico y uno profesional, además de que éstas no son exclusivas de una región lo que permite homogeneizar las actividades prácticas y sus resultados alrededor del mundo.

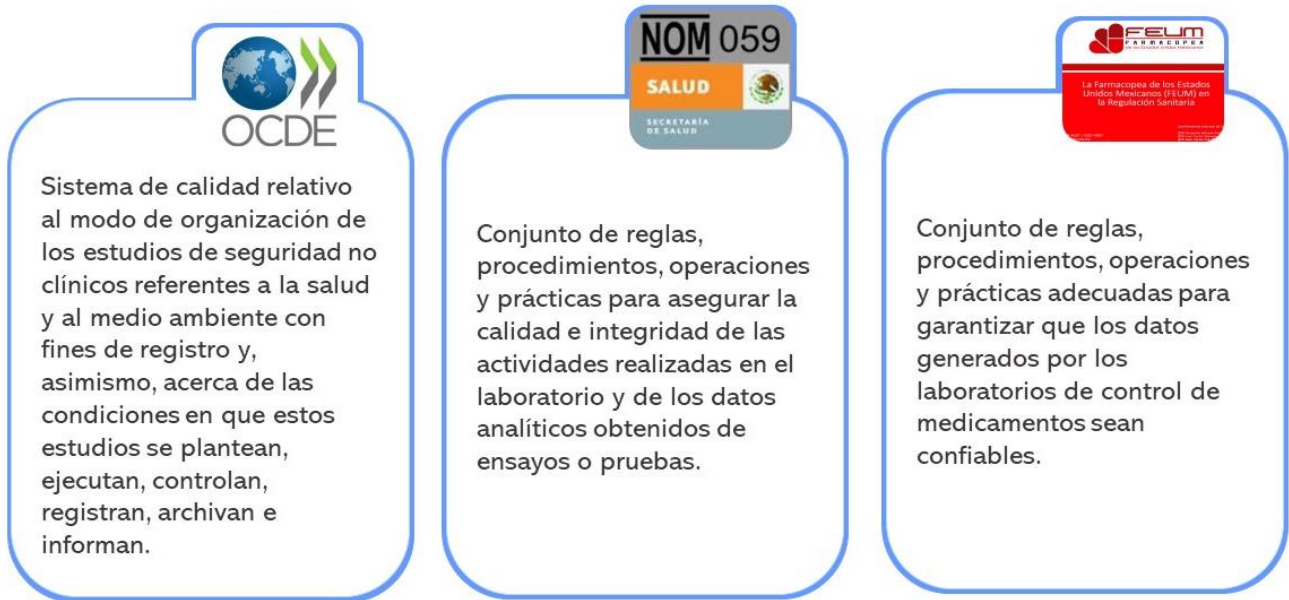


Figura 2.2.7 Diferentes definiciones de las Buenas Prácticas de Laboratorio

“Secretaría de Salud. FARMACOPEA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS. 11ª ed. Comisión Permanente de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos; 2014. 1493 p”. (5)
 “México. Secretaría de Gobernación. Secretaría de salud. NOM-059-SSA1-2015: Buenas prácticas de fabricación de medicamentos. Diario Oficial de la Federación, Tomo DCCXLIX No. 2 (Feb. 5, 2016)”. (37)
 “Díaz JP. Mier HJ. “Buenas Prácticas de Laboratorio de la OCDE. Guía de implementación de los principios en entidades de ensayo [PDF]. Bogotá, Colombia: Programa Safe+; 2016 [Consultado 10 Mar 2022]: p. 45”. (54)

De forma general se aprecia que las BPL son definidas como un conjunto de reglas que ayudan a establecer un sistema de calidad mejorando la organización; regulando los procedimientos, operaciones y prácticas para garantizar la veracidad de los resultados obtenidos en ensayos o pruebas. Así, y aunque los resultados que obtienen los alumnos en los LCB no comprometen la seguridad de algún medicamento o el resultado de un análisis químico, sí deben ser comprobables y haberse obtenido a través de la aplicación de los principios de BPL. Esto implica que el alumno haya consultado, para la elaboración de su anteproyecto de trabajo práctico, documentos actualizados para obtener información de las sustancias químicas que va a manipular, además de organizar las actividades y operaciones que debe realizar para terminar a tiempo, obteniendo datos y resultados confiables.

Por todo lo anterior, es que en la unidad I “Introducción a la seguridad en el laboratorio” del programa del LCB I del Plan de Estudios vigente de la carrera de QFB los principios de BPL están contemplados para su revisión en las primeras

sesiones. Tomando esto en cuenta, el documento al que nos vamos a referir en este trabajo para consultar los principios de BPL es la FEUM (5). La FEUM considera 19 principios que están divididos en tres partes, sin embargo, al relacionar estos 19 principios con los 5 principios citados en el temario de la U-I “Introducción a la seguridad en el laboratorio” del programa del LCB I se observa que sólo 4 principios se correlacionan: (1) seguridad, (2) documentación, (3) manejo de sustancias químicas y (4) manejo de residuos peligrosos (figura 2.2.8). Por lo tanto, a continuación, sólo se desarrollarán estos 4 principios.



Figura 2.2.8 Los 4 principios de BPL fundamentales en los LCB
Elaboración propia

2.2.2.1 Seguridad

La FEUM considera que el principio de seguridad se cumple al contar con instrucciones generales y específicas para cada integrante del equipo de trabajo, es decir, cada integrante debe tener asignadas tareas concretas durante el trabajo experimental para evitar distracciones que puedan provocar accidentes (5). Estas instrucciones regularmente deben ser completadas con material de apoyo como carteles, manuales o materiales impresos, los cuales pueden favorecer la seguridad al ser una fuente alternativa de información (5).

También se debe contar con reglas generales, como un reglamento interno de laboratorio para el trabajo seguro, las cuales deben cumplir con la legislación vigente como ya se mencionó (5). Es así como la revisión de normativas es prudente para garantizar el cumplimiento del principio de seguridad.

Por otra parte, en el ámbito interno de cada institución educativa o centro de trabajo para cumplir con este principio la organización debe fomentar el uso de HDS para la planeación de los experimentos, elaborar reglamentos de acuerdo a las actividades experimentales que se realicen en ellos, por ejemplo, en el caso del reglamento general para los LCB I y II algunas recomendaciones son: prohibido fumar, comer y beber dentro de los laboratorios, usar dentro de los laboratorios el equipo de protección personal y prohibido trabajar sin supervisión. En general cualquier laboratorio donde se manipulen sustancias químicas o se trabaje con equipos e instrumentos de laboratorio debe contar con un botiquín de primeros auxilios y extintores contra incendios los cuales deben estar en condiciones de uso.

2.2.2.2 Documentación

Este principio enfatiza la importancia de mantener los documentos organizados, actualizados e identificados para facilitar su consulta y distribución entre el personal. Además, para que un documento sea reconocido como oficial este debe ser autorizado por el personal competente quién además controla la distribución para

evitar que se utilicen versiones anteriores. Un ejemplo son los Procedimientos Normalizados de Operación (PNO) los cuales según la NOM-059-SSA1-2015 (37) son documentos que contienen las instrucciones necesarias para llevar a cabo de manera reproducible una operación, la misma norma también menciona que para tener un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) son necesarias las Buenas Prácticas de Documentación (37).

Aunque la NOM-059-SSA1-2015 (37) y su modelo de SGC están enfocados en el ámbito laboral su filosofía se puede adaptar a laboratorios docentes y de hecho en la FES Zaragoza esto ya se hace a partir del quinto semestre de la carrera de QFB. Sin embargo, no se espera hasta dicho semestre para presentarle a los alumnos la forma de documentar en un laboratorio ya que la revisión y observación, del principio de documentación y en específico, de las Buenas Prácticas de Documentación (BPD) se desarrolla y aborda como parte de los contenidos temáticos del Programa del LCB I correspondiente al Plan de Estudios vigente (2016).

Es en ese sentido que para los LCB el principio de Documentación se traduce en consultar entre otros documentos las HDS con una antigüedad máxima de 5 años, revisar su última versión, guardarlas en un lugar de fácil acceso durante el trabajo experimental, lo que se puede lograr imprimiendo y pegando las HDS en la bitácora; resaltando las propiedades físicas, químicas y tóxicas de las sustancias implicadas; y las indicaciones pertinentes de higiene y seguridad.

La revisión y observación del principio de documentación y en específico de las Buenas Prácticas de Documentación (BPD) se plantean en los contenidos temáticos del Programa del LCB I correspondiente al Plan de Estudios vigente (2016). La práctica de este principio se pone en manifiesto durante la elaboración del anteproyecto del trabajo experimental en la bitácora individual. De igual forma, la consulta de HDS contribuye a la práctica del principio de documentación al cuidar aspectos como: consultar HDS oficiales y recientes.

2.2.2.3 Manejo de sustancias químicas

De acuerdo con la FEUM en su apéndice V. Principios Generales de BPL (5), en el principio correspondiente a Reactivos se establece la calidad y grado que estos deben tener para poder ser utilizados en los experimentos y/o trabajos prácticos. Para garantizar que los reactivos sean confiables, éstos se adquieren de proveedores aprobados, quienes entregan un certificado de análisis y la correspondiente HDS (5). De igual manera en el método con el cual se vaya a trabajar, debe estar especificado el grado de pureza de cualquier reactivo junto con las precauciones de preparación, almacenaje y uso; toxicidad, inflamabilidad, estabilidad al calor, aire y luz; reacción con otras sustancias químicas y los contenedores en que deben ser almacenados y otros riesgos (5).

Por último, en el mismo principio de BPL en la FEUM se establece que las etiquetas del envase original de los reactivos deberán contener la información que se muestra en el cuadro 2.2.5 (5).

Cuadro 2.2.5 Elementos que debe contener la etiqueta del envase original y elementos que se podrían retomar para el etiquetado del envase secundario

Envase	
original	secundario
Contenido	Contenido
Fabricante	Nombre de la sustancia
Fecha de recepción y apertura del contenedor	Fórmula condensada
Concentración, si corresponde	Concentración
Condiciones de almacenamiento	
Fecha de caducidad o reanálisis, si corresponde	Fecha de caducidad (tomada del envase original)

"Secretaría de Salud. FARMACOPEA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS. 11ª ed. Comisión Permanente de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos; 2014. 1493 p". (5)

Aunque los alumnos de primeros semestres no tengan acceso a los recipientes originales de las sustancias químicas, sí deberán tener en cuenta estos requisitos ya que en los LCB los reactivos están disponibles para su uso en envases secundarios. Dichos envases secundarios deberán ser etiquetados adecuadamente

tomando en cuenta el entorno en el que se encuentra almacenado el reactivo y quien manipulará dichos envases. Como se muestra en el cuadro 2.2.5 para elaborar las etiquetas de los envases secundarios se pueden retomar elementos de la etiqueta del envase original.

2.2.2.4 Manejo de residuos peligrosos

Para los principios de BPL lo más importante es siempre estar apegado a las regulaciones nacionales, por lo que para el manejo de residuos lo que se recomienda es seguir las normas nacionales de seguridad y protección al medio ambiente. En este sentido la FEUM recomienda implementar un Sistema de clasificación del grado de peligrosidad de las sustancias químicas, que facilite la recolección y posterior tratamiento de los desechos generados en el trabajo experimental (5).

Como ya se mencionó antes dentro de la FES Zaragoza el manejo de residuos se hace a través de la clasificación CRETl, usando las etiquetas establecidas por el PNO SGC-FESZ-PO06 (51). Estas medidas practicadas en los laboratorios de docencia y por lo tanto en los LCB atienden al SGC que se ha implementado a partir del quinto semestre de la carrera de QFB. Sin embargo, es necesario homogenizar la forma de trabajar de los alumnos desde los primeros semestres de la carrera, haciéndose necesaria también la implementación y observación del PNO SGC-FESZ-PO06 en los LCB.

Aunque el SGC está diseñado de acuerdo con las necesidades de los laboratorios dentro de la FES Zaragoza; su desarrollo se basa en normativas nacionales como la NOM-059-SSA1-2015 (37) y en otros documentos como la FEUM (5) que establece a los laboratorios como los responsables de identificar y organizar las sustancias químicas por su riesgo y peligro. Por otro lado, los fabricantes de materias primas o reactivos clasifican las sustancias químicas de

acuerdo con la normativa. Una de estas normas es la Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2015 (44) que establece los criterios para clasificar e identificar las sustancias peligrosas atendiendo al tipo y grado de riesgo más significativo de su ciclo de vida, especialmente durante el transporte, manejo y almacenamiento.

Recordemos que esta misma norma, basada en el GHS (47), estandariza las secciones de la HDS, una de las cuales es la sección 13 llamada “Información relativa a la eliminación de los productos”. Es en esta sección en la que el estudiante se puede apoyar para cumplir con el manejo de residuos peligrosos, reafirmando la importancia de revisar las HDS de las sustancias a utilizar, para tener conocimientos que le permitan culminar sus experimentos sin contra tiempos.

En cuanto al principio de BPL referido a equipos, instrumentos y otros dispositivos de uso más común en el laboratorio (5), aspecto también citado en el programa del LCB I, se establece que el laboratorio debe estar conformado con los equipos, instrumentos y materiales adecuados a la actividad experimental a desarrollar en los LCB (5). Además, el proveedor de dichos equipos debe tener capacidad de brindar soporte técnico y mantenimiento. En caso de materiales y otros dispositivos la facultad debe darles continuo mantenimiento y evaluar, cuando sea necesario, hacer cambios o bajas de equipos y/o instrumentos dañados y/o adquisiciones de unos nuevos (5). Toda actividad de supervisión debe quedar registrada en bitácoras o en etiquetas que deben ser pegadas en el equipo o instalación supervisada, conteniendo los datos de quien realizó el mantenimiento, calibración o prueba; fecha en la que se realizó la supervisión y si ésta fue aprobada.

Esta continua gestión de los equipos e instrumentos es necesaria para asegurar que las mediciones sean confiables, en especial cuando se trata de mediciones realizadas por estudiantes que apenas comienzan a familiarizarse con las actividades experimentales (5) y, que por lo mismo, apenas comienzan a reconocer las fuentes de error que afectan los resultados.

Por último, se debe recalcar que la continua práctica de estos 4 principios esenciales (figura 2.2.8) contribuirá a que el alumno se apropie de otros principios de BPL y cuando menos se dé cuenta ya no será necesario recordarle que debe

usar bata, revisar las HDS, revisar la etiqueta del reactivo o etiquetar los residuos. Todas estas acciones serán llevadas a cabo de forma habitual con la convicción de que se deben hacer para garantizar la calidad de los resultados experimentales y sobre todo la seguridad de todos los involucrados durante el trabajo práctico.

2.3 Cultura de Seguridad (CS)

Introducción

La importancia de implementar la Cultura de Seguridad (CS) dentro de los Laboratorios de Docencia radica en prevenir incidentes y accidentes durante el trabajo experimental, fomentando en los estudiantes un criterio que les permita reconocer, evaluar y minimizar los riesgos permitiéndoles estar preparados para las situaciones de emergencia, en caso de necesitarlo (6). Actualmente en los Laboratorios de Ciencia Básica I y II (LCB I y II) las medidas de seguridad implementadas pueden ser incrementadas con la ayuda de materiales de apoyo, como el que se plantea en esta tesis el cual está sustentado en los principios de Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL).

Para construir una Cultura de Seguridad (CS) en cualquier laboratorio se reconoce que el primer paso es fomentar una actitud positiva de seguridad e implementar, en el caso de los Laboratorios Docentes, los cuatro principios de seguridad conocidos como RAMP de acuerdo con R. Hill. En este trabajo al referirnos a estos principios de seguridad se utilizará la traducción al español quedando el acrónimo como REMP con base en los verbos empleados en las cuatro declaraciones: **R**ecocer los peligros, **E**valuar los riesgos de los peligros, **M**inimizar los riesgos de peligros y **P**repararse para emergencias (6).

Por otra parte, se puede contribuir a la construcción de una CS, con el diseño y desarrollo de materiales de apoyo que apliquen en su contenido y formato el modelo **REMP**. Estos materiales también pueden servir como una fuente de consulta en donde se les planteé a los alumnos cómo pueden aplicar estos principios a lo largo del trabajo experimental. Sin dejar de fomentar la consulta previa de las HDS y del TMI, para contemplar en la planeación del trabajo experimental las recomendaciones de seguridad e higiene y contar con lo necesario para ponerlas en práctica.

2.3.1 ¿Qué es la Cultura de Seguridad?

En capítulos anteriores se definió a la seguridad como un estado en el cual el riesgo dinámico y las condiciones que pueden provocar incidentes o accidentes son controlados, para prevenir situaciones de emergencia, enfocándose a preservar el bienestar de las personas que se encuentren presentes durante el trabajo experimental. Para comenzar a discutir la adopción de la seguridad como un modelo de trabajo, se puede comenzar con esta definición que va más acorde con los LCB y los experimentos que en ellos se realizan.

Sin embargo, para hacer la transición de seguridad a Cultura de Seguridad en los laboratorios de docencia, las consideraciones que se toman van más enfocadas a las acciones, actitudes y comportamientos de las personas involucradas en las actividades experimentales, y que impactan directamente en la salud de las propias personas y en los resultados del experimento.

En ese sentido, la Comisión Reguladora Nuclear (NRC, por su nombre en inglés Nuclear Regulatory Commission) define a la Cultura de Seguridad como “el compromiso colectivo de una organización, por parte de líderes e individuos, para enfatizar la seguridad como un principio primordial para objetivos competitivos y otras consideraciones para velar por la protección de las personas y el medio

ambiente” (55). De acuerdo con lo anterior, para que se hable de Cultura de Seguridad dentro de los LCB deben intervenir activamente alumnos y profesores en la revisión y el cumplimiento de los reglamentos, generales e internos, de seguridad; en la revisión de HDS, la Enciclopedia TMI y otras obras relacionadas con la seguridad química en los laboratorios. Por otro lado, en medida de lo pertinente, competará a los profesores evaluar los reglamentos para su actualización y también apoyar en su comunicación.

Sin embargo, procurar el cumplimiento de reglamentos o la revisión de documentos no se debe hacer solo porque es un requerimiento para el trabajo experimental, se debe hacer porque se está convencido que la seguridad es un beneficio para todos, que mejora las condiciones de trabajo. Para lograr un convencimiento propio y en los demás es conveniente adoptar un papel de líder en seguridad, y como líder prestar atención en áreas como aprendizaje de seguridad, desarrollo de una actitud positiva de seguridad y aprendizaje de lecciones a través de los incidentes de terceros.

En capítulos anteriores, tabla 1 (capítulo 2), se recomiendan algunos tópicos sobre seguridad que se pueden impartir a lo largo de la carrera de QFB en la FES Zaragoza, para reforzar el aprendizaje de seguridad en los alumnos. Por otra parte, el desarrollo de una actitud positiva de seguridad es muy importante pero también demandante tanto para los profesores quienes deben transmitir los conocimientos y estarse actualizando constantemente, como para los alumnos quienes deben aprender de sus profesores y de sus propias experiencias (55). Dicho de otra manera, la construcción de una actitud positiva de seguridad es un compromiso a largo plazo.

Es en este sentido, que mucho de lo que se sabe sobre seguridad ha sido aprendido de errores o incidentes (55, 56). Puede que los alumnos ya hayan experimentado algún incidente dentro de los LCB, como tropezar con un banco que se encontraba a medio pasillo o derramar gotas de algún reactivo en la mesa de trabajo por una mala práctica de pipeteo. Dichos ejemplos se quedaron en incidentes porque los daños ocasionados no pasaron de un leve golpe o en el caso

del derrame, tener que limpiar la mesa. Aunque no pasaron a ser accidentes, estos incidentes pueden ser usados como casos de estudio para reflexionar que lecciones se pueden aprender de lo sucedido.

Invitar a los alumnos a reflexionar sobre lo que hacen y ¿por qué lo hacen? capta su interés e imaginación, mientras los obliga a pensar en cómo las medidas de seguridad ayudan a evitar que los incidentes pasen a ser accidentes. Pero también, cómo se pueden reforzar dichas medidas para contribuir a desarrollar una cultura de seguridad.

Asociaciones como la ACS (American Chemical Society) establecen que un “elemento importante, en la cultura de seguridad, es implementar un sistema para informar e investigar incidentes, indicando causas directas y raíz, e implementando acciones correctivas” (55). Este primer paso en la investigación de riesgos es un pequeño acercamiento a la gestión de riesgos implementada en la industria como parte de los Sistemas de Gestión de la Calidad, que es obligatorio en los laboratorios de trabajo y a los que se enfrentarán los alumnos en su vida profesional.

El objetivo de aprender sobre seguridad no solo es implementar una cultura de seguridad en los laboratorios de docencia, es también, trabajar en ella continuamente para reforzarla. Así, según la NRC, una buena cultura de seguridad es “un reflejo de los valores, que son compartidos en todos los niveles de una organización, y que se basan en la creencia de que la seguridad es importante y es responsabilidad de todos” (55).

2.3.2 ¿Cómo se construye una Cultura de Seguridad?

En primera instancia, todos los involucrados en el trabajo experimental deben reconocer que la seguridad requiere de acciones en conjunto (55), y una vez que se decide adoptar la seguridad como una parte integral en los laboratorios de

docencia significa que siempre se buscará hacer aquellas cosas que ayuden a prevenir accidentes evitando, en medida de lo posible, lesiones o daños.

En la práctica es mucho más difícil adoptar la Cultura de Seguridad, en especial cuando los estudiantes caen en la rutina de atender a los procesos y tratar de entender ¿qué están haciendo?, dejando la seguridad en un segundo plano. Sin embargo, este dilema se convierte en un reto para aquellos que desean convertirse en líderes en seguridad, pues como bien lo menciona el Comité de Seguridad de la ACS “se fomenta la seguridad con un buen ejemplo” (55).

En ese sentido los LCB son un gran escenario para formar líderes en seguridad, a través de acciones como: colaborar para que el área de residuos químicos no se llene de envases inadecuados, mal etiquetados; seguir los reglamentos generales e internos y las instrucciones de sus profesores; reportar todos los incidentes (desde un piso resbaloso hasta una fuga de gas) y considerar, con previsión, los riesgos involucrados en el experimento a realizar (56). Estos riesgos involucrados pueden estar directamente relacionados con las propiedades intrínsecas de las sustancias o como ya se vio en la sección 2.1, el riesgo también depende de factores como la cantidad de sustancia, el tiempo de exposición y la frecuencia de uso.

Cabe resaltar que para poder implementar con mayor destreza la ecuación del riesgo, propuesta en el capítulo 2, subtema 2.1 Seguridad, es crucial comprender por qué las sustancias son peligrosas y el fundamento de las reacciones que se van a realizar. Con lo anterior, se revela la relación tan estrecha que tienen los conocimientos químicos con los conocimientos de seguridad y cómo no se puede pretender adquirir unos ignorando otros.

En segunda instancia para adoptar una CS es de ayuda implementar un modelo de seguridad como el propuesto por Hill y Finster (6) basado en cuatro principios de seguridad, cuya finalidad es servir de guía para recordar el orden y significado de estos principios. Esta guía se conoce por el acrónimo RAMP por sus siglas en inglés; que para efecto de este trabajo se adapta como REMP (por sus siglas en español), como se muestra en la figura 2.3.1.

En dicha figura se puede observar del lado izquierdo el significado de cada letra en inglés y del lado derecho su significado en español, por esta razón la segunda letra cambia de A a E por la traducción de Assess a Evaluar.

Los cuatro principios de seguridad	
<u>R</u> ecognize Hazards	<u>R</u> econocer los peligros
<u>A</u> ssess Risks	<u>E</u> valuar los riesgos de los peligros
<u>M</u> inimize Risks	<u>M</u> inimizar los riesgos de los peligros
<u>P</u> repare for Emergencies	<u>P</u> repararse para emergencias

Figura 2.3.1 Los cuatro principios de seguridad propuestos por R. Hill y D. Finster

Adaptado de "Hill R. Finster D. Laboratory Safety for Chemistry Students. 2da ed. New Jersey y Canada: Wiley; 2016.p. 1-7". (6)
"American Chemical Society. Seguridad en Laboratorios Académicos de Química [Internet]. Washington, DC. EUA: ACS, Chemistry for life; 2013". (56)

Como el propio autor lo explica, REMP es una guía mnemotécnica usada para recordar los principios de seguridad, y de esta manera sea más dinámico ponerlos en práctica en la cotidianidad (6) en la que se emplean muchas sustancias químicas; y que, aunque presentan peligros o tienen propiedades peligrosas, se han aprendido a usar con seguridad, pues como se dice "las sustancias químicas no saben en qué lugar están" (56).

Un ejemplo de dicha cotidianidad es en los hogares donde son muy comunes las estufas de gas, porque han facilitado en gran medida la preparación de alimentos, optimizando los tiempos de cocimiento y con ello reduciendo la incidencia de enfermedades como la salmonelosis. Estos beneficios se lograron gracias al mecanismo de combustión de las estufas, el cual está impulsado principalmente por el gas propano, que de acuerdo con su HDS es un gas extremadamente inflamable y se comercializa como un gas a presión, lo cual representa peligro de explosión en

caso de calentamiento (57). Sin embargo, solo porque el gas propano representa un riesgo severo, no significa que las personas van a dejar de usarlo (6).

Debido a que gran parte de nuestro confort depende de sustancias que a menudo son peligrosas, lo único que permite seguirlas aprovechando es que se aprendió a reconocer sus propiedades peligrosas, evaluar los riesgos que representan dichas propiedades, desarrollar métodos para minimizar efectivamente los riesgos y prepararse para manejar emergencias (6). Con este ejemplo es claro que el beneficio se antepone al riesgo, pero también ilustra la búsqueda de permanecer seguro aún cuando el riesgo es latente.

Es esta búsqueda la que ha impulsado a profesionales en todo tipo de ámbitos a tratar de entender cómo lograr un ambiente seguro durante el desarrollo de las actividades. Un claro ejemplo de ello es el propuesto por Geller (6), quien ha identificado diversos factores que influyen en la seguridad y los ha dividido en tres categorías como se muestra en la figura 2.3.2.

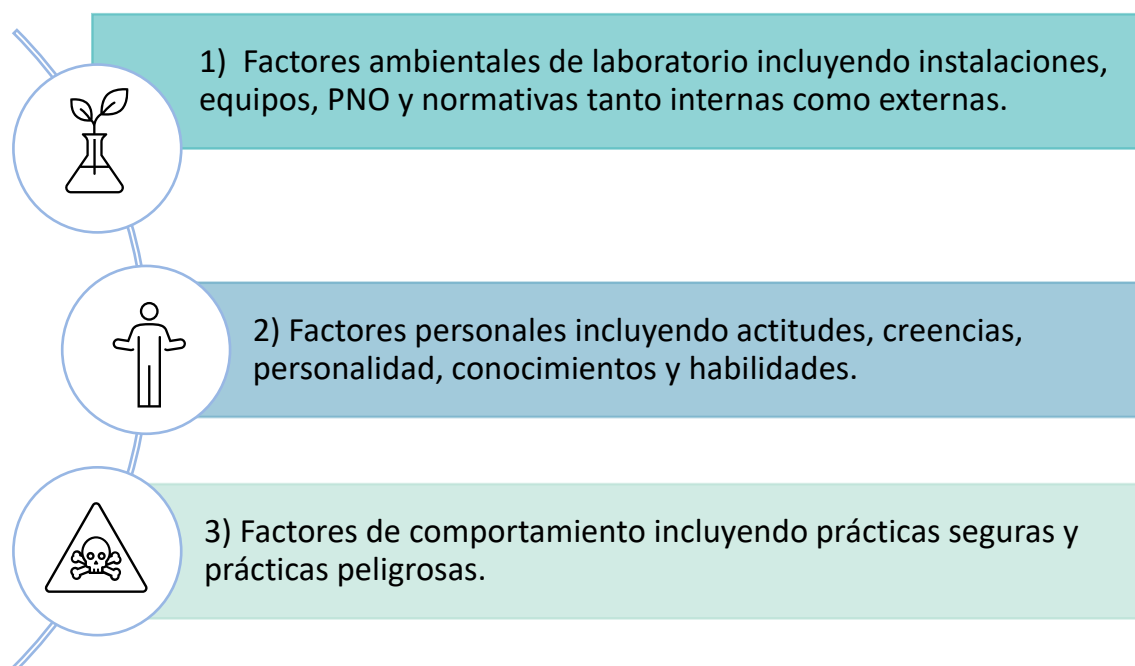


Figura 2.3.2 Factores externos a REMP que influyen en la práctica de la seguridad

Basado en "Hill R. Finster D. Laboratory Safety for Chemistry Students. 2^{da} ed. New Jersey y Canadá: Wiley; 2016". (6)

Los factores antes citados están interconectados de manera que cada uno influye en los otros. Por otro lado, estos factores intervienen en la aplicación del modelo REMP (6) debido a que el acrónimo que representa este modelo ayuda a recordar los pasos a seguir para lograr controlar el riesgo, no obstante, aunque la enseñanza sobre seguridad y CS debe ser una constante durante la formación de los estudiantes, al grado de desarrollar materiales como el MFS y buscar la forma de integrarlos al trabajo experimental; es una decisión personal querer conocer y comprender cómo aplicar REMP en nuestro día a día, para fomentar la Cultura de Seguridad.

Para explicar con mayor claridad cómo los factores que Geller propone intervienen en los cuatro principios de seguridad, durante el desarrollo del segundo principio, **Evaluación de riesgos**, se explicará con detalle cada factor (6).

En retrospectiva, la seguridad es una disciplina empírica ya que, como se mencionó anteriormente, se aprende de errores pasados, pero no necesariamente se busca exponerse a riesgos para obtener una lección. Mucho menos en la actualidad, donde se cuenta con bastos recursos para encontrar a expertos en seguridad y aprender de ellos. Retomando el modelo **REMP**, a continuación, se desglosan cada uno de los cuatro principios de seguridad que lo conforman.

2.3.2.1 Reconocer los peligros: sustancias tóxicas y riesgos físicos

En primera instancia este principio parece llano porque básicamente consiste en enlistar riesgos a los que se está expuesto. Desafortunadamente no es tan sencillo como solo nombrar las cosas o situaciones que parecen peligrosas, debido a susceptibilidades de lo que cada individuo considera peligroso. Para eliminar el factor individual de las creencias expertos como R. Hill y D. Finster (6) recomiendan una primera identificación de riesgos comunes en el lugar de trabajo. En este caso los riesgos comunes en los LCB se muestran en el cuadro 2.3.1.

Para los autores anteriormente citados, mantener un ambiente laboral seguro es tarea de todos. En ese sentido, la construcción de una tabla similar a la 2.3.1 en conjunto con los alumnos es una forma de comenzar a implementar el primer principio de seguridad (6). Esto es fundamental porque para poder reconocer el tipo de riesgo al que se está potencialmente expuesto, primero se debe conocer y entender el peligro que representan las sustancias químicas que se están utilizando (6).

Después de este primer ejercicio para reconocer riesgos, es prudente hacer un segundo análisis en donde ya se tomen en cuenta las propiedades químicas y físicas de las sustancias con las que se esté trabajando. Lo anterior porque dichas propiedades son las encargadas de dotar a las sustancias de características intrínsecas las cuales determinan cómo se comporta la sustancia, pero también, de qué forma puede hacer daño esa misma sustancia (6).

Cuadro 2.3.1 Identificación de los riesgos más comunes en el manejo de sustancias químicas, sus factores y las acciones para disminuir su incidencia en los LCB I y II

Riesgos comunes	Factores de riesgo	Acciones para reducir el riesgo
Ingestión	Cantidad de la sustancia ingerida.	Disminuir las cantidades que se usan.
	Concentración de la sustancia ingerida.	Utilizar disoluciones en lugar de reactivos puros
	Corrosión de la sustancia ingerida.	Utilizar bata, guantes y goggles de seguridad.
	Toxicidad de la sustancia ingerida.	Utilizar cubre bocas en caso de que sea un polvo muy fino o un líquido muy volátil. Nunca pipetear con la boca.
Inhalación	Cantidad de la sustancia inhalada.	Usar caretas o cubrebocas para no respirar los polvos o gases.
	Corrosión de la sustancia inhalada.	Trabajar debajo de los extractores o en la campana de extracción.
	Toxicidad de la sustancia inhalada.	En caso de derrame evitar el esparcimiento de polvos finos y colocarse en sentido del viento para no inhalar los gases.
Contacto directo con ojos y/o piel	Cantidad de la sustancia derramada.	Disminuir las cantidades que se usan. Utilizar guantes, lentes de seguridad y bata de algodón.
	Concentración y cantidad de la sustancia derramada.	Emplear la técnica de microescala. Utilizar disoluciones en lugar de reactivos puros. Utilizar guantes, lentes de seguridad y bata de algodón.
	Corrosión de la sustancia derramada.	Utilizar guantes de nitrilo, goggles de seguridad y bata de algodón.
	Toxicidad de la sustancia.	

Adaptado de "Hill R. y Finster D. Safety Culture. Laboratory Safety for Chemistry Students. Second Edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons; 2016. p. 1-64". (6)

2.3.2.1.1 Sustancias tóxicas

Para reconocer si una sustancia representa un riesgo tóxico primero se deben comprender ciertos términos como toxicología el cual es definido por algunos autores como “el estudio de los efectos adversos de las sustancias químicas” (56). Otros autores, lo definen como el estudio del envenenamiento (6). Sin embargo, la toxicología abarca más que el envenenamiento y sus efectos en la salud, también, determina qué sustancias sí son tóxicas pues no todas las sustancias químicas son consideradas venenosas (6).

Una vez aclarado lo anterior, se entiende como toxicidad la habilidad de una sustancia química para dañar uno o varios órganos, no de forma física, sino a nivel fisiológico, es decir, interrumpe los procesos bioquímicos que se realizan en el organismo alterando el funcionamiento normal, provocando síntomas como tos, dolor de cabeza y/o estómago y mareo entre otros (56). Esto es importante porque para que una sustancia tóxica ejerza sus efectos dañinos ésta debe entrar al organismo (6).

La toxicidad que generan las características químicas de las sustancias se divide en dos tipos: toxicidad aguda (TA) y toxicidad crónica (TC), cuya diferencia radica en la cantidad de dosis y el periodo de tiempo de exposición (6). En el caso de la TA solo se necesita de una dosis única para que ocasione daños sistémicos en uno o más órganos (6). Frecuentemente, pero no siempre, los efectos tóxicos se observan de forma inmediata teniendo para ello un marco de tiempo de segundos, minutos, horas o días (6). De forma contraria, la TC se da por múltiples dosis pequeñas durante un prolongado periodo de tiempo, usualmente meses o años (6).

Aunque aquí solo se trabaje con las definiciones de dos autores en concreto, otro tipo de fuentes que también trabajan con los conceptos de toxicidad, TA y TC, son las normas. Como por ejemplo la NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. Dicha norma también define toxicidad en los numerales 5.12 al 5.15 (50).

En comparación las dosis en la TA son más altas que en la TC, además, en esta última las dosis de la sustancia química fueron acumuladas por el organismo hasta alcanzar una concentración alta en la cual se observan efectos adversos. Como conclusión todas las sustancias químicas tienen propiedades tóxicas potenciales, pero depende de la dosis, cantidad de sustancia que entra al organismo, si se vuelve un riesgo tóxico, esto es, como lo dijo Paracelso “la dosis hace al veneno” (58).

2.3.2.1.2 Riesgos físicos

En concreto los riesgos físicos son aquellos que amenazan la integridad física de las personas, ya sea a través de entrar en contacto con la piel, por inhalación o por ingestión (49). Independientemente de que una sustancia sea clasificada como tóxica o no, ésta puede representar otro tipo de riesgo como el riesgo físico, por lo que resulta importante desarrollar habilidades que nos permitan interpretar las propiedades físicas y químicas de las sustancias que le puedan adjudicar una peligrosidad. Dentro de las propiedades químicas que puede tener una sustancia, resalta el pH ya que de acuerdo con la NOM-052-SEMARNAT-2005, si éste es menor a 2.0 o mayor a 12.5 el líquido o sólido en disolución acuosa se considera corrosivo (50). Pero ¿qué se entiende por corrosivo?

Aunque no se conozca el valor exacto del pH de una sustancia química si ésta causa lesiones o daños al deteriorar y destruir tejidos como ojos o piel, en el área de contacto o sitio de exposición, dicha sustancia química se definirá como corrosiva (6). Los químicos corrosivos pueden estar presentes en estado gaseoso, líquido, sólido o en disolución (6).

Continuando con el pH de las sustancias, éste puede tomarse como un primer indicador para reconocer si las sustancias químicas que se están manipulando puedan causar corrosiones en la piel si entrarán en contacto por

accidente, ya que universalmente se sabe que los ácidos y bases pueden ser corrosivos y causar severas quemaduras al contacto con los tejidos. Sin embargo, además del pH hay otros factores que intervienen en el grado de lesión que estas especies químicas pueden causar (figura 2.3.3).

Recordando lo que ya se trabajó en capítulos anteriores, dos de los factores que se mencionan en la figura 2.3.3 coinciden con las variables de la ecuación de riesgo (capítulo 2) propuesta por Jaeger (7), donde se asume que el riesgo es dinámico al poder aumentar o disminuir, según se controlen, las variables de cantidad, tiempo y frecuencia. Aunque en el caso de la figura 2.3.3 los autores consideran tres variables más (estructura química de la sustancia, área de exposición y temperatura de la solución), la relación con el riesgo sigue siendo la misma, pues entre más se esté expuesto a una sustancia corrosiva concentrada y ésta entre en contacto con un área sensible del cuerpo, como los ojos, mayor será el grado de la lesión porque el riesgo aumentó (6).

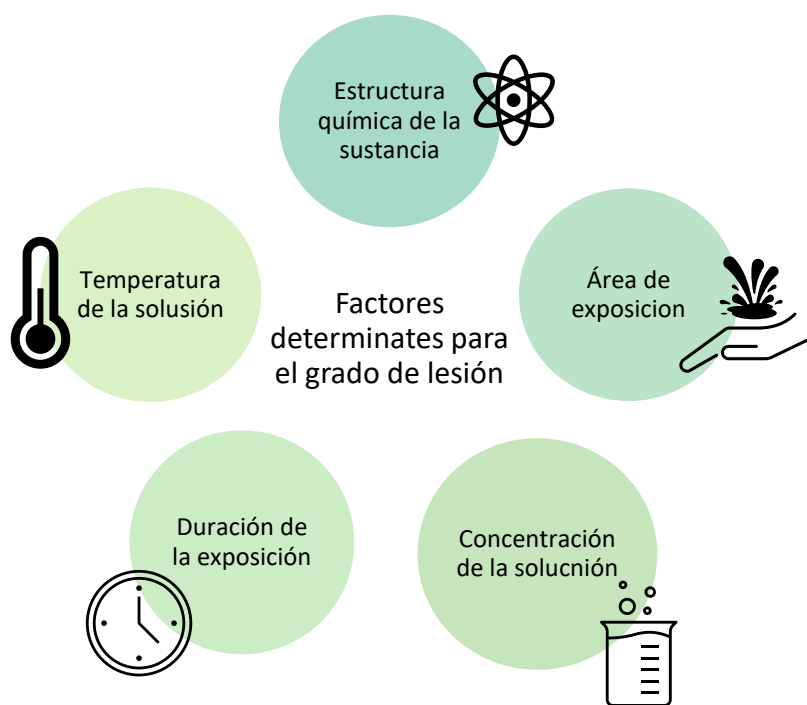


Figura 2.3.3 Factores que intervienen en el potencial de lesión por un ácido o una base

Basado en "Hill R. y Finster D. Safety Culture. Laboratory Safety for Chemistry Students. Second Edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons; 2016. Figura 4.1.1.4. p 4-175". (6)

Para concluir supongamos que dos alumnos tienen que preparar una disolución de ácido sulfúrico como parte de su trabajo experimental. Sin embargo, no atendieron a las indicaciones de su profesor, no revisaron las HDS del ácido, ni buscaron su monografía en la Enciclopedia TMI; tampoco realizaron los cálculos previos y por falta de tiempo deciden preparar la disolución basándose en cálculos que encontraron por internet, los cuáles contemplan un volumen de 1 L y una concentración 1 M.

Debido a la mala planeación en el desarrollo de su anteproyecto no son capaces de reconocer los riesgos a los que se están exponiendo por manipular un ácido fuerte concentrado y en gran cantidad, ya que, debido a sus propiedades tóxicas, físicas y químicas, el ácido sulfúrico está clasificado por CRETI como corrosivo, reactivo y tóxico. Por lo anterior, esta sustancia química representa un riesgo físico y tóxico para los alumnos.

2.3.2.2 Evaluar los riesgos de los peligros

El segundo principio de la Cultura de seguridad requiere que todos los involucrados en el trabajo experimental reflexionen a qué tipo de exposición se podrían enfrentar al manipular las diferentes sustancias químicas requeridas para desarrollar las reacciones planteadas en el experimento y/o proceso que llevarán a cabo en el laboratorio, y también, identifiquen el peligro asociado a los equipos de laboratorio que emplearán. Todo lo anterior, con la finalidad de no caer en el error de subestimar el peligro solo porque las situaciones parecen “familiares” o cotidianas.

Sumado a lo anterior, es fundamental que dicha reflexión también sea grupal para entender cómo es que cada persona percibe el peligro y cómo la interpretación individual de la información tiene un efecto en el actuar frente a situaciones de riesgo (6). Esta reflexión da pie a una pregunta muy corta pero algo compleja ¿cómo decidir cuándo se está seguro?

Como ya se discutió en el capítulo pasado, la seguridad no se resume solo a seguir reglas. Contar con reglamentos y normativas es únicamente una parte de todas las actividades que se deben planear para lograr la seguridad. Ahora se discutirá cómo las instituciones o los expertos llegan a redactar dichos reglamentos o normas que buscan fomentar la seguridad en los Laboratorios Docentes o Profesionales.

Como se mencionó en el ejemplo del uso casero del gas, todos los días se está expuesto a peligros a lo largo de las actividades diarias, por lo que el riesgo resulta inevitable. Los LCB no son diferentes en especial porque en estos espacios se manipulan sustancias químicas a las cuales se les asocia un peligro. Por dicha razón, es fundamental que los alumnos desarrollen un sentido agudo de cómo reconocer los peligros asociados con el trabajo en el laboratorio y aprendan a minimizar razonablemente esos peligros.

Para poder continuar en el desarrollo de habilidades para aplicar la REMP, se deben evaluar primero todos los riesgos asociados con una sustancia química o una reacción. Esto se puede hacer relativamente rápido al sistematizar la revisión bibliográfica, comenzando con una búsqueda de la HDS con no más de 5 años de antigüedad y siempre consultando las HDS de más de un proveedor; seguida de una revisión exhaustiva de las 16 secciones de las HDS para hacer un cruce de información con la monografía de la sustancia en la Enciclopedia TMI. Y finalizar con una aplicación de la información obtenida durante las actividades experimentales.

Al realizar dichas actividades con antelación hay más posibilidades de hacer una buena evaluación de riesgos y posteriormente una buena gestión. Sin embargo, en ocasiones la gestión de riesgos es muy difícil ya que la severidad de un peligro no depende solamente de la naturaleza del riesgo; sino también, del grado de peligro al cual se está expuesto (6). Por lo que, reducir la severidad del peligro es la clave en las estrategias de gestión de riesgo. En este sentido, un ejemplo sería que, al trabajar con ácido sulfúrico 1 M, el cual es una sustancia corrosiva y tóxica, el grado de peligro es grande, ya que su pH de 0.3 (59) le confiere esa peligrosidad

que no puede ser modificada porque no se le puede quitar una propiedad química, pero si se reduce la cantidad de ácido sulfúrico utilizado o se trabaja con una disolución de una concentración molar menor, la severidad del peligro se reduce y por lo tanto el riesgo también.

Este ejemplo también sirve para visualizar el tipo de decisiones a las que los alumnos se van a enfrentar cuando egresen, porque en los laboratorios de docencia es más común que este tipo de decisiones las tomen los profesores y en base a sus enseñanzas los alumnos formarán su propio juicio.

Previamente en la figura 2.3.2 se mencionaron 3 factores que intervienen en la práctica de REMP, pero ahora se discutirá cómo esos factores afectan la probabilidad de que ocurran accidentes en el laboratorio.

Al referirse a los riesgos en un ambiente de laboratorio (6) como primer factor, se incluyen las sustancias químicas, los equipos e instrumentos usados para llevar a cabo las reacciones químicas y el equipo de protección personal (EPP). Es importante tomar en cuenta estos elementos porque el grado de exposición está determinado por la cantidad de químico presente en el ambiente que, a su vez, está relacionada con la probabilidad que tendrá éste para entrar al cuerpo a través de las rutas de exposición. Es en este momento donde las campanas de extracción (equipo) y los equipos de protección personal entran en juego para evitar el contacto directo con las sustancias químicas.

Los factores personales (6) involucran los conocimientos y habilidades de las personas en los laboratorios para tomar decisiones bajo condiciones no favorables como, por ejemplo, en medio de un accidente por ingestión. La falta de estos conocimientos y habilidades es lo que puede provocar accidentes. Dichos accidentes pueden ser derrames, salpicaduras, incendios o hasta explosiones que pueden ocasionar lesiones considerables si no son identificados como situaciones potencialmente peligrosas, y para lograrlo, primero se deben evaluar los peligros de estos accidentes para después gestionarlos. Lo anterior puede evitarse quedando solo en incidentes si se toma el tiempo necesario para retroceder y examinar los

anteproyectos, los experimentos propuestos y las HDS. Recordemos que son muy raros los accidentes que no son prevenibles.

El tercer factor es el comportamiento de las personas en el laboratorio (6) que va enlazado con los factores personales, pues los comportamientos son parte de la personalidad del individuo. Aunque tener conocimientos y habilidades es importante, tener conciencia de nuestras acciones y trabajar bajo una serie de valores hace posible controlar el no cometer errores. Además, entender la experiencia y actitudes de otros contribuye a trabajar en equipo para hacer una mejor evaluación de los riesgos.

2.3.2.3 Minimizar los riesgos de los peligros

Una vez que se ha aprendido a reconocer y evaluar los riesgos, el siguiente paso es minimizar, controlar y gestionar los riesgos de los peligros, porque de nada serviría el esfuerzo de realizar un reconocimiento y evaluación previa si no se trabaja en estrategias que permitan controlar, en medida de lo posible, la exposición a sustancias y mezclas peligrosas en beneficio de conservar la salud de alumnos y profesores (6).

Para aplicar este principio se requiere poner especial atención en el diseño y ejecución del experimento (6). Es decir, la planeación del experimento debe estar bien fundamentada y estructurada en el anteproyecto. Además, durante la ejecución se deben tomar en cuenta los principios de BPL (5) que fomenten un ambiente seguro antes, durante y posterior al trabajo experimental.

Como ya se mencionó, en varias ocasiones, la revisión de las HDS es fundamental durante la planeación del experimento, porque en ellas se encuentran, entre otras cosas, las medidas de higiene y seguridad específicas para una sustancia química, un ejemplo de ello es la sección 8 “Controles de exposición / protección personal” (44), en la cual se encuentran los siguientes apartados:

parámetros de control, controles técnicos apropiados y el equipo de protección personal (EPP) (44). En dichos apartados, generalmente se pueden encontrar datos de límites de exposición, el tipo de gafa de seguridad que se debe usar y el tipo de guante que se recomienda para la manipulación únicamente de la sustancia química para la cual fue elaborada la HDS. Recordemos que las HDS son proporcionadas por el proveedor y en ocasiones, es el mismo proveedor quien prueba diferentes tipos de gafas y guantes para recomendarlos a sus clientes como EPP.

La razón por la que las HDS deben proporcionar esta información, no es solamente para cumplir legalmente con las especificaciones de las normas vigentes; sino porque no es sorprendente, que los accidentes ocurran en cualquier laboratorio y en cualquier momento. Es en este sentido, que la regla de oro, en cualquier reglamento interno de laboratorio, es siempre usar EPP, en especial gafas de seguridad y bata de laboratorio.

A continuación, se presentan, brevemente, algunos tipos de gafas de seguridad y guantes para usar dentro de un laboratorio químico. Además, se dan recomendaciones básicas del tipo de ropa más adecuada para usar en el laboratorio. Con ayuda de la figura 2.3.4 se desglosará cada elemento básico del EPP. En primer lugar, están las “gafas de seguridad” o “goggles de seguridad” los cuales deben cumplir ciertos criterios establecidos por organizaciones como el Instituto Americano de Estándares Nacionales (ANSI, por su nombre en inglés American National Standards Institute), que desarrolló en 2003 un estándar para la protección ocular, llamado Occupational and Education Personal Eye and Face Protection Devices, ANSI/ASSE Z7.1 (60).



Figura 2.3.4 Diagrama de los elementos básicos del EPP que debe utilizar un alumno en los LCB en la carrera de QFB de la FES Zaragoza, UNAM. Elaboración propia. 1) goggles de seguridad, 2) Bata de laboratorio, 3) zapatos cerrados, 4) guantes y 5) cubrebocas
Elaboración propia

El estándar para la protección ocular (número 1 en la figura 2.3.4) ya citado establece, básicamente, que las gafas deben hacer un sellado hermético alrededor de los ojos, para que en caso de una salpicadura química ésta no escurra y entre a los ojos (60). El borde de las gafas que encaja alrededor de los ojos debe ser suave y flexible para que se amolde a la forma del rostro y no sea incómodo de usar (60). Es recomendable tomarse el tiempo para encontrar unas gafas que se amolden satisfactoriamente a la forma del rostro, pues muy probablemente deberán usarse por largos periodos de tiempo (6).

También es importante tomarse el tiempo para reflexionar qué tipo de gafas de seguridad son las que mejor protección pueden brindar de acuerdo con las actividades experimentales que se vayan a realizar y el tipo de sustancia química

que se manipulará (56), ya que hay diferentes tipos de goggles que ofrecen una protección diferente debido a sus características. En cuanto a las “gafas de visitante” estas solamente son recomendadas cuando se vaya de visita a alguna fabrica o planta, ya que estas gafas solo sirven para observar pues no protegen en caso de que ocurra una salpicadura (6, 56).

Por otro lado, con relación a los lentes que pueden o no tener un escudo o placa lateral para proporcionar protección ocular en caso de salpicaduras directas a la cara (60), se debe enfatizar que la protección es solo ocular, y que en caso de que alguna sustancia entre en contacto con la cara es indispensable que se enjuague con abundante agua, ya que, tanto los goggles como los lentes solo protegerán a los ojos del contacto directo pero la piel del rostro si estará expuesta al químico (6).

Una vez realizadas las consideraciones anteriores, es imprescindible señalar que, las gafas de seguridad se deben usar en todo momento dentro de los LCB, en muy raras ocasiones puede que los alumnos de una sección no estén trabajando con sustancias química y es en ese momento donde, tal vez, se considere pertinente no usar las gafas de seguridad (6), pero recordemos que en el caso de los laboratorios de docencia de la FES Zaragoza, el área de trabajo está dividida en tres mesas en las cuales se distribuyen, organizados en 3 secciones, a los alumnos de un mismo grupo. Como resultado de esta organización en cada mesa trabaja una sección bajo la guía de un profesor que asesora todo el proceso del trabajo práctico a desarrollar en el laboratorio. Debido a esto, es pertinente permanecer en el laboratorio con gafas porque, el que una sección no esté manipulando sustancias químicas, no significa que las otras secciones tampoco lo estén haciendo y es ahí donde puede ocurrir un accidente para el cual no se esté preparado.

Además de los lentes de seguridad, está la bata de laboratorio (número 2 en la figura 2.3.4), la cual es una barrera o defensa que no permite el paso de “algo”. En otras palabras, la bata de laboratorio junto con los guantes son la primera barrera de defensa que protege al cuerpo de la exposición directa a químicos peligrosos (6). Debido a que solamente se tiene una única pieza de piel, es decir, no se puede

reemplazar la piel dañada como si se tratara de un suéter, es responsabilidad de cada uno de nosotros protegerse del contacto directo con sustancias químicas para evitar el contacto con ellas en cualquier parte del cuerpo, en especial el torso, brazos, piernas y manos (6).

Es en este sentido que la mejor opción para una bata de laboratorio es que esta sea de algodón, ya que este tipo de tejido forma una tela gruesa y resistente, que si bien, no es inmune a corrosivos como el ácido sulfúrico, sí es lo suficientemente resistente para soportar la corrosión y dar tiempo a que el afectado se quite la bata antes de que el ácido llegue a tener contacto con su ropa o su piel (6). También se recomienda que ésta, sea lo suficientemente larga de modo que llegue hasta las rodillas y las mangas cubran todo el brazo hasta la muñeca (6), no es necesario que los alumnos compren una bata hecha a la medida solo deben asegurarse de que ésta sea de su talla.

Además de la bata de laboratorio, otra barrera que se tiene a favor para evitar el contacto directo de la piel con las sustancias químicas es la ropa y el calzado. Por lo que, en cuanto a la ropa se recomiendan mangas largas en lugar de cortas, pantalones largos en vez de pantalones cortos (shorts) o faldas (6). También se debe poner atención al tipo de telas, siendo preferible usar ropa de telas más gruesas como la mezclilla (6). Por último, parte de la vestimenta es el calzado (número 3 en la figura 2.3.4) el cual debe ser cerrado y, si es posible, que no sea de tela (6). Aunque la ropa no está clasificada dentro del EPP, es verdad que proporciona una barrera adicional contra las salpicaduras químicas, por ello es que mientras más rápido se retiren las ropas contaminadas por sustancias químicas, menor es la posibilidad de sufrir daños por el contacto con ellas, como podrían ser quemaduras u otras lesiones.

Por otra parte, las manos son la parte que probablemente está más expuesta a las sustancias químicas. Para minimizar el riesgo de sufrir lesiones en las manos se debe trabajar con cuidado en el laboratorio, pero ésta primera medida no aporta una barrera física que proteja de quemaduras u otras lesiones (6). El EPP que brinda dicha barrera para las manos son los guates (número 4 en la figura 2.3.4).

Los guantes proporcionan una barrera temporal que da lugar a reaccionar y enjuagar con abundante agua la sustancia química con la que tuvo contacto el guante, antes de que ésta logre entrar en contacto con la piel (6).

En cuanto a los guantes, los hay de diferentes tipos, cada uno de los cuales da protección a diferentes clases de situaciones dependiendo de sus propiedades en relación con la sustancia en cuestión (6). En general las principales características de los guantes son: el tamaño, espesor, longitud del puño y el material con el cual están fabricados. De manera habitual los guantes de látex son usados como los “guantes estándar” en los laboratorios, desafortunadamente ha incrementado el número de personas que son alérgicas al látex, por lo que están siendo reemplazados por otro tipo de guantes, como los guantes de nitrilo (6). Estos guantes ofrecen una buena protección contra soluciones diluidas de ácidos y bases, y contra varias soluciones salinas; incluso protegen de algunos disolventes orgánicos (6).

Para los alumnos que cursan los LCB la mejor opción es trabajar con guantes de nitrilo, pues de acuerdo con los experimentos propuestos en el programa del módulo del LCB perteneciente al Plan de Estudios vigente, la mayoría de las sustancias utilizadas en dichos laboratorios, no son de mayor cuidado, incluso en el caso del ácido sulfúrico, que es un ácido fuerte y agente oxidante (59), los guantes de nitrilo son recomendados en su HDS como parte del EPP.

Para terminar con la revisión del EPP hay que hablar de la protección para las vías respiratorias (número 5 en la figura 2.3.4). Esta protección se toma en cuenta porque muchas sustancias químicas líquidas tienen presiones de vapor significativas y algunos sólidos subliman lo suficiente, por lo tanto, el producto se encuentra en el ambiente en forma gaseosa (6). Al igual que con los elementos anteriores del EPP, lo primero que se debe hacer es revisar la HDS de la sustancia en cuestión, principalmente las secciones 2 “Identificación de los peligros”, 8 “Controles de exposición / protección personal” y 9 “Propiedades físicas y químicas” (44). Los datos de la sección 9 en ocasiones, más de lo esperado, no están completos y es deber del usuario contrastarlos con los mostrados en el TMI

independientemente a las recomendaciones de las HDS. Siempre se debe saber la localización y el uso de las campanas de extracción, así como, ubicar los ductos de ventilación y si el experimento lo permite mantener una buena circulación de aire fresco del exterior por medio de las puertas y ventanas.

Retomando el ejemplo del ácido sulfúrico en una concentración menor a la planteada en el primer ejemplo (0.1 M), bastaría con usar una bata 100% de algodón, goggles de seguridad con protección lateral y guantes de nitrilo para minimizar considerablemente la severidad del riesgo de exposición (59). A estas medidas se puede sumar el uso de la campana de extracción para preparar disoluciones o fraccionar el ácido y así evitar la inhalación de humos, si es que al momento de fraccionarlo hay demasiada humedad en el aire.

2.3.2.4 Prepararse para emergencias

Aun con todos los esfuerzos por prevenir accidentes y tratar de controlar los incidentes es muy probable que se presenten situaciones de emergencia, pues recordemos que, aunque el riesgo disminuya drásticamente, nunca será cero (7). De este modo, estar preparado para enfrentar, de la mejor manera posible, situaciones de emergencia es la última carta que queda antes del desastre. Consideremos al desastre como el peor de los escenarios, en dicho caso los resultados sobrepasan por completo la ayuda que podamos ofrecer y por lo regular no hay nada que hacer para revertir sus efectos. Es en este sentido que, si se atienden exitosamente los 4 principios de seguridad, REMP, sin sacrificar en el laboratorio los resultados de los experimentos se estaría cumpliendo con la meta de lo que se conoce como Cultura de Seguridad (6).

Es muy común que la primera respuesta a alguna emergencia sea un momento de pánico, particularmente cuando se teme por la propia seguridad si está en peligro (6). Con el tiempo probablemente, se aprenda a controlar esa primera

respuesta, pero siempre será bueno tomar un profundo respiro, para calmarse un poco, y ya con la mente despejada decidir cómo responder a la emergencia (6). La respuesta que se espera debe basarse en los conocimientos adquiridos a lo largo de los cursos pasados o incluso en experiencias de terceros (6, 56).

Como estudiante es muy limitado el número de situaciones de emergencia en las que realmente pueda ser de ayuda. Es por esto por lo que, la principal responsabilidad de un alumno o persona sin entrenamiento como paramédico, bombero o rescatista, es ponerse a salvo (6). Ponerse a salvo antes de ayudar a alguien más, para permitir que el personal capacitado haga su trabajo (6). Como profesor o instructor se puede ayudar a los alumnos indicándoles cuál podría ser su participación en caso de un accidente (6).

Aun con las limitaciones ya señaladas, se debe estar comprometido con saber qué hacer en caso de que ocurra un accidente (6). Lo primero es no descartar todo el trabajo anteriormente realizado para los demás principios, esto porque reconocer el riesgo al que se estuvo expuesto hará más fácil la tarea de identificar qué se puede hacer para que el daño no siga avanzando (6). Evaluar el riesgo permite saber las fuentes que posiblemente ocasionaron el accidente para en un futuro controlarlas (6). Por último, minimizar el riesgo ayudará a que las lesiones ocasionadas por el accidente no sean tan graves o severas (6).

Considerando el escenario de los LCB, las emergencias que se pueden presentar son: incendios, derrames, salpicaduras en cuerpo, cara y ojos; ingestiones y/o inhalaciones. Para el primer tipo de emergencia, incendios, hay que saber dónde se encuentran las principales salidas de emergencia y mantenerlas despejadas, es muy común encontrar mochilas o bancos obstruyendo los pasillos en los laboratorios (6). Para evitar esto es conveniente contar con un candado para guardar las pertenencias personales en los lockers ubicados fuera de los laboratorios, y conservar los bancos pegados a las mesas de trabajo.

Por normativa las instalaciones de los laboratorios deben de contar con una alarma contra incendios, llaves de paso para las tuberías de gas y un extintor colocado en un área en específico (6). Adicional a esto, en caso de un incendio u

otra situación de emergencia que requiera la intervención de personal experimentado es mejor llamar al 911 para pedir ayuda (6). En el caso de los incendios, para saber cómo combatirlos se deben tener conocimientos sobre los tipos de incendios (cuadro 2.3.2), el triángulo y el tetraedro de fuego; además de los tipos de extintores y su uso (6).

Conocer todos estos elementos lleva tiempo y práctica, y no están considerados, explícitamente, como temas dentro del Plan de Estudios de la carrera de QFB. Aun así, si se desea ser un líder en seguridad (55) es fundamental ser autodidacta para tener un conocimiento más amplio y poder diseñar mejores planes de acción. Como lo veremos a continuación en el caso de incendios, aunque se tengan conocimientos sobre el tipo de incendio o el tipo de extintor, se recomienda no enfrentar el incendio solos (6).

Cuadro 2.3.2 Clases de incendios

Clase	Descripción	Ejemplos
A	Incendios que involucran materiales combustibles ordinarios	Papel, madera, ropa, muebles y plásticos
B	Incendios que involucran líquidos inflamables	Éter, hexano, gasolina y aceite
C	Incendios que involucran electricidad, equipo energizado	Placas de calentamiento, espectrómetros y computadoras
D	Incendios que involucran metales reactivos	Sodio, litio e hidruros metálicos

“Hill R. Finster D. Laboratory Safety for Chemistry Students. 2^{da} ed. New Jersey y Canadá: Wiley; 2016. p. 2-73”. (6)

Como alumno en los LCB I y II en la carrera de QFB, el plan de acción que se puede implementar en caso de incendio es:

- 1) Alertar a los compañeros y al instructor
- 2) Evacuar rápidamente y en orden el área
- 3) Llamar a las autoridades competentes en la facultad

El segundo tipo de emergencia que se puede presentar en los LCB I y II en la carrera de QFB, son los derrames químicos. Aunque en estos laboratorios no se trabajen con grandes cantidades de reactivos como galones o kilogramos, es una realidad que los alumnos tendrán que fraccionar volúmenes (mL) o masas (g) del reactivo que necesitan de un contenedor de por lo menos 1L o 1Kg. Estas cantidades manipuladas van a incrementar el riesgo de sufrir lesiones o daños severos dependiendo de qué tipo de sustancia se esté fraccionando, por ejemplo, en caso de que el derrame sea de una sustancia tóxica el riesgo aumenta aún más.

Es en ese sentido, que la norma general es contar con un pequeño kit para derrames que forme parte del material básico de laboratorio para cada alumno. Si el laboratorio donde se está trabajando cuenta con un kit para derrames es obligación de los alumnos saber su ubicación, y responsabilidad del grupo mantener en buenas condiciones dicho kit (6). En cualquiera de los dos casos se debe priorizar controlar el derrame lo más rápido posible, para reducir el área de la mesa o piso afectada y facilitar la limpieza (61). Lo más recomendable por expertos para la contención de derrames, en especial de líquidos, es el uso de material absorbente y en medida de lo posible que también sea neutralizante (61). Incluso recomiendan el uso de materiales caseros como arena para areneros de gato (61).

En cuanto a los materiales absorbentes comerciales se encuentran marcas como Oil-Dri y Zor-All, vermiculita o materiales de partículas pequeñas, aproximadamente No. de malla 30 mesh (61). En el caso de los materiales contrario para neutralizar los líquidos recomiendan piedra caliza o carbonato de sodio para ácidos y bases, disolución de tiosulfato de sodio para bromo, etc. (61).

Retomando los elementos anteriores citados se puede armar un kit propio contra derrames, considerando que los componentes de éste deben ser simples, como por ejemplo en el caso de que se derrame una sustancia sólida la forma más fácil de atender el derrame es con un recogedor de mano y una pequeña brocha, esto porque los derrames sólidos no representan un mayor riesgo ya que por lo regular no se dispersan rápidamente. Aunque sí hay que tener ciertas consideraciones en caso de que sea un sólido higroscópico o delicuescente. En ambos casos el sólido absorberá humedad del ambiente, con la diferencia que los sólidos delicuescentes se disuelven por la gran cantidad de humedad que absorben y lo higroscópicos no se disuelven, pero sí pierden su forma y firmeza (62). En ambos casos entre más tiempo pasen expuestos a la humedad menos factible será recogerlos en su forma sólida original.

De lo contrario, si la sustancia es líquida lo primero es saber sus propiedades físicas y químicas para identificar qué tipo de peligro representa la sustancia. Lo segundo es saber su estabilidad química, ya que si son sublimables tal vez se debe utilizar protección respiratoria para atender el derrame. En tercer lugar, también se debe considerar la cantidad de líquido derramado ya que de acuerdo con expertos volúmenes menores a 200 mL se consideran derrames pequeños (62), los cuales pueden ser contenidos con papel toalla (Sanitas®) o arena.

Retomando el ejemplo del ácido sulfúrico, al revisar sus propiedades en la sección 9 “Propiedades físicas y químicas” de su HDS se encuentra que es un ácido y oxidante fuerte lo cual indica que es corrosivo por lo que no se puede limpiar lo derramado con un simple trapo. Sin embargo, al revisar la sección 6 “en caso de derrame” lo que se recomienda es recuperar con algún material inerte como vermiculita o arena seca, aunque esta última es menos efectiva (61). Otra opción puede ser el bicarbonato de sodio (61) el cual es más asequible y fácil de conseguir además de ser un anfótero que sirve para neutralizar tanto ácidos como bases.

Con el ejemplo anterior se ilustra otro material que se debe integrar al kit contra derrames, el bicarbonato de sodio, el cual se puede acondicionar en un recipiente con tapa dispensadora para facilitar su uso y mantenerlo seco. En caso

de que no se trate de un líquido corrosivo lo más probable es que una franela o papel toalla sean suficiente para controlar el derrame, aunque siempre se deben consultar las secciones 6 y 9 de las HDS para corroborar que el kit contra derrames tiene lo necesario.

Otro factor que se debe considerar para atender un derrame, además de las propiedades físicas y químicas, es la cantidad de sustancia derramada. Como ya se mencionó anteriormente en los laboratorios docentes no se manipulan cantidades muy grandes, así que al diseñar el plan de acción en contra de derrames se tiene que tomar en cuenta esto pues las recomendaciones que da la HDS se deben adaptar a la cantidad de sustancia y área de trabajo.

En conclusión, se recomienda el siguiente plan general de acción contra derrames de líquidos y sólidos en los LCB I y II:

- 1) Aislar y despejar la zona
- 2) Contener el derrame (en caso de líquidos)
- 3) Recuperar el sólido con un recogedor de mano y una brocha
 - Si es higroscópico aclarar con bastante agua, si se requiere, neutralizar con bicarbonato de sodio o vinagre, y recuperar con un material absorbente.
 - Si es delicuescente y se requiere neutralizar con bicarbonato de sodio o vinagre y recuperar con un material absorbente (franela).
- 4) Desechar en un contenedor para residuos químicos (sólidos)
- 5) Enjuagar la franela con abundante agua
 - Si no se neutralizó tirar la franela en un contenedor para residuos químicos.

En relación al tipo de emergencia, generado por salpicaduras, estas se diferencian de los derrames porque en un derrame se considera que el área de contacto es la superficie de algún objeto como la mesa de trabajo, el interior de la campana de extracción o el piso del laboratorio. Por el contrario, en una salpicadura

el área de contacto es un tejido y éste puede ser la piel de las manos, brazos, torso, cara, etc. o tejido ocular (6).

Es en este sentido que, las salpicaduras se atienden con primeros auxilios y no entran en el plan de acción contra derrames. Debido a que en este tipo de emergencia lo que entra en contacto con la sustancia química es la piel, lo primero es atender al afectado y ponerlo a salvo alejándolo del lugar del accidente, y lo segundo es atender el derrame, si es que hubo uno (6). Por otra parte, hay que saber dónde se encuentra instalado el lavaojos, la regadera de emergencia y el botiquín de primeros auxilios (6, 61). Como medida extra, se debe asegurar que el contenido del botiquín sea reabastecido, por la autoridad correspondiente, para reemplazar los suministros caducos o reponer los que ya se agotaron (6). Además, la regadera de emergencia y el lavaojos deben ser revisados periódicamente y quien lo haga tiene que pegar una etiqueta con la fecha de revisión y las iniciales de quien los revisó (61).

Como siempre, se recomienda acudir a las HDS con premura para consultar la sección 4 “primeros auxilios” y trazar un plan con las instrucciones precisas de qué hacer en caso de contacto con la piel o los ojos (6), para evitar la demora en atender la lesión por estar buscando hoja por hoja la sección 4, ya que recordemos que en una situación de emergencia ser presas del pánico podría contribuir a un desenlace desastroso. También se recomienda revisar las HDS para garantizar que se entiendan las instrucciones y tener en mente las recomendaciones generales y las más importantes como la de NO neutralizar. Esto es porque, aunque para algunos sea lógico para otros no lo es, y en una situación de emergencia se puede olvidar que las reacciones de neutralización son exotérmicas y lejos de atenuar la quemadura ésta se puede agravar más (61).

El plan en caso de salpicaduras en ojos y/o piel que se puede seguir es el que se propone a continuación:

En caso de contacto con ojos...

- 1) Retirar las gafas de seguridad
- 2) Lavar con abundante agua por los menos durante 15 minutos (61).
NO neutralizar

3) ¡Conseguir atención médica de inmediato!

En caso de contacto con la piel...

- 1) Retirar la ropa contaminada
- 2) Lavar el área afectada con abundante agua por lo menos 15 minutos (61). NO neutralizar
- 3) ¡Conseguir atención médica de inmediato!

Es muy común que a pesar de los primeros auxilios que se recomiendan en las HDS éstas, en su gran mayoría, tengan como regla general ¡Conseguir atención médica de inmediato! ya que, aun cuando la salpicadura haya sido pequeña, o se piense que la lesión ya fue atendida, la gravedad de esta debe ser evaluada por personal médico que, en caso de considerar que el afectado necesite una atención médica mayor, llamará a urgencias (6).

Por último, está el tipo de emergencia por ingestión y/o inhalación que también involucra la salud de una persona, como en el caso de las salpicaduras. Sin embargo, en el caso de ingestión y/o inhalación la sustancia química entra al cuerpo, y es en este caso que, además de las propiedades físicas y químicas (sección 9 de la HDS), también se deben tomar en cuenta las propiedades toxicológicas (sección 11 de la HDS) (6). Porque, como ya se mencionó, en la sección 3.2.1 de este capítulo, el cuerpo elimina las sustancias tóxicas que ingresan a él por medio del metabolismo y aunque éste es un buen mecanismo de respuesta, no evita por completo los efectos adversos ni las lesiones (6).

Cuando una sustancia química es inhalada o ingerida antes de ser metabolizada, entra en contacto con el tejido de diferentes órganos, por ejemplo, en caso de ingestión el contacto se da con el tejido del sistema gastrointestinal ocasionando irritación y/o quemaduras; y en caso de inhalación las sustancias entran en contacto con las mucosas nasales, llegando a las vías del sistema respiratorio, causando irritación o también quemaduras (6). Todo esto sumado a los efectos adversos que pueden presentarse de inmediato o después de la exposición, agrava la severidad del riesgo.

En estas dos situaciones, ingestión e inhalación, además de las recomendaciones generales mencionadas en el caso anterior, como NO neutralizar, hay otras consideraciones que se deben aplicar, por ejemplo, tomar en cuenta que para atender a una víctima que inhaló alguna sustancia química se debe saber un poco más de primeros auxilios y contar con un botiquín más equipado (6, 61). Al remitirnos nuevamente a las HDS, en la sección 4 de primeros auxilios, en caso de inhalación, generalmente se recomienda que el afectado sea llevado al exterior para que inhale aire fresco, pero en caso de que esto no funcione, lo siguiente es proporcionar respiración artificial (6) o resucitación boca a boca (61).

Para poder proporcionar respiración artificial primero se debe estar seguro de tres cosas, uno contar en el botiquín de primeros auxilios con el equipo adecuado, este puede ser un respirador con bolsa manual (6). Segundo, saber cómo utilizar el equipo de respiración artificial (6). Tercero, saber cómo dar respiración de boca a boca (61). En el caso de no poder garantizar ninguna de las tres cosas anteriores, lo más prudente es llamar de inmediato al servicio médico de la institución educativa y al 911 (6).

Al revisar el apartado de “en caso de ingestión”, en la misma sección 4 en la HDS, se observa que dependiendo de la sustancia química puede haber diferencias en las recomendaciones. En ningún caso se recomienda neutralizar con otra sustancia química como por ejemplo bicarbonatos, ni siquiera con jugo de limón. En algunas HDS de fabricantes como Laboratorios MEYER, se recomienda que además de beber agua se puede beber leche máximo dos vasos, un ejemplo de ello se encuentra en la HDS del ácido sulfúrico (59). Es aquí cuando el criterio del alumno entra en juego y consultar a su profesor, además de las fuentes bibliográficas, puede ayudarlo a tomar la decisión más acertada.

A continuación, se recomienda un plan general de acción en caso de inhalación o ingestión:

En caso de inhalación...

- 1) Proporcionar aire fresco

- 2) Si hay dificultades para respirar, llamar al servicio médico de la Facultad
- 3) Llamar a emergencias

En caso de ingestión...

- 1) Beber abundante agua
- 2) NO neutralizar y NO provocar el vómito
- 3) ¡Conseguir atención médica de inmediato!

Acotando los cuatro principios de seguridad como REMP se establece un orden que se puede seguir a la par que se va desarrollando el protocolo para el experimento que se desea realizar, esto sirve como recordatorio para que no se olvide cumplir con algún principio, y poco a poco la CS se integre a la vida cotidiana de alumnos y profesores. Por último, se retomará el ejemplo del ácido sulfúrico para acotar cómo se aplicaría REMP a un caso en específico.

Suponiendo que para un experimento alumnos del LCB I requieren preparar una solución 0.1 M de ácido sulfúrico, lo primero que deben hacer dichos alumnos es recabar información sobre el ácido, pero ¿qué tipo de información? y ¿qué fuentes bibliográficas deben consultar? Es en ese momento cuando se debe aplicar REMP para comenzar a buscar en los lugares correctos. Primero se deben consultar las HDS de por lo menos dos proveedores diferentes, después se debe contrastar la información de las HDS con la obtenida del TMI, a la par se pueden consultar otros libros que traten sobre Química Analítica, por ejemplo.

Una vez que se cuente con estas fuentes de información, lo siguiente es revisar su contenido usando como criterio los 4 principios de seguridad (REMP). Es en este sentido, que en las HDS las secciones que toman mayor relevancia son: 1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 13. Después de analizar dichas secciones bajo los criterios del modelo REMP, será notorio que en algunas secciones como la 9 y 10, falten datos o haya datos incompletos. Por esta razón, se pide revisar más de una HDS y contrastar la información con el TMI. En la figura 2.3.5 se ilustra el resultado de implementar REMP para este ejemplo.

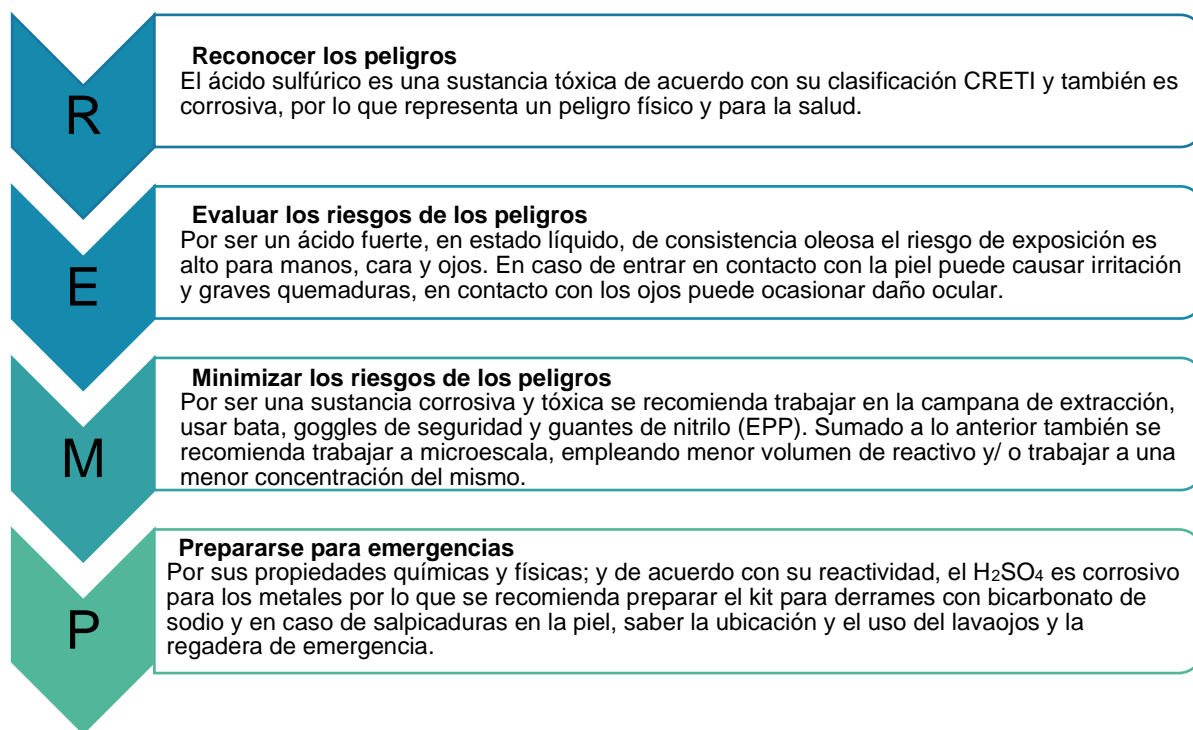


Figura 2.3.5 Diagrama que muestra la implementación del modelo REMP en el laboratorio tomando como ejemplo la preparación de una disolución 0.02 M de ácido sulfúrico

Adaptado de "Hill R. y Finster D. Safety Culture. Laboratory Safety for Chemistry Students. Second Edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons; 2016. p. 2-67". (59)

2.3.3 Actitud positiva de seguridad

Este apartado pretende dar una breve introducción de lo qué es y cómo se puede desarrollar una actitud positiva de seguridad. Para lograrlo es conveniente volver a repasar REMP, acrónimo que representa los cuatro principios de Cultura de Seguridad (CS) organizados de acuerdo con sus iniciales. Dicha organización puede ser de ayuda para recordar los cuatro principios y en la práctica facilitar su implementación en las actividades experimentales. Este enfoque REMP no debe utilizarse como una simple lista de cosas por cumplir, ya que, en ocasiones un principio puede tomar mayor importancia que los otros y será necesario anteponer su cumplimiento a seguir el orden que establece el acrónimo (6).

En ese tipo de situación es cuando el alumno tiene que poner en práctica todos sus conocimientos sobre seguridad, pero también sus habilidades como líder

en seguridad (6, 55). Dichas habilidades no se obtendrán sin enfrentarse a retos, ni serán desarrolladas en un corto periodo de tiempo, de hecho, la formación de un líder en cualquier campo tiene que ser constante. En particular, un alumno que desee ser un líder en seguridad constantemente estará aprendiendo sobre seguridad, y no solo atenderá al Plan de Estudios, aprenderá de la experiencia de sus profesores y personas cercanas, pero también buscará la opinión de expertos en seguridad de otras instituciones educativas públicas o privadas, incluso de otros países (55, 56). Esta constante búsqueda lo vuelve autodidacta y lo hace referente para que otros también tomen iniciativa en su propia formación como líderes en seguridad (55).

Además de habilidades también se requiere compromiso, estar consciente que las decisiones seguras o inseguras que se tomen no solo tendrán repercusiones individuales, también afectarán a terceros, volviendo necesario siempre estar alerta a las actitudes inseguras propias y de los demás durante el trabajo experimental (6). Es en este sentido que se deben mantener medidas de seguridad y procesos seguros los cuales también deben actualizarse y adaptarse acorde al nivel educativo o laboral en el que se encuentre el alumno, ya que conforme se vaya avanzando en la formación académica y profesional los retos serán más y más complejos (6).

Los profesores o asesores también deben cumplir su rol como líderes en seguridad guiando y alentando a los alumnos durante la planeación de sus experimentos o presentándoles materiales actualizados que podrían enriquecer los temas de seguridad ya contemplados por el Plan de Estudios (6). Por otra parte, deben trabajar, de manera grupal, en aprender a reconocer, evaluar, minimizar y gestionar riesgos dentro de los laboratorios químicos para enseñarle a los alumnos cómo evadir peligros innecesarios (6). Finalmente, como autoridad en el laboratorio el profesor, debe estar atento al reabastecimiento del botiquín de primeros auxilios. Esto no significa que son ellos los únicos responsables en prepararse para las emergencias. Como usuarios del laboratorio los alumnos también comparten dicha responsabilidad con el profesor (6). Ambos deben intervenir, en mayor o menor medida, en los planes de atención a emergencias porque la CS se construye y mantiene gracias al trabajo en conjunto (6).

De esta manera una actitud positiva de seguridad es el principio de una conducta correcta o buena (6) que se desarrolla a lo largo de la formación académica, y que se continúa ejerciendo durante toda la vida profesional (6). Una fuerte actitud positiva de seguridad permite trabajar de forma segura en un laboratorio, y aquel que logra una fuerte actitud positiva es capaz de cuidar a terceros, compañeros de trabajo, amigos o familiares, sin importar el lugar donde se encuentre (6).

En palabras de R. Hill y D. Finster la clave para desarrollar una sólida **actitud positiva de seguridad es “aprender a trabajar seguro, evitar riesgos innecesarios y aceptar responsabilidades en favor de la seguridad”** (6). Esta declaración puede pasar a ser una realidad si los profesores y la institución trabajan en conjunto, empleando estrategias como las siguientes (6).

Trabajar seguro: se consigue a través de la educación continua en seguridad, aprendiendo a reconocer y evaluar los riesgos, implementando procesos seguros, manteniendo un alto nivel de conciencia de seguridad y estando preparado para las emergencias (6).

Evitar riesgos innecesarios: es cuando se es capaz de reconocer y minimizar los riesgos mediante su gestión a lo largo del trabajo práctico en el laboratorio (6).

Aceptar responsabilidades: es un acto de empatía hacia otros, ya que aceptar la responsabilidad de tus acciones por tu seguridad y la de los demás requiere estar atento a lo que tú y otros hacen en el laboratorio (6).

De igual manera es importante que los profesores enseñen con su ejemplo a los estudiantes, así será más fácil que éstos integren las estrategias ya mencionadas al trabajo experimental.

2.3.4 Química verde (QV)

De acuerdo con el director del American Chemical Society's Green Chemistry Institute, Dr. Robert Peoples, "La química verde no representa la vieja regulación que teme la industria. La regulación es un instrumento para reparar algunas cosas que están verdaderamente rotas. La química verde y la ingeniería son sobre asegurarse, desde un inicio, de no crear problemas. Nosotros estamos intentando volver obsoleta la regulación" (6). Esto también se puede entender en el sentido de que la QV no es sobre eliminar la contaminación por las malas prácticas de la industria, es sobre evitar futuros problemas de contaminación por una mala gestión de residuos peligrosos y una mala gestión química. Es evitar el problema, no tratar de solucionarlo una vez que ya pasó.

El enfoque preventivo de la QV es la razón por la que a lo largo de los semestres en la carrera de QFB de la FES Zaragoza, deben retomarse temas como principios de BPL, los 4 principios de seguridad, gestión de riesgo, gestión química y los 12 principios de la QV. Además, retomar estos temas favorecerá continuar con la formación de una CS desde los niveles más básicos de la carrera hasta los más especializados, lo que resultará en futuros profesionistas comprometidos no solo con la química sino también con la seguridad.

El surgimiento de la QV fue paulatino y requirió de muchos esfuerzos en conjunto, ya que, conforme se fueron identificando los problemas medio ambientales, los científicos y demás expertos se dieron cuenta que, para obtener resultados tangibles, y en corto tiempo, era necesario permear en la conciencia medio ambiental de la sociedad, en todos sus niveles (6, 63).

La historia de la QV se entrelaza con el desarrollo de las industrias y el descuido del ser humano a no atender junto con el desarrollo económico, la conservación de los recursos naturales y su efecto en la salud de las personas (63).

La creciente necesidad de aumentar la productividad de alimentos para la población humana en incremento impulsó la industrialización de los procesos y productos agrícolas (64). Esto, condujo a una mayor contaminación y agotamiento de los recursos naturales, los cuales, comenzaron a utilizarse como si no hubiera

consecuencias a futuro (63, 64). Aun así, esta industrialización acelerada mejoró, en gran medida, la calidad de vida de las personas (64). Sin embargo, el problema surgió por la poca intervención gubernamental en generar políticas que ayudaran a controlar la explotación de los recursos ambientales, mitigando el impacto de las industrias en el ambiente (63).

A raíz de lo ya expuesto, las primeras preocupaciones sobre el medio ambiente surgieron en 1949 en la Conferencia Científica de las Naciones Unidas sobre la Conservación y el uso de Recursos (UNSCCUR, por su nombre en inglés United Nations Scientific Conference on the Conservation and Use of Resources) en los Estados Unidos (EU) (65); no obstante, fue hasta 1960, que la publicación del libro de Rachel Carson “Primavera Silenciosa” estimuló un movimiento ecologista contemporáneo al crear conciencia sobre la percepción ecológica, proporcionando importantes iniciativas gubernamentales con una marcada preocupación por los riesgos asociados a la sobreexplotación de los recursos naturales (63).

Más de una década después, en 1972, se llevó a cabo la Conferencia de Estocolmo en Suecia, la cual contó con la participación de representantes de varios países, incluso miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y miembros de organizaciones sin fines de lucro (63). El tema principal en la conferencia fue el derecho ambiental considerado dentro del marco jurídico. A partir de este evento, el mundo comenzó a ser alertado sobre los daños ambientales que el agotamiento del ecosistema podría ocasionar a la humanidad (63).

En los años siguientes, en especial la década de 1980, se realizaron numerosas conferencias mundiales enfocadas al medio ambiente (63). Es en este periodo que la ONU creó la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, para producir un informe sobre el desarrollo mundial y el medio ambiente (63). Dicho informe, publicado en 1987, fue llamado “Nuestro Futuro Común”, sin embargo es más conocido como “Informe Brundtland”. En él se plantea una reconciliación entre las cuestiones ambientales y sociales; definiéndose por primera vez el concepto de desarrollo sostenible como “aquel que satisface las necesidades de la generación actual sin comprometer a generaciones futuras” (63). En este informe también se

enfaticó sobre los peligros del agotamiento de la capa de ozono y los efectos sobre el calentamiento global, con lo cual se afirmó que la capacidad de los científicos para evaluar y proponer soluciones era inferior a la velocidad del cambio climático (63).

Afortunadamente, para 1990 la conciencia mundial sobre la preservación del medio ambiente era mucho mayor. Esto se vió reflejado en los esfuerzos de varias naciones por implementar programas y regulaciones que evitarán futura contaminación. Tal es el caso de los Estados Unidos de América con la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por su traducción del inglés Environmental Protection Agency), que lanzó el programa “Rutas Alternativas Sintéticas para la prevención de la Contaminación” el cual proporcionó una nueva filosofía sobre el control del riesgo de químicos tóxicos, enfatizando el no generar estos productos (63).

En 1992, en Brasil hubo una Conferencia Internacional de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo llamada “Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro” (ECO-92). El resultado de dicha conferencia junto con la participación de diferentes jefes de estado fue un documento denominado “Agenda 21”, que contó con el compromiso de los países para valorar el desarrollo sostenible impulsando temas ambientales, políticas económicas y la toma de decisiones (63).

Por último, el gran avance para la QV en la década de los 90’s, fue la publicación del libro Green Chemistry: Theory and Practice, presentado por Paul Anastas y John C. Warner en 1998. En este libro, los 12 principios de la QV (figura 2.3.6) se describen claramente como una filosofía que siempre ha alentado a los científicos, académicos y a las instituciones a buscar acciones ambientalmente amigables (63).

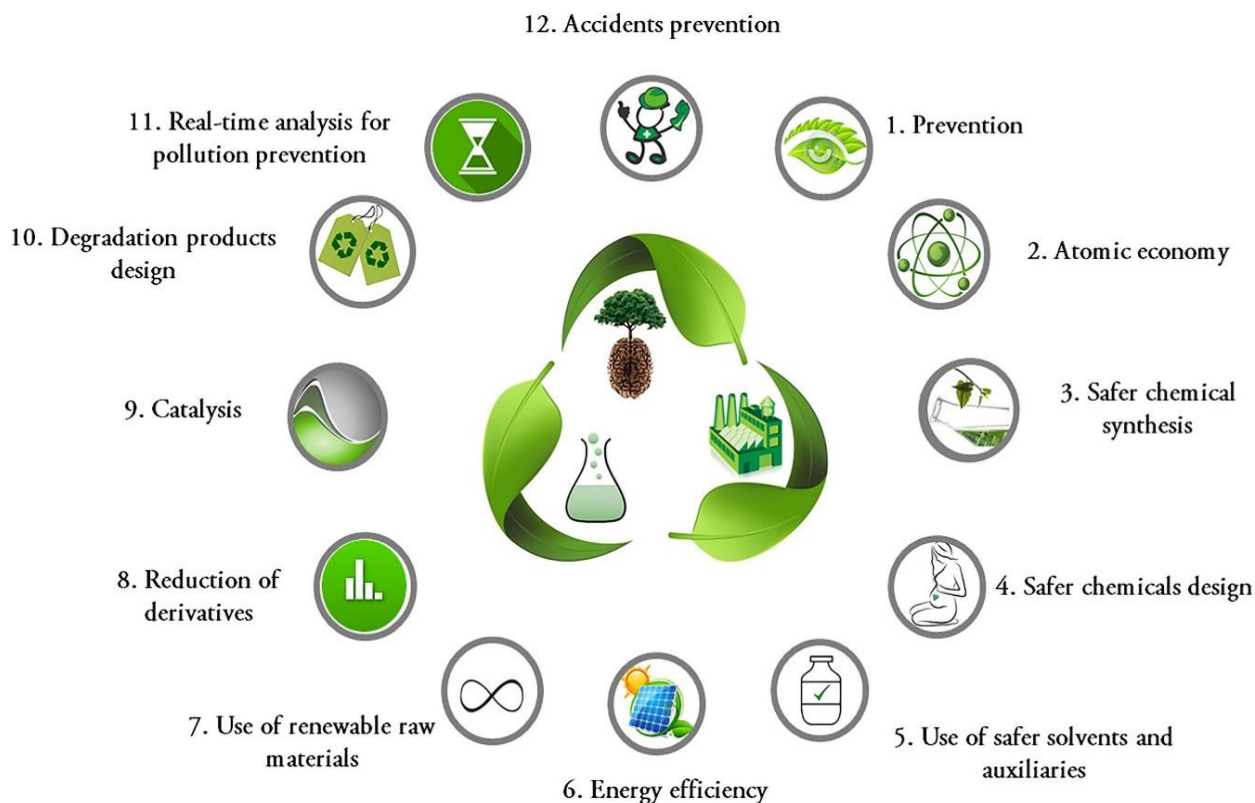


Figura 2.3.6 Principios de la Química Verde propuestos por Anastas y Warner

Tomada de: "Aparecida B, Saú B, Gandilpho E, Kogawa AC, Nunes HR. Evolution of green chemistry and its multidimensional impacts: a review. Saudi Pharmaceutical Journal [Internet] 2019 [Consultado 15 Mar 2022]; 27 (1): p. 1 - 8. Figura 1.12". (63)

Desde la publicación de este libro la tendencia por un desarrollo sostenible ha continuado, dándole seguimiento a propuestas pasadas, como cuando en 2002, luego de 30 años de la Conferencia de Estocolmo, se llevó a cabo en la ciudad de Johannesburgo, Sudáfrica un evento denominado Río+10 o Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (63). En esta cumbre las organizaciones y asociaciones sectoriales asignaron un nuevo objetivo: discutir las soluciones propuestas en la "Agenda 21", para que no solo el gobierno pueda aplicarlas, sino que se promueva que también la población en general se sume a la lucha contra la contaminación ambiental (63).

Es necesario conocer el contexto en el que los alumnos egresados de la carrera de QFB, se desarrollarán profesionalmente para comenzar a practicar, con mayor frecuencia, los principios de la QV en los laboratorios de docencia de la FES Zaragoza.

Es en este sentido, que tomando en cuenta los experimentos propuestos para los LCB I y II de la carrera de QFB de la FES Zaragoza, UNAM, y lo ya propuesto por R. Hill (6) a continuación se presentan los principios de QV que se podrían practicar durante el trabajo experimental, tomando como criterio el hecho de que los LCB no son laboratorios de química orgánica, en los cuales están enfocados los 12 principios de QV.

Prevención, principio # 1, en este caso lo más recomendable es evitar por completo la generación de residuos peligrosos, ya que como cita Bianca Aparecida de Marco y colaboradores en su artículo (63), “es mejor evitar la generación de residuos que tratarlos después”. Entendiendo que tratarlos involucra procesos donde se utilizan otras sustancias químicas, se invierte tiempo y dinero. La meta de no generar residuos peligrosos se puede alcanzar si se diseñan experimentos donde las cantidades de reactivos a utilizar se hayan minimizado, se prepare solo lo requerido y los productos generados en las reacciones puedan ser tratados por los alumnos en el mismo laboratorio. Por ejemplo, en el caso del ácido sulfúrico lo ideal es que cada alumno o equipo determine, con base en sus cálculos, la cantidad y concentración de ácido que necesitará para llevar a cabo su experimento, y toda la sección se organice para que preparen una sola disolución de ácido sulfúrico con la cual todos trabajen y no queden excedentes, además, de también trabajar con disoluciones de baja concentración para que al término del experimento estas puedan ser tratadas con bicarbonato de sodio comercial (6).

Principio # 5, Uso de disolvente y auxiliares más seguros, siempre que lo permita el experimento se debe optar por utilizar el disolvente que represente menor riesgo, ya sea porque es menos tóxico, no es inflamable o su pH no lo convierte en un ácido o base fuerte. En el caso de los LCB no es común encontrar otro disolvente que no sea el agua, pero sí se puede practicar la sustitución de sustancias peligrosas por otras menos peligrosas, como en el ejemplo del ácido sulfúrico, antes de optar por usar este ácido y oxidante fuerte se debe considerar la posibilidad de usar otros ácidos menos corrosivos como el ácido acético o algunos ácidos de origen natural como el ácido cítrico. Estos cambios solo se pueden hacer si las

condiciones del experimento así lo permiten, es decir, siempre y cuando los resultados esperados no sean alterados (6).

Principio # 6, Eficiencia energética. Este principio trata de minimizar el uso de fuentes de energía para llevar a cabo las reacciones, para esto, se recomienda realizar reacciones químicas a temperatura ambiente y a presión atmosférica cuando sea posible. Afortunadamente, este principio ya se practica, en los LCB debido a que no se realizan reacciones químicas tan complejas. Sin embargo, aun así, se puede reforzar esta práctica utilizando lo menos posible las parrillas de calentamiento y las placas de agitación (6).

Principios # 7, Uso de materias primas renovables. Este principio busca evitar el uso de materias primas no renovables, es decir, reactivos que una vez que cumplen su función no pueden ser usados para la misma u otra reacción porque se convierten en desechos. Las materias primas renovables son a menudo hechas de productos agrícolas o son residuos de otros procesos, por ejemplo, si lo que se desea es trabajar con carbonato de calcio, en lugar de usar el reactivo de laboratorio se puede obtener de la cáscara de huevo seca y triturada. Esta fuente alterna de carbonato de calcio necesita de un tratamiento previo y tiene ciertas desventajas como la pureza del carbonato de calcio, pero no se debe descartar su implementación en algunos experimentos (6).

Principio # 9, Catálisis. El uso de reactivos catalíticos, lo más selectivos posible, es mejor que el uso de reactivos estequiométricos. La razón por la que un catalizador es tan eficiente es porque éste puede ser utilizado en pequeñas cantidades y puede llevar a cabo una reacción varias veces (6).

Principio # 12, Prevención de accidentes. Este principio no es nuevo pues básicamente es lo mismo que plantea la CS a través de la implementación de REMP. Sin embargo, para la QV la prevención de accidentes se hace mediante la elección de sustancias químicas más seguras y como utilizarlas también de forma segura. Dicha elección se hace para minimizar los riesgos potenciales como fugas, incendios, derrames, etc. (6).

Estos 6 principios de QV tienen una clara contribución a la CS dentro de los laboratorios de docencia, ya que la postura de la QV de prevenir la liberación de

contaminantes al medio ambiente empleando sustancias químicas menos tóxicas o buscando reacciones químicas alternas, ayuda a disminuir el riesgo favoreciendo la práctica de la CS. Por ejemplo, para Minimizar los riesgos de los peligros, principio 3 de la CS, la implementación de la QV, en específico los principios 1,5 ,7 y 9, es de gran ayuda, ya que, reduce la exposición a residuos peligrosos y disolventes tóxicos; también reduce el tiempo de uso de reactivos y la exposición a contaminantes producto de materias primas no renovables. La QV también nutre a la CS en el sentido de que la vuelve global, pues recordemos que la QV nació a partir de problemáticas ambientales que afectan a poblaciones en diferentes partes del mundo.

Finalmente, la QV debe contribuir a que la CS se practique, no solo en los laboratorios químicos docentes o profesionales, sino también en los hogares permitiendo que más personas aprendan a tener una actitud positiva de seguridad frente a cualquier tarea o trabajo que realicen en su vida cotidiana.

2.3.5 Gestión química

Como último punto para forjar una CS fuerte dentro de los laboratorios es indispensable hablar sobre la Gestión Química (GQ), práctica cada vez más común en la industria que es aplicada desde el inicio hasta el final de todos los procesos o análisis químicos realizados con fines comerciales (6). En general la GQ es sobre el manejo y almacenamiento de los reactivos y de los residuos, ya que antes de ser utilizados los reactivos deben ser adquiridos de proveedores certificados, y una vez comprados el laboratorio debe contar con un almacén exclusivo acondicionado y organizado según las normas de su país, por ejemplo en el caso de México aplica la NOM-059-SSA1-2015 (37) en los numerales del 8.2.3 al 8.2.3.7 y la NOM-005-STPS-1998, Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas (66).

Comúnmente, al final de los procesos o análisis químicos se obtienen productos, pero también residuos químicos a los que se les tiene que dar seguimiento en su almacenamiento dentro del laboratorio para posteriormente ser llevados a una planta donde se les dará tratamiento y finalmente ser desechados (63). A grandes rasgos eso es la GQ que se espera sea aplicada en los centros de trabajo donde se utilicen sustancias químicas. En este apartado se discutirá un poco cómo la GQ es implementada en los laboratorios de docencia, además de dar algunas pautas que ayuden a mejorarla.

La importancia de aprender a gestionar las sustancias químicas con las que se trabaja y sus residuos peligrosos, es que los alumnos y futuros profesionistas desarrollen habilidades para el manejo de peligros químicos (6). Habilidades importantes y necesarias para la planeación, prevención y ejecución de anteproyectos y actividades experimentales, como base para trabajar con sustancias químicas de manera segura tanto para la salud como para las instalaciones y el medio ambiente (6). Así, con base en lo expuesto, para ayudar a los estudiantes en su formación la FES Zaragoza cuenta con medidas propias para gestionar la recepción de sustancias químicas y la eliminación de residuos a través del Sistema de Gestión de la Calidad (SGC).

Gracias a dicho sistema se desarrolló, entre otros documentos, el PNO SGC-FESZ-PO06 (51), anteriormente mencionado, para homogenizar la recolección de los residuos derivados de cada experimento realizado en los laboratorios de docencia. Pues anteriormente era común observar, al final de cada semestre, el área para residuos químicos llena de botellas de agua o frascos de comida utilizados como envases para residuos, sin la etiqueta apropiada, lo cual ocasionaba que el personal encargado de la recolección de dichos residuos invirtiera más tiempo y esfuerzo con el consiguiente riesgo que esto implica.

Sumado al esfuerzo de normar el manejo de residuos se puede promover el tratamiento de estos en el mismo laboratorio, particularmente en los LCB I y II donde se trabaja con soluciones a bajas concentraciones, con cantidades de líquidos y sólidos bajas; y apoyados de la HDS y el TMI se pueden diseñar, junto con el asesor,

tratamientos sencillos que resultan en residuos menos peligrosos que puedan ser eliminados, en lugar de ser confinados.

Sin embargo, se hace énfasis en que antes de desechar cualquier cosa en la tarja o basura se debe asegurar que no representan un riesgo para el medio ambiente, ya que la regla número 1 de la GQ es “NO tirar nada en el bote de basura o en el sistema de drenaje a menos que esté específicamente indicado” (6), y específicamente indicado se refiere a contar con información, de fuentes verídicas, que asegure su bajo impacto para la salud y el medio ambiente (6). Aun así, la instrucción de desechar cualquier cosa por la tarja es una indicación poco apropiada en un laboratorio de enseñanza, por lo que es mejor planear un tratamiento que se adapte a las características de la reacción y/o proceso efectuado y las posibilidades de los estudiantes para llevarlo a cabo, consultando con el asesor el destino final de los desechos tratados.

Al desarrollar esta sección se comenzó con el manejo de residuos porque es una actividad en la cual los alumnos están directamente relacionados y son sus actividades experimentales las que los generan. No obstante, el almacenamiento de los reactivos también es una actividad que les compete, aunque no de manera directa. Evidentemente los alumnos no son quienes adquieren con el proveedor los insumos, este es un trámite meramente administrativo y la facultad es quien se encarga de almacenar los cuñetes y administrar los reactivos a través del Centro de Recursos Físicos y Servicios (CERFyS). A pesar de esto, en los LCB se ha implementado una nueva modalidad, la cual consiste en poner a disposición de los alumnos y profesores los reactivos en el propio laboratorio. Los reactivos que comúnmente se usan en los experimentos de los LCB se disponen en frascos que se almacenan en gavetas cerradas, separando los reactivos sólidos de los líquidos.

Esta nueva modalidad abre un panorama en donde los alumnos y asesores a cargo tendrán que sumar a sus actividades experimentales, gestionar los reactivos destinados para todos los alumnos de dichos laboratorios. Con lo anterior es inevitable pensar en los posibles accidentes que se pueden suscitar, por ejemplo, un alumno derrama el frasco de ácido sulfúrico o alguien pipetea el mismo ácido utilizando una pipeta sucia. En ambos casos ya no se trata de unos cuantos mililitros

de ácido sulfúrico, tampoco es que se trate de cientos de litros, pero sí es un aumento de volumen que de acuerdo con la ecuación de riesgo (capítulo 2) aumenta la severidad del riesgo.

En este escenario es donde se ve un área de oportunidad para trabajar en propuestas que mejoren la GQ que ya se práctica al interior de la FES Zaragoza desde los LCB hasta los laboratorios de las áreas terminales. Centrándose en los LCB, una forma viable de prevenir los accidentes anteriormente ejemplificados es agregar a la planeación experimental el manejo de los reactivos. Remitiendo a los alumnos a las secciones 2 “Identificación de peligros”, 6 “Medidas que deben tomarse en caso de derrame accidental o fuga accidental”, 7 “Manejo y almacenamiento”, 10 “Estabilidad y reactividad” y 13 “Información relativa a la eliminación de los productos” de las HDS y al TMI para recabar la información pertinente que les ayude a tomar consideraciones a la hora de fraccionar los reactivos, y que sepan qué medidas tomar en caso de un derrame accidental.

Una forma eficiente de resumir la información de las HDS es subrayando la información relevante para después elaborar tablas, en la bitácora, que permitan acceder a dicha información de forma más rápida (figura 2.3.7). Lo importante de estas tablas es que obligan a que el alumno lea, resuma y procese la información, además de que permite relacionar lo sugerido en la HDS con lo implementado en la facultad. Por ejemplo, en la figura 2.3.7 se observa que además de lo sugerido por la sección 6 de la HDS, el alumno puede complementar dichas medidas con ayuda del PNO SGC-FESZ-PO06.

Como se puede percibir la GQ debe ser implementada de principio a fin en el trabajo experimental, y aunque en un inicio puede parecer pesada o difícil la realidad es que facilita la labor de quienes logran volverla parte de su plan de trabajo y al final la llevan a cabo con convicción. Es así como, uno mismo se vuelve en su propio inspector de GQ y no necesita que se le recuerde constantemente cómo debe manipular, almacenar y eliminar reactivos o residuos químicos (6).



Tabla 1. Resumen de las HDS del ácido sulfúrico.	
Nombre y # de sección	Contenido
Sección 2 Identificación de peligros	<ul style="list-style-type: none"> • Frases P H290 Puede ser corrosivo para los metales. H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves. <ul style="list-style-type: none"> • Frases H P234 Conservar únicamente en el recipiente original. P264 Lavarse la piel concienzudamente tras la manipulación. P280 Llevar guantes/ropa de protección/equipo de protección para los ojos/la cara. 
Sección 6 Medidas en caso de vertido accidental	<ul style="list-style-type: none"> • Aislé y ventile la zona. No respire los vapores. • Contenga el derrame y recupere cuando sea posible. • Absorba con un material inerte como vermiculita o neutralice con bicarbonato de sodio. • Elimine según lo establecido en el PNO SGC-FESZ-P006.
Sección 7 Manipulación y almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Mantener en su recipiente de origen herméticamente cerrado. • Conservar en un lugar seco y ventilado. Lejos de materiales incompatibles
Sección 8	Equipo de protección personal (EPP) <ul style="list-style-type: none"> • Bata de algodón • Gafas de seguridad ajustadas al contorno del rostro • Guantes de nitrilo *Protección respiratoria en presencia de vapores* 

Figura 2.3.7 Modelo de cómo los alumnos podrían elaborar una tabla para condensar la información de las HDS, retomando el ejemplo del ácido sulfúrico

Elaboración propia. Nota. *La información para elaborar el cuadro de la imagen fue tomada de “Química Substancias, Meyer. Hoja de datos de seguridad, Ácido sulfúrico [PDF]. México: Meyer (Jul. 3, 2018)”. (59)

III. OBJETIVOS

3.1 General

Diseñar y elaborar un Manual de Fichas de Seguridad (MFS) para las sustancias de uso común en los Laboratorios de Ciencia Básica I y II de la Carrera de QFB que permita, como medida preventiva, contar con la información pertinente en caso de alguna situación de emergencia y contribuya a la promoción de la Cultura de Seguridad a la vez que abona al Sistema de Gestión de la Calidad de los Laboratorios de Docencia de la FES Zaragoza, UNAM.

3.2 Específicos

3.2.1 Diseñar y optimizar un prototipo de Ficha de Seguridad empleando como modelos el ácido clorhídrico y el hidróxido de sodio.

3.2.2 Diseñar y elaborar una plantilla de FS (PFS) empleando como modelo el Biftalato de potasio.

3.2.3 Elaborar un Procedimiento Normalizado de Operación (PNO) para la elaboración de FS de las sustancias de usos común en los LCB y de las que posteriormente sean requeridas.

3.2.4 Elaborar las Fichas de Seguridad (FS) de las sustancias de uso común en los Laboratorios de Ciencia Básica I y II de la Carrera de QFB, que ayude como herramienta preventiva a disminuir la concurrencia de accidentes, y en caso de ser necesario enfrentarlos/atenderlos.

3.2.5 Desarrollar y organizar los contenidos que formarán parte del MFS, además de las FS, que sirva como material de apoyo, sin sustituir la revisión obligada de las HDS y el TMI.

IV. DESARROLLO DEL MATERIAL DIDÁCTICO

La documentación que a continuación se presenta en este apartado fue diseñada y desarrollada bajo dos grandes premisas. La primera premisa, evidentemente, es la seguridad con enfoque preventivo con la cual se busca disminuir la concurrencia de accidentes en los LCB I y II. La segunda premisa se refiere a los materiales didácticos y de apoyo, por lo que a lo largo de la elaboración de los documentos se tomaron en cuenta las características que convierten a un documento, en un material que facilita el proceso de enseñanza y aprendizaje, promoviendo así un aprendizaje significativo.

El objetivo general de este trabajo es el diseño y elaboración de un **Manual de Fichas de Seguridad (MFS) de las sustancias de uso común en el Laboratorio de Ciencia Básica I y II de la carrera de QFB**. Sin embargo, para la elaboración del MFS, es necesaria la elaboración de otros materiales como un prototipo de **Ficha de Seguridad (FS)**, una **plantilla** con formato estandarizado y un **Procedimiento de elaboración de las fichas de seguridad para las sustancias de uso común en los Laboratorios de Ciencia Básica (PNO)**. La implementación de estos materiales busca favorecer una Cultura de Seguridad (CS) dentro y fuera de los laboratorios de docencia. Así, tomando en cuenta lo anterior la FS, la plantilla y el PNO fueron diseñados bajo las dos mismas premisas que el manual, además de planearlos como complementos de éste.

Considerando lo anterior este apartado está organizado con base a 5 objetivos: 1) Diseño y desarrollo de un prototipo de FS, 2) Diseño y elaboración de una plantilla de FS, 3) Elaboración de un PNO para elaboración de FS, 4) Elaboración de FS implementando el uso de la plantilla y del PNO; y 5) Elaboración del MFS. Para el desarrollo de cada objetivo se siguieron 4 fases: 1) Consulta bibliográfica, 2) Diseño de los materiales de apoyo, 3) Desarrollo de los materiales de apoyo y 4) Revisión y mejora de los materiales. En la figura 4.1 se muestra un diagrama en donde los objetivos se encuentran en las columnas y las fases en los

regiones. Esta organización servirá para ubicar con facilidad el objetivo en cuestión y la fase a la que se hace referencia utilizando el siguiente código:

$Y - FX$

Dónde:

Y = número de objetivo

F = Fase

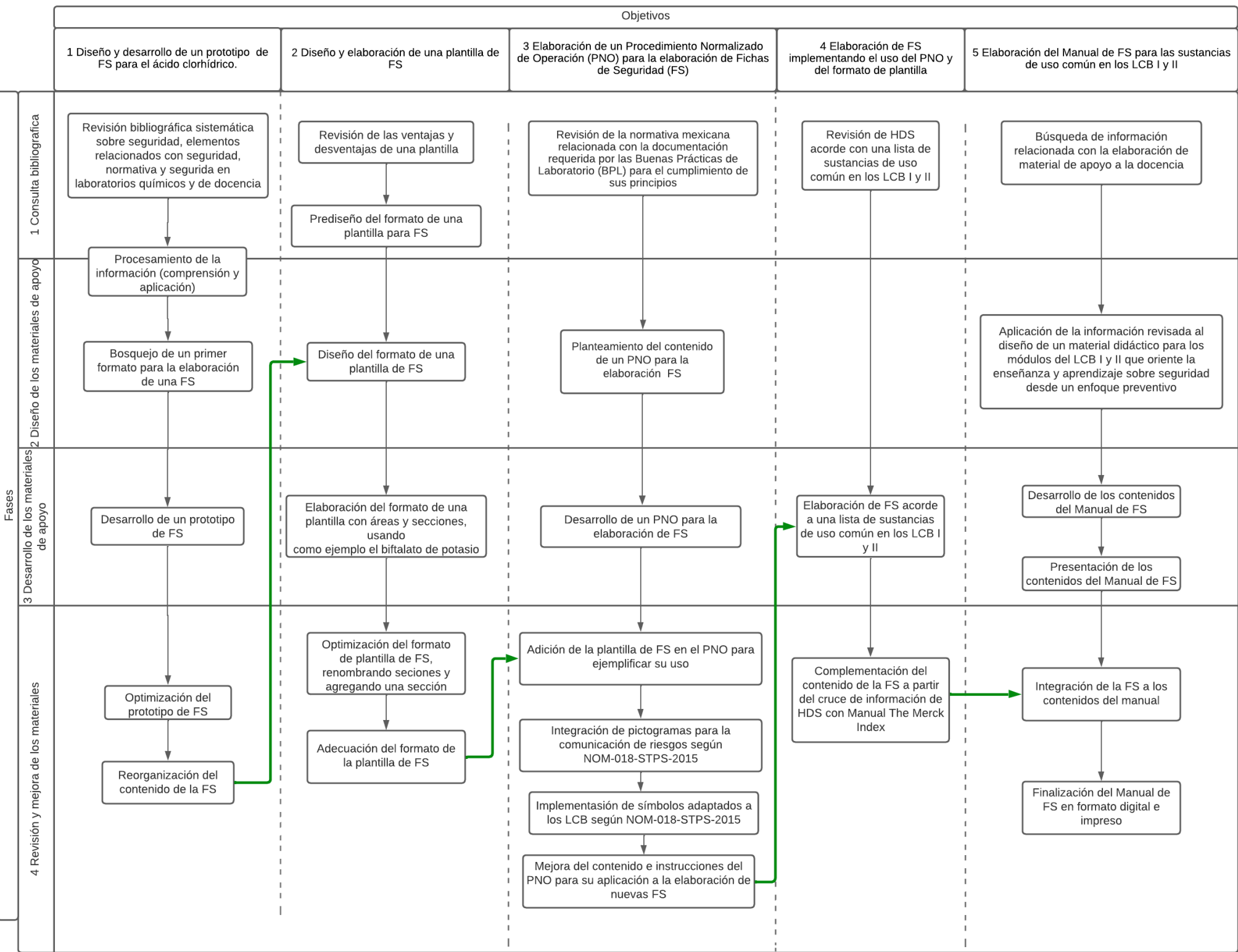
X = número de fase

Ejemplo: 2-F3, en el objetivo 2 (plantilla de FS) en la fase de desarrollo 3 podemos observar...

1-F1_F2, para el objetivo 1 (prototipo de FS) entre la fase de consulta (F1) y diseño (F2) se procesó la información de las HDS...

FX_FX = actividad que transiciona de una fase a otra

Figura 4.1 Diagrama de la metodología seguida para el diseño y elaboración de los materiales de apoyo



4.1 Objetivo específico 1: diseño y desarrollo de un prototipo de Ficha de Seguridad (FS) empleando como modelo el ácido clorhídrico

La seguridad en los laboratorios de docencia resulta ser un tema que impulsa a una constante mejora, tanto de las medidas de seguridad, como de las instalaciones, así como de los métodos de enseñanza y de los materiales educativos que emplean los profesores y consultan los estudiantes.

En relación a este último aspecto, los materiales educativos, en el diseño y elaboración de los materiales educativos, motivo de este trabajo, han sido considerados elementos que invitan a su revisión, a la vez que facilitan la comprensión de su contenido para una posterior aplicación. Así, desde el diseño y desarrollo del prototipo de FS, la información relevante de la HDS y del TMI se presenta empleando imágenes que permiten sustituir indicaciones cortas; se hace uso de cuadros y diagramas para organizar la información de forma dinámica; además de contar con un diseño colorido que hace más atractivo el formato para el potencial usuario. Todo lo anterior con el fin de ayudar a profesores y alumnos a prevenir y/o enfrentar situaciones de emergencia durante el trabajo experimental.

Otra razón para diseñar un documento con las características ya descritas fue el hecho de prever que en medio de un accidente lo más complicado para saber qué hacer, es buscar en varias hojas sueltas la información que se requiere. Una razón más fue considerar que la mayoría de los estudiantes solo imprimen las HDS, pero no las revisan a fondo y en ocasiones únicamente dan una lectura rápida a la información creyendo que esto es suficiente para comprenderla y aplicarla, sin tomar en cuenta que en caso de presenciar un accidente, es muy probable que se vuelvan imprudentes y terminen tomando decisiones desinformadas que pueden resultar perjudiciales para ellos mismos y para terceros.

En consideración de lo expuesto con anterioridad, se planteó un formato que permita visualizar, en primera instancia, la información de mayor relevancia durante

un accidente, presentada de forma concisa y armónica para favorecer una consulta rápida por parte del usuario, recordando que dicho usuario será un alumno de los primeros semestres de la carrera de QFB y no un profesional experimentado. Es importante aclarar esto último porque el contenido de las HDS está dirigido a un ámbito profesional, sin embargo; esto no significa que dichos documentos no puedan ser consultados y utilizados por estudiantes. Significa que en dicha consulta y durante su uso los estudiantes deben ser asesorados por profesores y en el caso de la FS su contribución es la preselección y adaptación de la información sobre seguridad de las HDS, omitiendo los datos que son de interés para el fabricante.

1-F1

La revisión bibliográfica comenzó con la localización de las HDS de proveedores relacionados con la FES Zaragoza como SAFC de la compañía Merck KGaA y de los Laboratorios Meyer, quienes son algunos de los laboratorios que surten los reactivos en la Facultad y sus HDS podrían resultar familiares para los alumnos. Además, se estableció que la versión revisada de la HDS tuviera, como máximo, 5 años de antigüedad, y siempre priorizando la actualización más reciente. La sustancia química que se utilizó como modelo de reactivo en estado líquido fue el ácido clorhídrico (HCl) por ser uno de los reactivos líquidos de uso común en los LCB, y también, por sus características físicas, químicas y tóxicas que lo convierten en un ácido fuerte y agente oxidante, volviéndolo un claro ejemplo de riesgo físico, para la salud y para el medio ambiente, de acuerdo con el GHS (24).

1-F1_F2

En una primera consulta de las HDS, tomando como prioridad la prevención de accidentes, el manejo seguro de sustancias y residuos peligrosos, y la comunicación de riesgos, se eligieron las siguientes secciones: 1 “Identificación de la sustancia química peligrosa o mezcla y del proveedor o fabricante”, 2 “Identificación de los peligros”, 4 “Primeros auxilios”, 9 “Propiedades físicas y químicas”, y 10 “Estabilidad y reactividad”; para extraer la información relevante que fuera de ayuda en caso de algún accidentes, pero también para resaltar la

información que con una correcta interpretación sirviera para alertar de posibles daños que pueden ocasionar las sustancias sino se les maneja con precaución.

Considerando que el objetivo de este material es ser de ayuda para estudiantes durante el trabajo experimental, dichas secciones fueron analizadas bajo la premisa de transformar el contenido mayormente textual en contenido gráfico, sin que este perdiera su significado.

1-F2

En el bosquejo del prototipo de FS lo primordial fue cubrir las necesidades de los estudiantes, quienes requieren de estímulos visuales constantes para mantenerse concentrados y motivados en seguir utilizando el material que están consultado. Con base en esto, se emplearon diagramas, tablas e imágenes que enriquecieran la información para ejemplificar con mayor claridad una acción o instrucción, disminuyendo la carga de texto, sin embargo, en el caso que sea necesario hacer una aclaración breve pero concisa, el texto se mantendrá para evitar la confusión de los usuarios cuando es requerida una consulta rápida.

Dichas adecuaciones además de aportar en el sentido estético a la FS también aportan en el ámbito didáctico, ya que, en palabras de Morales los materiales didácticos tienen la virtud de adecuarse a las características psíquicas de los estudiantes (17). Siendo el caso del prototipo de FS que, al presentar la información pertinente en el tema de seguridad, ahorra muchos datos que pueden distraer de los riesgos, favoreciendo las condiciones para que ocurra un accidente.

1-F3

Siguiendo esa misma dinámica se optó por presentar la información en un diseño horizontal para disminuir los espacios en blanco, evitando saturar el campo visual de la hoja con texto e imágenes que pudieran dificultar la localización rápida de información ocasionando que los alumnos no logren tomar decisiones oportunas mientras atienden algún accidente. Para favorecer la familiarización de los alumnos con el formato de la FS, algunas de las secciones seleccionadas conservaron los

mismos nombres de acuerdo con las HDS, por ejemplo: primeros auxilios, propiedades físicas y químicas; y estabilidad y reactividad.

Sin embargo, aún había contenido de varias secciones de la HDS que en la primera revisión se descartaron pero que posteriormente se consideró son de valor para fomentar en los laboratorios una Cultura de Seguridad (CS). Es por lo que, en un segundo análisis, uno de los criterios que se aplicó para la selección de información fue buscar que contribuyera al correcto manejo de los reactivos y residuos con la intención de evitar el desperdicio de los reactivos o la eliminación inadecuada de los residuos peligrosos. Otro criterio aplicado fue la conservación de la salud personal y de terceros, eligiendo secciones o partes de secciones que orienten en el uso de la indumentaria adecuada para el trabajo experimental e instruyan en cómo evitar que una situación de emergencia se convierta en una tragedia. Las secciones que se añadieron según el planteamiento anterior fueron las que se citan a continuación con el número que aparecen en la HDS: 6 “Medidas que deben tomarse en caso de derrame accidental o fuga accidental”, 7 “Manejo y almacenamiento”, 8 “Controles de exposición/protección personal”, 11 “Información toxicológica” y 13 “Información relativa a la eliminación de los productos.

Como se mencionó anteriormente, algunas secciones conservaron el mismo nombre que se les da en la HDS, pero en otros casos el nombre fue adaptado para que fuera más corto e intuitivo. En concreto se modificó el nombre de dos secciones, la sección 6 “Medidas que deben tomarse en caso de derrame accidental o fuga accidental” paso a llamarse “En caso de derrame”; y la sección 7 “Manejo y almacenamiento” se dividió en dos apartados el primero llamado “Almacenamiento” y el segundo “Manejo de residuos”.

Para continuar con la adaptación del formato se tomaron en cuenta el ambiente de los LCB, el cual es un ambiente de formación, y las medidas de seguridad que ya se implementan en ellos, como lo es el reglamento general que se encuentra en la entrada de los laboratorios. En dicho reglamento la primera regla que se lee es “uso obligatorio de bata y lentes de seguridad”, lo que concuerda con

la sección 8 (Controles de exposición / protección personal) de la HDS, la cual además de indicar los límites de exposición, recomienda el tipo de bata, lentes y guantes que se deben usar para manipular la sustancia química en cuestión, en este caso el HCl.

De dicha sección lo que toma mayor relevancia es el equipo de protección personal (EPP) aprobado por el fabricante y que en el caso de algunas HDS está representado por símbolos, los cuales están recomendados por la NOM-018-STPS-2015 (44) en su Guía 1 (No Normativa), lo cual permite tomarlos como referencia para implementarlos dentro del formato de la FS (figura 4.2).



Figura 4.2 Símbolos de protección personal de acuerdo con la NOM-018-STPS-2015 adaptados para los alumnos de los LCB

Elaboración propia. Nota: los símbolos de EPP fueron tomados de “México. Secretaría de Gobernación. Secretaría del Trabajo y Previsión Social. NOM-018-STPS-2015, Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. Diario Oficial de la Federación, tomo DCCXLV No. 7 (Oct. 9, 2015)”. (44)

La principal razón por la que se modificaron los símbolos de EPP fue que la norma al igual que las HDS están más orientadas para profesionistas y los símbolos resultan confusos, ya que para referir al uso de bata se utiliza la imagen de un mandil u overol (figura 4.2). Otro símbolo que se adaptó fue el de protección respiratoria, debido a que en los experimentos que se realizan en los LCB no es una práctica generalizada trabajar con sustancias volátiles, por lo que es suficiente usar la

campana de extracción y/o encender el extractor para disminuir el riesgo de inhalación, aun así, en el caso de que la HDS indique el uso de protección respiratoria se preparó un símbolo que represente el uso de protección respiratoria como cubrebocas.

1-F4

Los símbolos de EPP de la sección 8 fueron reagrupados en una nueva área de la FS llamada “Uso obligatorio”, el propósito de este elemento de la FS es ser un constante recordatorio de prepararse antes de comenzar a trabajar y así evitar tomar riesgos innecesarios al implementar medidas preventivas como usar bata en todo momento, para minimizar el riesgo de entrar en contacto directo con la sustancia, debido a que un descuido puede suceder en cualquier momento. Con esta misma lógica se retomó la sección 2 de la HDS. De esta sección se extrajeron los pictogramas, que son gráficos estandarizados por la misma NOM-018-STPS-2015 y el GHS, y sirven en la comunicación de riesgo advirtiendo de los posibles daños que se pueden sufrir si se entra en contacto con una sustancia (figura 4.3).



Figura 4.3 Área llamada “Uso obligatorio” para la rápida identificación de los símbolos de EPP (a) y pictogramas (b)

Después de definir este primer elemento del formato de la FS, se organizó el contenido de la FS en 7 secciones. La primera sección de la FS se nombró “Datos generales” (figura 4.4) rescatando de las secciones 1 y 9 de las HDS los datos más útiles para identificar una sustancia como lo son: nombre en español e inglés, fórmula química condensada, sinónimos, composición y número Chemical Abstracts Service (CAS). El propósito de esta sección es ayudar a identificar rápidamente la sustancia descartando la información del proveedor que no es relevante para el trabajo práctico en el LCB, se tomaron los datos que son de utilidad para prevenir accidentes al desarrollar los experimentos en el laboratorio de docencia.

Figura 4.4 Sección 1 “Datos generales” para la rápida identificación de la sustancia

1 **Datos generales**

Nombre en español: Ácido clorhídrico fumante
Nombre en inglés: Hydrochloric acid
Fórmula: HCl
Sinónimos: Ácido muriático, Cloruro de hidrógeno.
Composición: 33-40 %
CAS: 7647-01-0

La siguiente sección que se definió fue la 2, la cual quedó conformada por la sección 6 de las HDS renombrada “En caso de derrame” (figura 4.9). El contenido de dicha sección se adecuó en un diagrama que enumera los pasos a seguir para atender un derrame o fuga accidental. Dicho diagrama está basado en lo propuesto por autores como R. Hill (6) quien recomienda estar preparados para las emergencias imaginando posibles escenarios. Con base a lo anterior, se recomienda contar dentro del laboratorio con un kit contra derrames que contenga lo siguiente:

- Material para recoger los desechos sólidos, por ejemplo, un recogedor y un cepillo.



Figura 4.5 Recogedor de mano con cepillo

- Material para recoger desechos líquidos como: vermiculita (figura 4.6a), la cual es un mineral formado por silicatos de hierro o magnesio, altamente absorbente, químicamente inerte, no presenta peligro de combustión y es libre de asbesto. También se puede utilizar arena para gatos (figura 4.6b) o bicarbonato de sodio (figura 4.6c) para neutralizar derrames de ácidos o bases.



Figura 4.6 Ejemplo de los diferentes materiales para controlar derrames líquidos

- Elementos de contención. Estos materiales actúan como barreras para evitar que el derrame se siga expandiendo. Para laboratorios de docencia pueden ser bolsas o cordones (figura 4.7) hechos de tela y rellenos con el mismo material absorbente que se emplea en el kit para recolectar los desechos (vermiculita, arena o bicarbonato de sodio).



Figura 4.7 Cordón absorbente universal

- Recipiente para desechos químicos. Dependiendo la naturaleza de la sustancia sólida derramada se seleccionará el tipo de recipiente que sea el más adecuado para desechar la sustancia recolectada y/o los materiales que se utilizaron para contenerla y recuperarla, en el caso de líquidos. Si la sustancia no es corrosiva, reactiva, explosiva, tóxica ni inflamable se podrá desechar en bolsas plásticas (figura 4.8a), esto mismo aplica a sustancias líquidas neutralizadas y a los materiales absorbentes empleados ¡solo si estos son neutralizantes! Por otro lado, si no se le puede dar tratamiento a la sustancia derramada esta será desecheda en el mismo envase destinado para recolectar los desechos generados durante el trabajo experimental (figura 4.8b). Las bolsas de plástico o el envase de residuos serán colocados en el área de residuos peligrosos de los LCB, debidamente etiquetados.

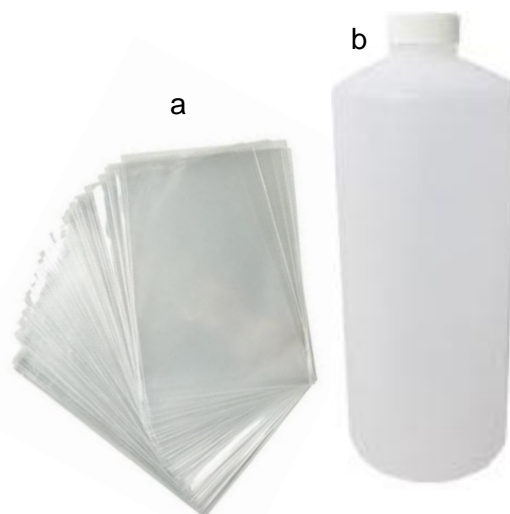
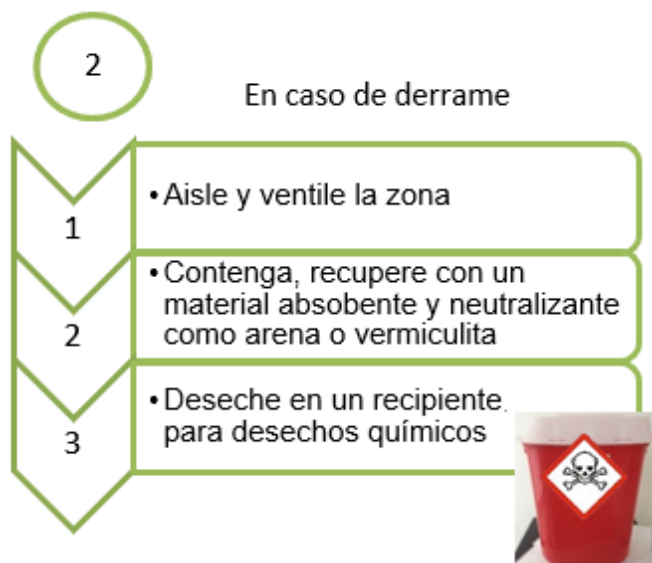


Figura 4.8 Recipientes para recolectar las sustancias derramadas y/o los materiales absorbentes

Asumiendo que el alumno tenga acceso a dicho kit contra derrames, previamente acondicionado, las instrucciones se redactaron para que puedan ser leídas con facilidad y ejecutadas rápidamente, disminuyendo así el tiempo de respuesta.

Figura 4.9 Sección 2 “En caso de derrame” propuesta de plan de acción para atender un derrame dentro de las instalaciones de los LCB



La tercera sección, “Peligrosidad”, se definió con base a la clasificación CRETI, con el fin de ayudar a los alumnos a relacionar las propiedades físicas y químicas de la sustancia con el riesgo que representan y los efectos tóxicos que ésta puede tener en la salud, derivados de sus características intrínsecas. Es así como con ayuda de la información de las secciones 2 “Identificación de los peligros”, 4 “Primeros auxilios”, 9 “Propiedades físicas y químicas”; y 11 “Información toxicológica de las HDS”; el acrónimo CRETI se adaptó en una tabla en la cual cada letra se relaciona con un efecto tóxico (figura 4.10). Recordemos que de acuerdo con Ausubel (13) para lograr un aprendizaje significativo los materiales deben favorecer las conexiones lógicas entre conocimientos, es así como en la tabla de peligrosidad (figura 4.10) se muestra la relación que guardan las propiedades de una sustancia con su clasificación CRETI y las posibles lesiones o efectos que tienen sobre la salud.

3

Peligrosidad

CRETI	Efectos
Corrosivo	Tos y asfixia
Reactivo	Ceguera
Tóxico	Náuseas, vómito y diarrea

Figura 4.10 Sección 3 “Peligrosidad” relación de la clasificación CRET I con los posibles efectos en la salud que puede tener una sustancia, tomando como modelo el ácido clorhídrico

La única sección que mantuvo su número y nombre de acuerdo con la HDS fue la cuarta sección “Primero auxilios” (figura 4.11). Sin embargo, el formato que se empleó para presentar su contenido fue el de un diagrama de bloques acompañado por imágenes que funcionan como apoyos visuales para describir una acción que puede ser difícil de explicar e imaginar, se optó por esta presentación para condensar las indicaciones y al mismo tiempo facilitar su interpretación pues en ocasiones es más fácil entender una acción con imágenes que con solo palabras.

Por ejemplo, en las HDS del HCl se recomienda que en caso de inhalación y que la persona no respire, se debe suministrar respiración artificial al afectado, una indicación que, para un alumno con nula experiencia en primeros auxilios puede resultar confusa. Para ayudar a disipar dudas en esta sección se agregó una imagen en la cual se representa dicha acción, no con la esperanza de que el alumno sea capaz de realizar la maniobra de respiración de boca a boca solo con ver la imagen, más bien con la intención de evitar que los estudiantes se confundan con la indicación y terminen perjudicando al lesionado (figura 4.11).

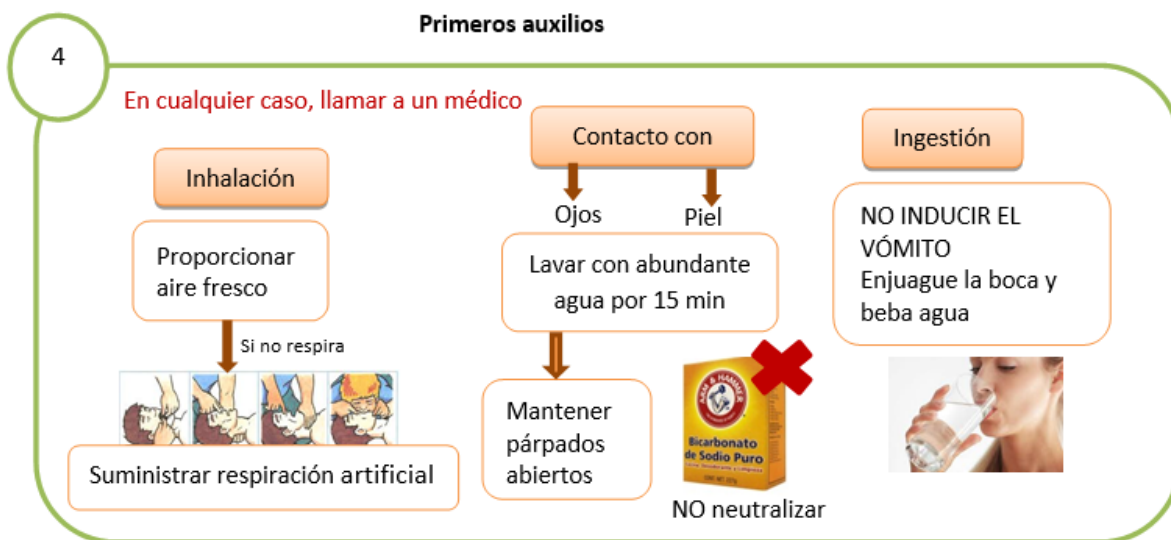


Figura 4.11 Sección 4 “Primeros auxilios” diagrama con las indicaciones claras y concisas para atender a personas que entren en contacto directo con la sustancia

En la quinta sección, llamada “Propiedades físicas y químicas” (figura 4.12), están enlistadas las propiedades físicas como: 1) estado físico, 2) color, 3) olor, 4) solubilidad y 5) densidad; y las propiedades químicas, por ejemplo: 1) especie química, 2) pH y 3) reactividad química. Estas propiedades fueron seleccionadas porque tienen un papel importante en el comportamiento de la sustancia durante los experimentos que se realizan en el LCB, dándole así una significancia lógica al contenido de la FS (13).

Con base a lo anterior se tiene, como ejemplo, que el HCl se presenta en estado líquido, dado que es una disolución acuosa del gas cloruro de hidrógeno. Esta información es relevante cuando se requieren efectuar cálculos que involucran la concentración de las disoluciones del HCl. Durante la elaboración de esta sección la información de las HDS se cruzó con la monografía del HCl en el TMI, ya que como se discutió en el marco teórico, es común encontrar datos faltantes o erróneos en las HDS, en especial en la sección 9.

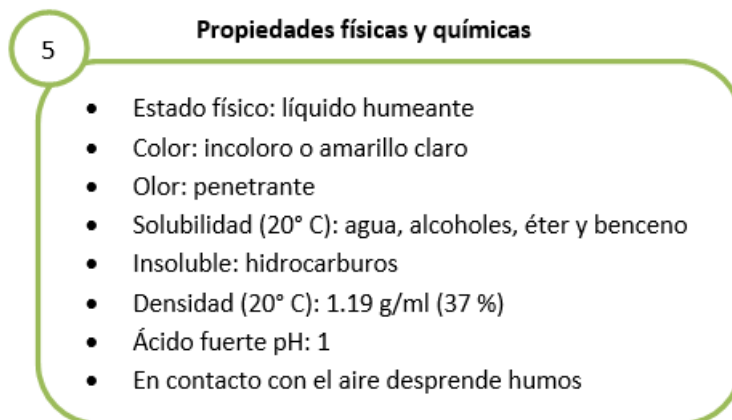


Figura 4.12 Sección 5 “Propiedades físicas y químicas” listado de las propiedades de mayor relevancia para el trabajo experimental y para la prevención de accidentes

Otra sección que conservó su nombre de acuerdo con la HDS fue la sección 10 “Estabilidad y reactividad” pero en la FS pasó a ser la sexta sección (figura 4.13). Con este reacomodo lo que se buscó fue hacer evidente la relación que existe entre el comportamiento de la sustancia en el medio ambiente y con otras sustancias; y las propiedades de ésta. Aunado a lo anterior, esta sección también proporciona un listado de los materiales con los cuales el HCl no debe ser mezclado pues las reacciones resultantes son muy violentas o incluso explosivas.

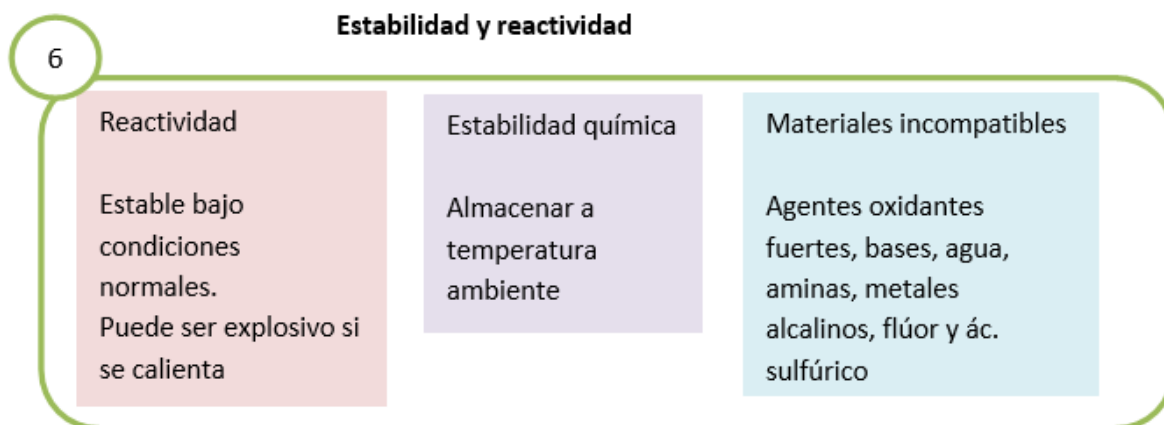


Figura 4.13 Sección 6 “Estabilidad y reactividad”

La última sección de la FS, llamada “Almacenamiento” y “Manejo de residuos” (figura 4.14), quedó conformada por la información de la sección 7 “Manejo y almacenamiento” y 13 “Información relativa a la eliminación de los productos de las HDS”. La razón por la que se diseñó esta sección en dos apartados es porque un apartado va dirigido al reactivo y el otro a los productos resultantes de la reacción y/o proceso en el que participaron. Normalmente la sección 7 y la 13 están muy separadas en las HDS obligando al lector a tener que hojear varias veces el documento si desea consultar simultáneamente ambas secciones. Al poner ambas secciones en un solo espacio se optimiza el tiempo de revisión y se resume cómo la sustancia química pasa de reactivo a residuo permitiendo que el alumno mantenga en perspectiva la importancia de la seguridad a lo largo de todo el trabajo experimental.

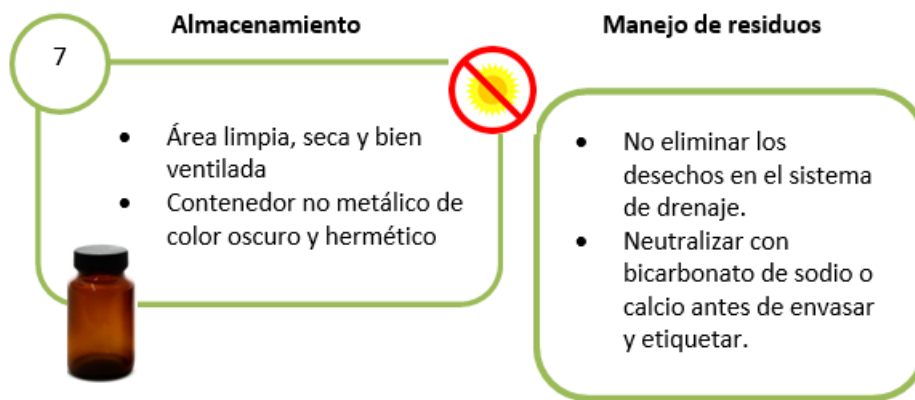


Figura 4.14 Sección 7 “Almacenamiento” / “Manejo de residuos”

En el apartado de “Almacenamiento” (figura 4. 14) se enlistan las condiciones precisas en las que se debe guardar el reactivo para que pueda seguir siendo usado, también se agrega una imagen del envase adecuado en el que se debe mantener para protegerlo de factores externos. En “Manejo de residuos” (figura 4. 14) la información que se proporciona es principalmente para eliminar los desechos de acuerdo con lo establecido en el PNO SGC-FESZ-PO06 (51) del SGC de los Laboratorios de Docencia de la Facultad, pero también se propone un tratamiento sencillo y que esté dentro de las posibilidades del alumno, con la finalidad de

disminuir la cantidad de desechos que se depositan en el área de desechos químicos en los LCB.

Una vez integradas las 7 secciones con el área de “Uso obligatorio” el prototipo de FS tomó la organización final en la que se presentaría la información, como se muestra en la figura 4.15. Esta forma de organización se mantuvo debido a que la secuencia en la que se presenta la información está pensada para, en primera, ayudar a prevenir accidentes, en segunda, para ayudar a enfrentar los accidentes en caso de que estos ocurran y en tercera, para brindar información de utilidad desde el inicio de la reacción cuando se tiene los reactivos; hasta el final donde se obtienen los productos y los residuos.

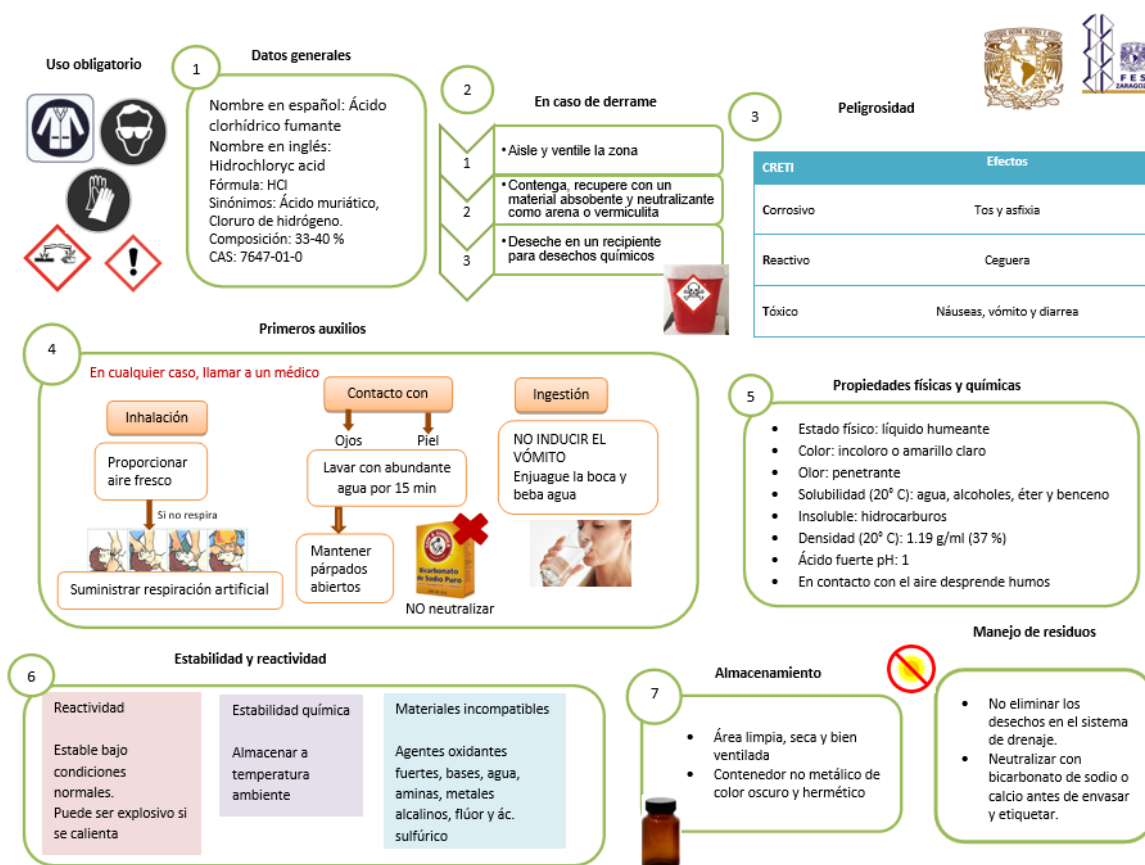


Figura 4.15 Versión final del prototipo de FS empleando como modelo el ácido clorhídrico

Con este último prototipo de FS se volvieron evidentes dos necesidades. La primera, estandarizar el formato de la FS con los elementos y organización predeterminados para evitar modificaciones, con estas características sería posible usarla como una Plantilla de Fichas de Seguridad (PFS). La segunda, elaborar un documento que proporcionara las instrucciones necesarias para usar la PFS; y que a la vez establezca las especificaciones que se deben observar para que el documento cumpla su función como FS.

4.2 Objetivo específico 2: diseño y elaboración de una plantilla de Ficha de Seguridad (PFS)

Durante la elaboración del prototipo de FS fue contundente la relación que guarda el principio de seguridad con los otros 3 principios de BPL desarrollados en el apartado 2.2 “Principios de Buenas Prácticas de Laboratorio” del capítulo 2 de esta tesis. En dicho capítulo se explica cómo los principios de BPL: seguridad, documentación, manejo de residuos peligrosos y manejo de sustancias químicas están relacionados entre sí al grado de afectarse directamente. Esa estrecha relación se vio reflejada en el contenido de la FS, el cual está enfocado en proporcionar la información que permita, a estudiantes y profesores, manipular de forma segura las sustancias que usen durante el trabajo experimental en el laboratorio. De igual forma, contiene los datos necesarios para dar tratamiento o desechar de forma segura los residuos peligrosos generados.

Con esa información la FS favorece la práctica de al menos 3 principios de BPL (seguridad, manejo de residuos peligrosos y manejo de sustancias químicas), no obstante, para impulsar la práctica del cuarto principio (documentación), se tuvieron que considerar otros elementos para el diseño y elaboración de la PFS que no fueron implementados en el prototipo de FS. Elementos como nombrar al documento, darle una presentación distintiva u homogenizar el formato de la PFS, fueron la clave para integrar los principios de BPL fundamentales en los LCB como lo son: 1) seguridad, 2) documentación, 3) manejo de sustancias químicas y 4) manejo de residuos peligrosos.

2-F1

Acorde con la idea de integrar el principio de documentación de las BPL en el formato de la PFS, primero se revisaron en fuentes bibliográficas las consecuencias favorables que conlleva utilizar un documento con un formato prediseñado o estandarizado. Una ventaja que se identificó en el uso de la PFS fue no tener que modificar la FS cada vez que se modificara el estado de agregación

de la sustancia, lo cual podría desencadenar en una total alteración de la FS y su contenido provocando confusión en los estudiantes o en quien elabore nuevas FS.

Otra ventaja en el uso de la PFS con formato estandarizado es ayudar en la elaboración de varias FS, ya que será más fácil vaciar la información en un formato con secciones bien identificadas y organizadas, a tener que llenar un espacio en blanco. A pesar de que algunos autores como Kolchanski (46), señalan que el uso de plantillas puede ser perjudicial al mecanizar la información propiciando la implementación de datos e instrucciones genéricos, en el caso de la FS es conveniente homogenizar la información presentada para fomentar en los estudiantes los principios de buenas prácticas de documentación conforme al enfoque de BPL.

Otra razón que podría identificarse como ventaja para desarrollar una PFS es la relacionada con el Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) ya implementado en los laboratorios de docencia de la FES Zaragoza a partir de quinto semestre. Para lograr implementar el SGC, fue necesario desarrollar documentación que garantizará la homogenización de cómo se trabaja en los laboratorios de docencia en la FES Zaragoza, esto con el objetivo de asegurar la calidad de los resultados obtenidos durante el trabajo experimental, además de simular la forma de trabajar en los laboratorios profesionales.

Dentro del ámbito en el que se desempeñarán los alumnos como futuros profesionistas, hay dos grandes ejemplos de documentos en los que se menciona y desarrolla el SGC, el primero es la NOM-059-SSA1-2015 Buenas Prácticas de Fabricación de medicamentos y el segundo la Norma internacional ISO 9001 Quality management systems. La primera establece en su numeral 3.118 la definición del SGC y a partir de los numerales 5 al 5.10.2 especifica los criterios para aplicar la gestión de la calidad en los diferentes procesos para la fabricación de medicamentos. En comparación, la segunda establece en su numeral 6 la forma de planificar las acciones a ejecutar para prevenir riesgos, plantear los objetivos de calidad y planificar como lograrlos. En los consiguientes numerales, de esta misma

norma, se menciona cómo la organización debe delimitar los recursos con los que cuenta, los procesos que realiza y cómo los debe evaluar.

Debido a que en el futuro los alumnos trabajarán en empresas que han adoptado estas políticas, lo mejor es fomentar desde los primeros semestres el trabajo bajo un enfoque de BPL. Naturalmente, como ya se mencionó al inicio de este objetivo, el principio acorde a dicho enfoque, a considerar en el desarrollo de la PFS es el manejo de la documentación, lo que nos lleva a no dejar fuera las Buenas Prácticas de Documentación (BPD), las cuales establecen que toda la documentación del SGC debe ser constantemente monitoreada mediante firmas de autorización para evitar su falsificación, también para corroborar la veracidad de los documentos, considerando, además, que estos documentos deben tener una presentación igual, con escudos o sellos oficiales que permitan identificarlos como documentos de una misma organización.

2-F1_F2

Tomando en cuenta los requisitos ya citados en el apartado anterior en relación con las BPD, el primer elemento que se planteó incluir en la PFS fue el encabezado (figura 4.16), el cual no había sido delimitado en el prototipo de FS. Dicho encabezado se esbozó como una forma de identificar rápidamente la FS, la sustancia y la institución en la que fue desarrollado este trabajo. Para agregarle más formalidad a la PFS y mantenerla actualizada se incluyeron los logos oficiales de la FES Zaragoza y de la UNAM.

Uso obligatorio

Datos generales

Nombre en español: Ácido clorhídrico fumante
 Nombre en inglés: Hydrochloric acid
 Fórmula: HCl
 Sinónimos: Ácido muriático, Cloruro de hidrógeno.
 Composición: 33-40 %
 CAS: 7647-01-0

En caso de derrame

1. Aislar y ventilar la zona.
2. Contenga, recupere con un material absorbente y neutralizante como arena o vermiculita.
3. Deseche en un recipiente para desechos químicos.

Peligrosidad

CRETI	Efectos
Corrosivo	Tox y asficia
Reactivo	Ceguera
Tóxico	Náuseas, vómito y diarrea

Primeros auxilios

Ficha de seguridad

Nombre de la sustancia

Uso obligatorio

Datos generales

Fórmula:
 Nombre en inglés:
 Peso molecular: g/mol
 Pureza: % p/p

En caso de derrame

1. Aislar y ventilar la zona.
- 2.
3. Deseche en un recipiente adecuado según lo establecido en SIC-FESZ-P006.

Peligrosidad

Figura 4.16 Comparación de los cambios hechos en el rediseño del encabezado de la PFS a partir del prototipo de FS

Retomando lo planteado en el capítulo 2, apartado 2.2.2 Documentación, el buen manejo de toda la documentación empleada durante el trabajo experimental contribuye a la seguridad, principalmente porque para las BPL (31) descuidar aspectos como la presentación de las bitácoras o la revisión de las HDS son factores que pueden entorpecer el trabajo práctico, convirtiéndose en obstáculos en lugar de materiales que funcionen como guías para aligerar la carga de trabajo. En este sentido, el encabezado se convierte en un distintivo que permite ubicar de forma más rápida la FS que se desee o se necesite, según la ocasión.

2-F2

Continuando con el diseño de la PFS, el siguiente paso fue establecer los espacios que conforman la PFS, dándoles un nombre y un número, que nos ayudará a implementar en el documento una secuencia lógica, de tal forma que no pareciera solo una hoja con divisiones. El formato de la FS se diseñó en dos grandes espacios, el primero está delimitado por el encabezado y el segundo fue nombrado “Cuerpo de la FS” (figura 4. 17). Como se observa en la figura 4. 17, la primera división en el formato de la PFS es el encabezado y el cuerpo. Este último, posteriormente, se subdivide en siete secciones y un área.

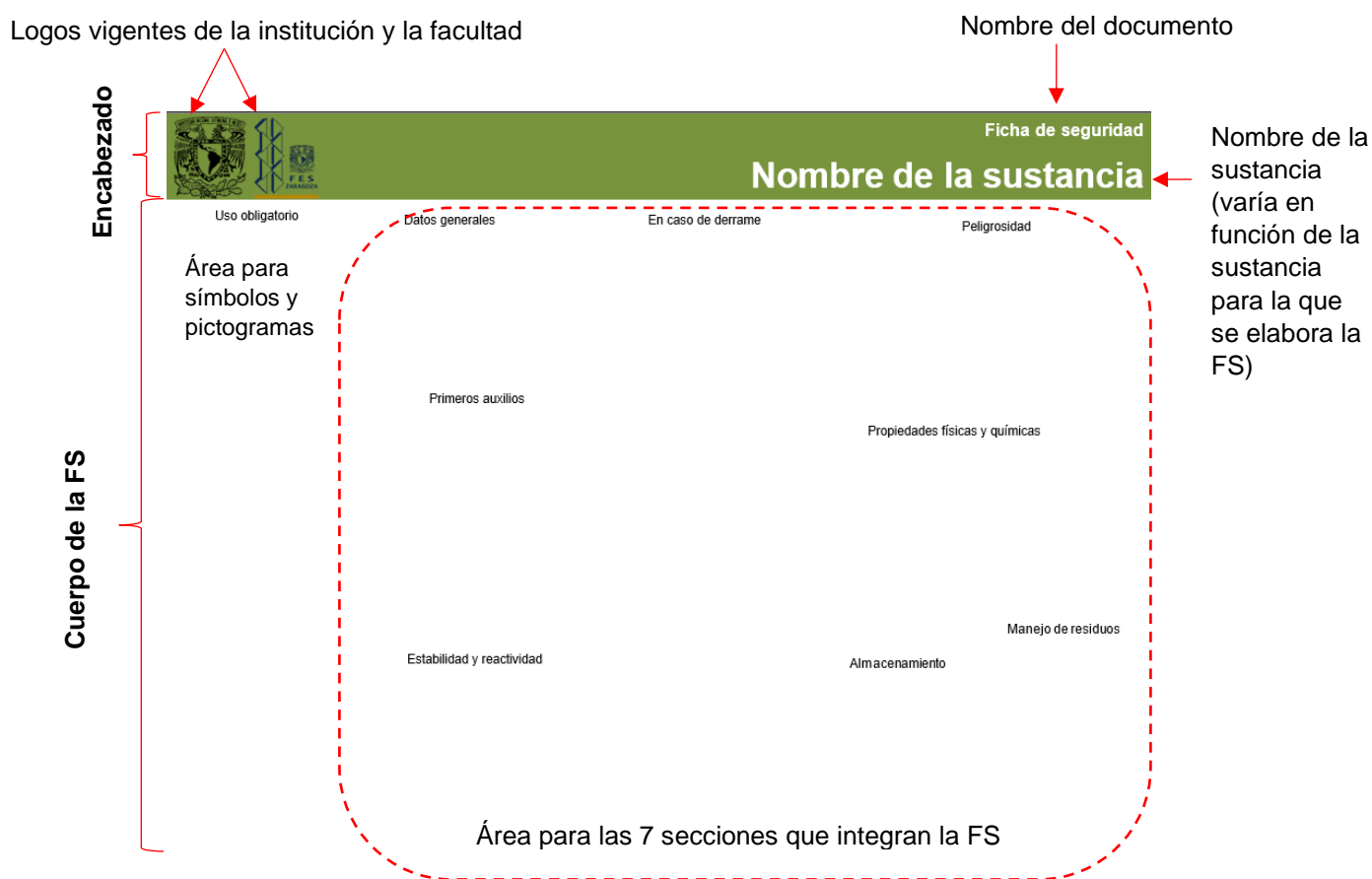


Figura 4.17 Gráfico que representa la estructura interna del formato de la PFS

2-F3

En esta fase del diseño y la elaboración de la PFS la sustancia que se empleó como modelo fue el biftalato de potasio, un patrón primario muy utilizado en los LCB en experimentos de volumetría.

Para el encabezado de la PFS se optó por usar un recuadro de color verde con la leyenda “Ficha de Seguridad” y el nombre de la sustancia, escritos en letras grandes de color blanco (figura 4.18), eliminando el nombre de la sustancia de la sección 1 donde resultaba difícil de leer, complicando saber a qué sustancia correspondía la FS. Poner el nombre del documento y de la sustancia, en el primer plano visual de la PFS disminuye el tiempo de búsqueda que es primordial en el caso de estar en medio de una situación de emergencia.



Figura 4.18 Diseño final del encabezado para la PFS, empleando como modelo de sustancia biftalato de potasio

Con la última versión del prototipo de FS se detectaron varios problemas respecto a la organización y distribución de los espacios, por ejemplo, el nombre de las secciones no era fácil de identificar, había espacios en blanco que no estaban siendo aprovechados, lo que provocaba que la información en algunas partes de la PFS se viera aglomerada. Además, separar una sección de otra usando recuadros le daba a la FS una apariencia estrecha, como de cacillas, que resultaba en una presentación pesada de leer.

Para que el nombre de las secciones resaltará, del resto del texto, se subrayó de color amarillo lo que facilita su localización, haciendo que la presentación de la FS no sea monótona. La redistribución de la información se logró al cambiar cómo se delimitaba el espacio entre las secciones; comenzando por cambiar el color verde de los rectángulos usados para señalar los espacios a un color azul marino, luego el círculo que contenía el número de la sección se cambió por un pentágono

conservando el color verde, para crear de esta forma un contraste de color que dé más luz a la presentación general de la PFS. Continuando con la redistribución de la información, en la quinta sección se cambió la presentación de esta, y en lugar de enlistar las propiedades estas se redactaron en renglones escalonados para que en el lado derecho del recuadro quedara un espacio donde colocar una imagen de la sustancia descrita.

2-F4

Es en ese sentido, que la optimización del formato comenzó en las secciones 2, 3 y 7 las cuales tuvieron los cambios más notorios. En la sección 2 “En caso de derrame”, los principales cambios fueron efectuados en las indicaciones y las imágenes que se usaban para complementar la información (figura 19). Las indicaciones fueron adaptadas a los LCB, ya que la sección 6 “Medidas que deben tomarse en caso de derrame accidental o fuga accidental” establece que se desechen los residuos según lo establecido en la ley. Debido a que en los LCB ya está implementado un PNO (51) que señala explícitamente cómo desechar residuos dentro de los laboratorios de docencia, se consideró pertinente referir a los alumnos a ese PNO interno de la carrera de QFB, mismo que a lo largo de la carrera conocerán y aplicarán.

Por último, las imágenes que anteriormente fueron usadas en la sección 2 del prototipo de FS, se consideraron inadecuadas por no tener una relación con las indicaciones de la sección, resultando sólo ser un elemento visual. Es en ese sentido, que se cambiaron por símbolos diseñados a partir de la Guía 1 (No Normativa) de la NOM-018-STPS-2015 (44). El diseño de dichos símbolos se basó en complementar las indicaciones con un gráfico que representará una acción o una herramienta que ayudará a realizar las indicaciones descritas en la sección 2 “En caso de derrame”. Por ejemplo, en la siguiente figura se muestra que la indicación número dos es: Contenga y recupere cuando sea posible. Dicha indicación puede resultar muy sencilla, pero durante su ejecución es común que surja la duda de con qué recuperar las sustancias, más, si se trata de una cantidad pequeña. Para despejar dicha duda es que se utiliza el símbolo que se muestra en la figura 4.19 b.

Por otra parte, si en las HDS indican el uso de equipo de protección respiratoria por el riesgo de inhalar polvo o vapores desprendidos por la sustancia derramada, se implementa el símbolo de la figura 4.19 a para ahorrar espacio y no tener que escribir esta indicación en cada FS que lo requiera. Dicho símbolo se adaptó para dejar en claro que los involucrados en atender el derrame de la sustancia en cuestión, necesitan usar un cubrebocas para evitar la exposición a la sustancia por inhalación.

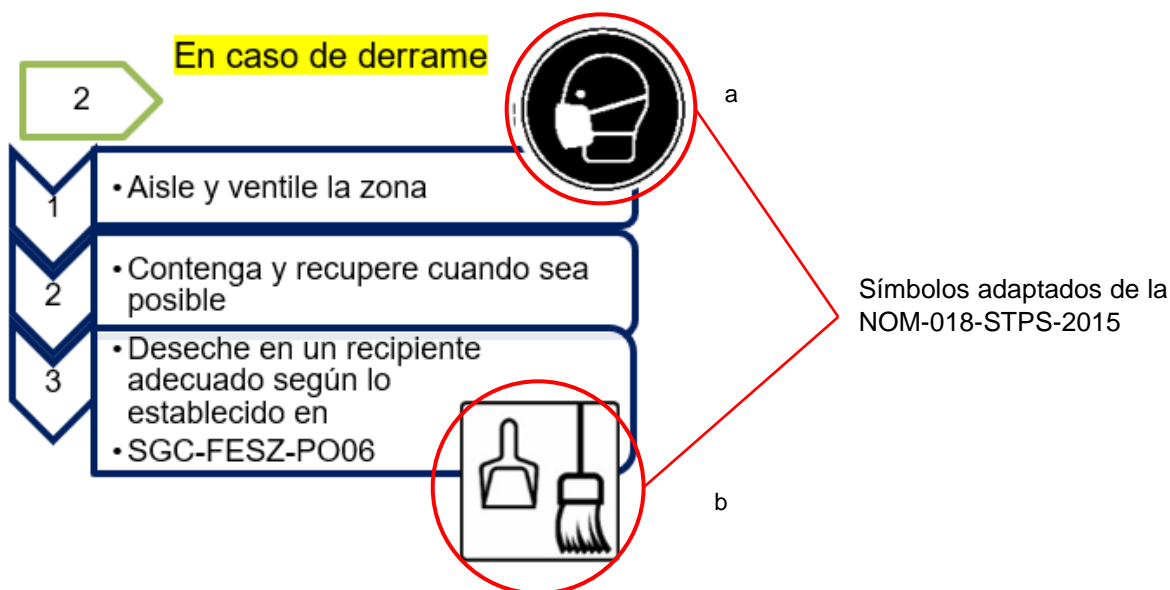



Figura 4.19 Sección 2 “En caso de derrame” con todos los cambios aplicados en su formato y contenido: a) símbolo para el EPP de vía respiratorias y b) símbolo para el equipo de limpieza de sólidos derramados


La siguiente sección que se optimizó fue la no. 3, en la cual se cambió la tabla de peligrosidad a un formato APA para eliminar las líneas verticales que le daban un efecto visual de aglomeración, efecto que no favorecía a la afluencia de información. Además, se resaltaron las iniciales del acrónimo CRETI para reforzar la relación de los efectos a la salud con el tipo de peligro que representa la sustancia (figura 4. 20).



CRETI	Peligrosidad	Efectos
C Corrosivo	Lesiones oculares y quemaduras en la piel	
R Reactivo	Irritación y vómito	

Figura 4.20 Sección 3 “Peligrosidad” rediseño de la tabla en formato APA

Finalmente, en la sección 7 (figura 4. 21) se eliminaron los recuadros y para dividir la sección se optó por utilizar una línea vertical en medio de los apartados, además de que la leyenda “Almacenamiento” (figura 4.21 a) se bajó un poco más para que no estuviera alineada con “Manejo de residuos”; dando así un efecto de doble altura a esta sección y logrando despejar el margen de los apartados para poder colocar la imagen del envase recomendado para guardar la sustancia. Con esta nueva distribución fue posible integrar a la PFS la Etiqueta de residuos químicos (figura 4. 21 b), misma que está implantada en el PNO SGC-FESZ-PO06 (51) y, por lo tanto, es la única etiqueta que se debe utilizar en los recipientes destinados a contener los residuos químicos a confinar en el área de residuos químicos dentro de los LCB.



7

a

Almacenamiento

- Mantener en su recipiente de origen herméticamente cerrado.
- Conservar en un lugar fresco y ventilado

Manejo de residuos

b

- **NO** desechar en el sistema de alcantarillado.
- Neutralizar con bicarbonato de sodio y consultar con el asesor el destino final de los desechos.

Sistemas de Gestión de la Calidad de los Laboratorios de Docencia

ETIQUETA DE RESIDUOS QUÍMICOS

Nombre del generador: _____

Nombre del reactivo o mezcla _____

Concentración y/o cantidad: _____

Nombre de la reacción o análisis: _____

Unidad / Carrera / Semestre / Grupo _____

Edificio / N° de Laboratorio: _____

Fecha: _____

Marcar con una X lo que corresponda

C. R. E. T. I.

Figura 4.21 Reorganización del contenido de la Sección 7 en dos subsecciones: a) “Almacenamiento” y “Manejo de residuos”. b) etiqueta de residuos químicos empleada en los LCB según lo establecido en el SGC-FESZ-PO06 (51)

Como se mencionó en la introducción de este objetivo, el prototipo de FS ya cumplía con 3 principios fundamentales de BPL, sin embargo, aún no tenía los elementos suficientes para considerar que también cumplía con el principio de documentación. Fue así como se estandarizó el formato de la PFS con escudos oficiales de la FES Zaragoza y la UNAM, un encabezado para identificar al documento y la sustancia; y un cuerpo con área y secciones bien delimitadas para mantener un orden, que permita la identificación rápida de las secciones y a su vez brinde información pertinente para prevenir y atender accidentes (figura 4. 22).

Ficha de seguridad
Bifalato de potasio

1 **Datos generales**

Usos obligatorios

Fórmula: $\text{HOOC}_6\text{H}_4\text{COOK}$
 Nombre en inglés: Potassium hydrogen phthalate
 Peso molecular: 204.22 g/mol
 Pureza: 95 – 100 %

2 **En caso de derrame**

- 1 • Aíse y ventile la zona
- 2 • Contenga y recupere cuando sea posible
- 3 • Deseche en un recipiente adecuado según lo establecido en •SGC-FESZ-PO06

3 **Peligrosidad**

CRETI

C Corrosivo Lesiones oculares y quemaduras en la piel

R Reactivo Irritación y vómito

4 **Primeros auxilios**

¡Conseguir atención médica inmediatamente!

Inhalación

Proporcionar aire fresco

Si no respira

Suministrar respiración artificial

Contacto con

Ojos

Retirar lentes de seguridad

Lavar con abundante agua por 15 min

Piel

Quitar ropa contaminada

Lavar con abundante agua por 15 min

Ingestión

Beber agua o leche

Si hay vómito

Máximo 2 vasos

Mantener esta postura

5 **Propiedades físicas y químicas**

Sólido cristalino de color blanco e inodoro, soluble en agua y ligeramente soluble en alcohol. Sal ácida diprótica con $\text{pKa } 1=2.9$ y $\text{pKa } 2=5.4$ con pH aproximado a 4 en soluciones 0.05 M.



6 **Estabilidad y reactividad**

Reactividad

Sin reacciones peligrosas bajo condiciones de uso normal

Estabilidad química

Estable en condiciones ambientales

Materiales incompatibles

Agentes oxidantes fuertes

Productos que promueven reacciones exotérmicas



7 **Almacenamiento**

- Mantener en su recipiente de origen herméticamente cerrado.
- Conservar en un lugar fresco y ventilado

Manejo de residuos

- NO desechar en el sistema de alcantarillado.
- Neutralizar con bicarbonato de sodio y consultar con el asesor el destino final de los desechos.



Figura 4.22 Formato de PFS terminado usando como modelo el bifalato de potasio

4.3 Objetivo 3: elaboración de un Procedimiento Normalizado de Operación (PNO) para la realización de Fichas de Seguridad (FS)

Siguiendo con la dinámica de implementar las BPD en los materiales desarrollados, se establecieron especificaciones que deben cumplir los documentos para que sean confiables. En este caso, los requisitos que necesita cumplir el formato de PFS y el contenido que debe tener esta misma, para que se considere una FS, fueron descritos en el “Procedimiento de elaboración de las Fichas de Seguridad para las sustancias de uso común en los Laboratorios de Ciencia Básica”. Este tipo de documento conocido como Procedimiento Normalizado de Operación (PNO) es muy utilizado en los laboratorios profesionales de la industria farmacéutica y química, pero también en los laboratorios de docencia, ya que, normalmente se emplea para describir detalladamente las instrucciones necesarias para llevar a cabo de manera reproducible una operación (37), garantizando que los resultados del procedimiento sean siempre los mismos, sin importar que el operador cambie.

Es en este sentido, que el PNO para la elaboración de nuevas FS fue desarrollado para asegurar que las FS realizadas utilizando la PFS y el PNO siempre resulten en documentos con formatos similares, pero sobre todo no se altere el contenido de las FS al grado que éstas pierdan su sentido, es decir, ser un material de apoyo en la enseñanza de la seguridad.

3-F1

Con el fin de brindar una herramienta que facilite la elaboración de nuevas FS y a la par del diseño y elaboración de la PFS se fue desarrollando el PNO para orientar en el uso de ésta. Continuando con la aplicación de BPD y BPL, se consultaron PNOs internos de la facultad, para retomar el formato empleado en dichos documentos. Uno de esos procedimientos fue el PNO “Limpieza y operación de las balanzas analíticas OHAUS modelos AS200, AS120 y Adventurer” el cual, además de estar disponible en el área de pesadas de los LCB I, sirve de base para

que los estudiantes se familiaricen con la forma de presentar indicaciones por medio de este tipo de documentos, con el fin de llevar a cabo procesos en específico. Esta familiarización, favorece la formación de conexiones significativas entre los conocimientos ya adquiridos con los nuevos, permitiendo que el alumno obtenga la información, la analice y sea capaz de transformarla en herramientas que le permitan resolver futuros problemas en diferentes escenarios (21).

3-F2

El primer paso en el Diseño del PNO fue darle un título descriptivo que rápidamente indique al lector de qué trata el documento, así el título asignado fue “Procedimiento para elaboración de las fichas de seguridad para las sustancias de uso común en los Laboratorios de Ciencia Básica” (figura 4. 23) y su contenido quedó organizado en 11 apartados: 1 Objetivo, 2 Alcance, 3 Responsabilidad, 4 Lineamientos para la elaboración de las FS, 5 Clasificación para sustancias y residuos peligrosos de acuerdo con la NOM-052-SEMARNAT-2005, 6 Especificaciones para identificar la información a emplear en la elaboración de la FS, 7 Elaboración de las FS: especificaciones para el formato, 8 Indicaciones para el llenado del formato de la FS, 9 Glosario, 10 Anexo y 11 Referencias.


	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA PROCEDIMIENTO NORMALIZADO DE OPERACIÓN	Página 1 de 22	Versión 1
		PNO-LCB-FESZ_P02	
TÍTULO PROCEDIMIENTO PARA ELABORACIÓN DE LAS FICHAS DE SEGURIDAD PARA LAS SUSTANCIAS DE USO COMÚN EN LOS LABORATORIOS DE CIENCIA BÁSICA			

Figura 4.23 Formato del encabezado para identificar el Procedimiento Normalizado de Operación que se elaboró

3-F3

Una vez organizados y nombrados todos los apartados del procedimiento el siguiente paso fue desarrollar sus contenidos. Desde el inicio se procuró que las indicaciones dadas en el procedimiento no fueran confusas, sin embargo, debido a la gran cantidad de información que se necesita revisar antes de comenzar a elaborar las FS fue indispensable dividir las instrucciones en dos grandes grupos. El primer grupo fue conformado del apartado 4 al 6, en estos apartados se dan las pautas para saber qué información buscar en las HDS y de TMI, se proporcionan los símbolos de EPP y pictogramas a emplear en las FS; y cómo se aplica la clasificación CRETl. Después, en los apartados 7 y 8, segundo grupo, se dan las especificaciones del formato de la FS y las indicaciones para usar la PFS. Otra razón para organizar de esa manera el contenido del manual fue para que tuviera una secuencia lógica que permitiera al alumno hacer uso de los materiales desde la primera vez que los conociera.

Como ya se mencionó el apartado 4 llamado “Lineamientos para la elaboración de las FS” se encuentra en la primera parte del PNO, la intención de elaborar este apartado fue evitar que los símbolos de EPP o los pictogramas sufrieran alteraciones en su color, forma o tamaño; provocando que al comparar una FS con otra, éstas se vieran disparejas. Además, recordemos que la NOM-018-STPS-2015 presenta una guía de símbolos de EPP lo que no obliga a utilizar exactamente los mismos gráficos que la norma, es así como se pensó en agrupar en una tabla (figura 4. 24) los símbolos de EPP con formato de imagen, el tamaño y color requerido para usarlos en las FS permitiendo que cada vez que se necesite alguno de estos símbolos el usuario solo tenga que consultar el PNO, copiar de la tabla el símbolo y después pegarlo en la FS que esté elaborando.

Símbolos del equipo de protección personal						
Símbolo						
Significado	Bata	Lentes	Guantes	Cubre boca	Brocha y recogedor	Material absorbente para derrames
<small>FIGURA 1. Símbolos de equipo de protección personal (EPP) basados en las recomendaciones de la NOM-018-STPS-2015.</small>						

Figura 4.24 Cuadro retomado del PNO que originalmente está numerado como “Figura 1”, el cual contiene los símbolos del equipo de protección personal (EPP) adaptados a los LCB

Una dinámica parecida se siguió con los pictogramas, con la diferencia de que su color y forma ya están dados por la norma y no se permiten modificaciones. Sin embargo, para asegurar que se usarán los pictogramas establecidos en la norma se buscaron imágenes, de cada uno de los pictogramas, con buena resolución para que no se deformara la imagen cuando fuera necesario cambiar su tamaño. Se les recortaron los bordes blancos para que no tuvieran márgenes que estorbaran a la hora de acomodarlos en la FS. Posteriormente se reunieron en una tabla (figura 4. 25) donde se clasificaron en tres tipos de peligros: peligros físicos, peligros para la salud y peligros para el medio ambiente.

Pictograma de peligro físico, para la salud y para el medio ambiente																								
Peligros físicos																								
<ul style="list-style-type: none"> Gases comburentes (categoría 1) Líquidos comburentes (categorías 1 al 3) Sólidos comburentes (categorías 1 al 3) 	<ul style="list-style-type: none"> Gases inflamables (categoría 1) Aerosoles (categorías 1 y 2) Líquidos inflamables (categorías 1 al 3) Sólidos inflamables (categorías 1 y 2) Sustancias y mezclas que reaccionan espontáneamente (tipos B al F) Líquidos pirofóricos (categoría 1) Sólidos pirofóricos (categoría 1) Sustancias y mezclas que experimentan calentamiento espontáneo (categorías 1 y 2) Sustancias y mezclas que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables (categorías 1 al 3) Peróxidos orgánicos (tipos B al F) 	<ul style="list-style-type: none"> Explosivos (inestable y divisiones 1.1 al 1.4) Sustancias y mezclas que reaccionan espontáneamente 	<ul style="list-style-type: none"> Gases a presión (comprimido, licuado, licuado refrigerado y disuelto) 	<ul style="list-style-type: none"> Sustancias y mezclas corrosivas para los metales (categoría 1) 																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Pictograma de peligro físico, para la salud y para el medio ambiente</th> </tr> <tr> <th colspan="4">Peligros para la salud</th> <th>Peligros para el medio ambiente</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> Sensibilización respiratoria (categorías 1, 1A* y 1B*) Mutagenicidad en células germinales (categorías 1 [tanto 1A como 1B] y 2) Carcinogenicidad (categorías 1 [tanto 1A como 1B] y 2) Toxicidad para la reproducción (categorías 1 [tanto 1A como 1B] y 2) Toxicidad sistémica específica de órganos blanco (exposición única) (categorías 1 y 2) Toxicidad sistémica específica de órganos blanco (exposiciones repetidas) (categorías 1 y 2) Peligro por aspiración (categorías 1 y 2) </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Toxicidad aguda por ingestión (categoría 4) Toxicidad aguda por vía cutánea (categoría 4) Toxicidad aguda por inhalación (categoría 4) Corrosión/Irritación cutánea (categoría 2) Lesiones oculares graves/Irritación ocular (categoría 2/2A) Sensibilización cutánea (categorías 1, 1A* y 1B*) Lesiones oculares graves (categoría 2A) Toxicidad específica de órganos blanco (exposición única) (categorías 3) </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Toxicidad aguda por ingestión (categorías 1 al 3) Toxicidad aguda por vía cutánea (categoría 4) Toxicidad aguda por inhalación (categorías 1 al 3) </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Corrosión/Irritación cutánea (categoría 1) Lesiones oculares graves/Irritación ocular (categoría 1) </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Indicaciones de peligro para el medio ambiente (H400) Toxicidad acuática aguda Categoría 1 (H400) Toxicidad acuática crónica Categoría 1 (H410) Tóxico para organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos (H411) Nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos (H412) Puede ser nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos (H413) </td> </tr> </tbody> </table>					Pictograma de peligro físico, para la salud y para el medio ambiente					Peligros para la salud				Peligros para el medio ambiente						<ul style="list-style-type: none"> Sensibilización respiratoria (categorías 1, 1A* y 1B*) Mutagenicidad en células germinales (categorías 1 [tanto 1A como 1B] y 2) Carcinogenicidad (categorías 1 [tanto 1A como 1B] y 2) Toxicidad para la reproducción (categorías 1 [tanto 1A como 1B] y 2) Toxicidad sistémica específica de órganos blanco (exposición única) (categorías 1 y 2) Toxicidad sistémica específica de órganos blanco (exposiciones repetidas) (categorías 1 y 2) Peligro por aspiración (categorías 1 y 2) 	<ul style="list-style-type: none"> Toxicidad aguda por ingestión (categoría 4) Toxicidad aguda por vía cutánea (categoría 4) Toxicidad aguda por inhalación (categoría 4) Corrosión/Irritación cutánea (categoría 2) Lesiones oculares graves/Irritación ocular (categoría 2/2A) Sensibilización cutánea (categorías 1, 1A* y 1B*) Lesiones oculares graves (categoría 2A) Toxicidad específica de órganos blanco (exposición única) (categorías 3) 	<ul style="list-style-type: none"> Toxicidad aguda por ingestión (categorías 1 al 3) Toxicidad aguda por vía cutánea (categoría 4) Toxicidad aguda por inhalación (categorías 1 al 3) 	<ul style="list-style-type: none"> Corrosión/Irritación cutánea (categoría 1) Lesiones oculares graves/Irritación ocular (categoría 1) 	<ul style="list-style-type: none"> Indicaciones de peligro para el medio ambiente (H400) Toxicidad acuática aguda Categoría 1 (H400) Toxicidad acuática crónica Categoría 1 (H410) Tóxico para organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos (H411) Nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos (H412) Puede ser nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos (H413)
Pictograma de peligro físico, para la salud y para el medio ambiente																								
Peligros para la salud				Peligros para el medio ambiente																				
<ul style="list-style-type: none"> Sensibilización respiratoria (categorías 1, 1A* y 1B*) Mutagenicidad en células germinales (categorías 1 [tanto 1A como 1B] y 2) Carcinogenicidad (categorías 1 [tanto 1A como 1B] y 2) Toxicidad para la reproducción (categorías 1 [tanto 1A como 1B] y 2) Toxicidad sistémica específica de órganos blanco (exposición única) (categorías 1 y 2) Toxicidad sistémica específica de órganos blanco (exposiciones repetidas) (categorías 1 y 2) Peligro por aspiración (categorías 1 y 2) 	<ul style="list-style-type: none"> Toxicidad aguda por ingestión (categoría 4) Toxicidad aguda por vía cutánea (categoría 4) Toxicidad aguda por inhalación (categoría 4) Corrosión/Irritación cutánea (categoría 2) Lesiones oculares graves/Irritación ocular (categoría 2/2A) Sensibilización cutánea (categorías 1, 1A* y 1B*) Lesiones oculares graves (categoría 2A) Toxicidad específica de órganos blanco (exposición única) (categorías 3) 	<ul style="list-style-type: none"> Toxicidad aguda por ingestión (categorías 1 al 3) Toxicidad aguda por vía cutánea (categoría 4) Toxicidad aguda por inhalación (categorías 1 al 3) 	<ul style="list-style-type: none"> Corrosión/Irritación cutánea (categoría 1) Lesiones oculares graves/Irritación ocular (categoría 1) 	<ul style="list-style-type: none"> Indicaciones de peligro para el medio ambiente (H400) Toxicidad acuática aguda Categoría 1 (H400) Toxicidad acuática crónica Categoría 1 (H410) Tóxico para organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos (H411) Nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos (H412) Puede ser nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos (H413) 																				

FIGURA 2. Pictogramas de peligro físico y para la salud

FIGURA 2. Pictogramas de peligro físico y para la salud acordes con la NOM-018-STPS-2015.

Figura 4.25 Cuadro retomado del PNO que originalmente está numerado como “Figura 2”, el cual contiene los pictogramas para la comunicación de riesgos de acuerdo con la NOM-018-STPS-2015 (44)

Para ayudar a los estudiantes en la revisión bibliográfica, el apartado 6 “Especificaciones para identificar la información a emplear en la elaboración de la FS” menciona puntualmente los elementos que se deben buscar en la HDS y en qué secciones de las hojas se encuentran. El orden que sigue este apartado para enlistar los elementos es de acuerdo con el formato de la PFS, es decir, la primera área que se llena es la de “Uso obligatorio” por lo que lo primero que se debe buscar en las HDS son los símbolos de EPP y pictogramas, para después ir al apartado 4 del procedimiento y tomar los gráficos de la figura 1 y 2. Lo anterior evita el uso de pictogramas no autorizados o la distorsión de los símbolos de EPP que puede

provocar confusiones. Las consiguientes indicaciones del apartado 6 están enfocadas al tipo de información que el estudiante debe localizar, sin perder de vista el propósito de la FS y también cuidando la vigencia de la HDS, la cual no debe ser mayor a 5 años desde su última actualización. Otro punto que se resalta es la consulta de la Enciclopedia TMI para contrastar la información de las HDS.

La ventaja del apartado anterior, además de orientar a los alumnos en la búsqueda de información, es que sirve para reafirmar que la FS no sustituye la revisión de las HDS y de TMI, al contrario, resalta la importancia de consultar fuentes oficiales para la elaboración de las FS.

La segunda parte del procedimiento comienza con el apartado 7, en el que se presentan las especificaciones en cuanto a formas, colores, formato de imágenes, tipo y tamaño de letra o fuente con la que se construyó el formato de la FS y con los que se debe llenar la PFS. Con este apartado se asegura que el usuario no modifique la plantilla cuando esté trabajando con ella en el programa Word, ya que la idea de entregar un formato terminado es que éste solo sea llenado, pero como es muy común a veces, los documentos digitales sufren cambios cuando estos son abiertos a pesar de ser editados con el mismo programa. Como la PFS está pensada para la elaboración de nuevas FS no puede ser exportada a un formato fijo, como por ejemplo a PDF, y describir a detalle las especificaciones que debe cumplir el formato ayuda a verificar que el formato no haya sufrido cambios y en caso de haberlos, que puedan ser corregidos.

Finalmente, en el apartado 8 se menciona la información en específico con la que se debe llenar cada sección y área, pues en el apartado 6 solo se dan las pautas para localizar la información, pero una vez que ya se tiene el paso siguiente es organizarla dentro del formato. Aunque eso suena sencillo para alguien que este elaborando su primer FS, dicho paso le puede tomar tiempo y aunque no sea la primer FS que se elabore, tener instrucciones que recuerden qué escribir en cada sección agiliza en gran medida la elaboración de la FS, en especial si se requiere hacer un gran número de ellas.

3-F4

Durante la elaboración de la PFS fue evidente el uso de términos que resultaban ser un tanto específicos por la naturaleza del documento, incluso surgieron términos que para efectos del trabajo se les asignó una definición situada en específico en los laboratorios de docencia. Lo que resultó en tener que incluirlos en el PNO para que el usuario tuviera claro a qué se hacía referencia cuando se hablara de, por ejemplo, incompatibilidad, formato, plantilla, ficha de seguridad, emergencia, contener, etc. Todos estos términos fueron incluidos en el glosario junto con las referencias de donde fueron tomados.

Buscando enriquecer las indicaciones del apartado 8 se adjuntó un anexo al PNO con ejemplos gráficos que muestran en secuencia cómo se va llenando la plantilla (figura 4. 26), además de presentar una figura con los nombres de cada una de las áreas y secciones de la FS. La inclusión de estas imágenes derivó de tomar en consideración a quienes va dirigido el PNO y la PFS, que en este caso son alumnos de primer ingreso, quienes están empezando a familiarizarse con documentación especializada, la cual es muy utilizada en los laboratorios profesionales pero que más tarde en la carrera también es implementada.

4.4 Objetivo 4: elaboración de FS implementando el uso del PNO y del formato de PFS

El interés en desarrollar un material de apoyo que fomente en el LCB la práctica de 4 principios fundamentales de las BPL como lo son: seguridad, manejo de sustancias químicas, manejo de residuos peligrosos y documentación; radicó en el compromiso por favorecer la seguridad química durante la experimentación al fomentar que durante la planeación y la realización del trabajo experimental en el laboratorio los alumnos presten cada vez mayor atención a los elementos relacionados con la seguridad, y en especial, con la seguridad química, integrando estos elementos a la planeación y desarrollo de cada nuevo experimento, situación que conlleva la promoción de una educación en seguridad que beneficiará la implementación de una Cultura de Seguridad (CS). Entendiendo ésta última como una práctica cada vez más presente en los laboratorios químicos de docencia y de disciplinas relacionadas con la química. La CS abordada en el capítulo 3 de esta tesis, ha sido implementada en los laboratorios de docencia tomando como base la práctica diaria de los 4 principios del modelo **REMP**, propuesto por Hill R. y Finster D (6). Los mismos autores recomiendan el uso de este modelo para integrar, con mayor éxito la CS a las actividades prácticas.

Como ya se discutió en los capítulos dos y tres de este trabajo, el camino para pasar de seguridad como principio de BPL a CS requiere de constancia y compromiso. La constancia se refiere a siempre estar aprendiendo sobre temas de seguridad y el compromiso a llevar lo aprendido a la práctica y no solo dejarlo en la teoría. Es allí donde las FS toman un papel relevante al poner en práctica, en su contenido, 4 principios de BPL que son la base para inculcar en los alumnos un sentido de seguridad que los prepare para comenzar a desarrollar una CS.

4-F1

Siguiendo el diagrama de la figura 1, el cuarto objetivo comenzó con la revisión de las HDS de las sustancias de uso común en los LCB, con ayuda de una

lista detallada que se realizó considerando los experimentos planteados en el programa de estos mismos laboratorios y con la asesoría de un profesor que imparte los LCB (cuadro 4.1). La finalidad de esta lista fue saber cuántas FS y para qué sustancias se elaborarían, a la vez de llevar un registro en orden alfabético.

Con base a la lista se localizaron las HDS de las sustancias, manteniendo como constante dos proveedores, Merck KGaA y los Laboratorios Meyer, cuidando siempre utilizar la última versión de la HDS que máximo debe tener 5 años de antigüedad.

Cuadro 4.1 Listado de las sustancias de uso común en el Laboratorio de Ciencia Básica I y II, para las cuales se elaborarán las FS

# de FS	Nombre de la sustancia	# de página	# de FS	Nombre de la sustancia	# de página
1	Acetato de amonio	18	23	EDTA	40
2	Ácido (S)-láctico	19	24	EDTA sal disódica	41
3	Ácido acético glacial	20	25	Fenolftaleína	42
4	Ácido ascórbico	21	26	Hidróxido de amonio	43
5	Ácido cítrico anhidro	22	27	Hidróxido de calcio	44
6	Ácido clorhídrico fumante	23	28	Hidróxido de sodio	45
7	Ácido L (+)-tartárico	24	29	Murexida	46
8	Ácido maléico	25	30	Naranja de metilo	47
9	Ácido nítrico	26	31	Negro de eriocromo T	48
10	Ácido oxálico dihidratado	27	32	Nitrato de calcio tetrahidratado	49
11	Ácido sulfúrico	28	33	Nitrato de estroncio	50
12	Almidón soluble	29	34	Nitrato de plata	51
13	Biftalato de potasio	30	35	Permanganato de potasio	52
14	Carbonato de amonio	31	36	Peróxido de hidrógeno	53
15	Carbonato de calcio	32	37	Tiosulfato de sodio pentahidratado	54
16	Carbonato de sodio anhidro	33	38	Yodo	55
17	Cloruro de amonio	34	39	Yoduro de potasio	56
18	Cloruro de bario anhidro	35			
19	Cloruro de magnesio hexahidratado	36			
20	Cloruro de sodio	37			
21	Cromato de potasio	38			
22	Dióxido de manganeso	39			

4-F3

El cuarto objetivo partió del uso de la PFS previamente diseñada y elaborada, por tal razón, en la elaboración de las FS se utilizó la plantilla y las indicaciones de PNO, con lo que se optimizó el tiempo de búsqueda de información de las HDS y el tiempo de elaboración de la FS. También, al implementar la PFS se logró homogenizar la presentación y contenido de las FS, asegurando que estas puedan ser reconocidas fácilmente, aunque se encuentran de forma individual.

Así mismo, al usar la PFS estandarizada se limitó el número y tipo de ilustraciones que se puede utilizar en la ficha, evitando que se usen imágenes confusas o de baja resolución o que se sature el espacio de las FS con imágenes innecesarias (figura 4. 27).

La imagen muestra una plantilla estandarizada de una Ficha de Seguridad (FSD) con un encabezado verde que contiene el logo de la Universidad de Guayaquil y el texto "Ficha de seguridad" y "Nombre de la sustancia".

Las secciones numeradas son:

- 1 Datos generales:** Incluye campos para "Fórmula:", "Nombre en inglés:", "Peso molecular: g/mol" y "Pureza: % p/p".
- 2 En caso de derrame:** Tres cuadros rectangulares apilados para describir procedimientos de limpieza.
- 3 Peligrosidad:** Un cuadro para describir los peligros de la sustancia.
- 4 Primeros auxilios:** Incluye el texto "¡Conseguir atención médica inmediatamente!" y botones para "Inhalación", "Contacto con" y "Ingestión". Incluye imágenes de primeros auxilios.
- 5 Propiedades físicas y químicas:** Un cuadro grande para describir las propiedades de la sustancia.
- 6 Estabilidad y reactividad:** Tres cuadros para "Reactividad", "Estabilidad química" y "Materiales incompatibles".
- 7 Almacenamiento:** Un cuadro para describir las condiciones de almacenamiento.

Además, hay una sección para "Manejo de residuos" que incluye un ejemplo de una etiqueta de residuos químicos con campos para: "Nombre del residuo o mezcla", "Concentración y/o cantidad", "Nombre de la reacción o análisis", "Unidad / Carrera / Semestre / Grupo", "Edificio / Nº de Laboratorio", "Fecha" y "Manejo con una X lo que corresponde" (con opciones como C, X, P, X, C, X, T, X, I, X).

Figura 4.27 Ejemplo del formato de plantilla estandarizado

4-F4

El siguiente paso después de la elaboración de cada FS, fue someterlas a una primera revisión por parte de un profesor de los LCB para identificar errores de redacción y hacer el cruce de información de las HDS con las monografías de las sustancias de la Enciclopedia TMI para identificar errores de contenido. Es así como con ayudada del número CAS (por su significado en inglés, Chemical Abstracts Service) fueron localizadas las monografías de las sustancias químicas, con esto se completó y corroboró información de las HDS que comúnmente está incompleta o es contradictoria. Dicha falta de información con frecuencia se encuentra en la sección 9 “Propiedades físicas y químicas”. Tratándose de datos que ayudan a tener conocimiento del comportamiento de la sustancia, por lo que estos no se pueden desconocer.

Por otra parte, las propiedades físicas y químicas también les confieren peligrosidad a las sustancias y debido a que las FS son un material de apoyo en seguridad, siempre se debe priorizar tener completos los datos de propiedades físicas y químicas que se solicitan en la sección 5 de la FS. Además, se dejó un espacio para incluir una imagen representativa del aspecto físico de la sustancia en cuestión, con el fin de instruir al estudiante que lo primero que debe observar al manipular un reactivo es que su estado físico coincida con los descrito en su HDS, ya que, si esto no coincide muy probablemente se trate de otra sustancia o la sustancia en cuestión esté deteriorada debido a un mal almacenamiento (figura 4.28).

Propiedades físicas y químicas

5

Propiedades físicas: estado de agregación, aspecto, en el caso de sólidos si son polvos finos o cristales y en el caso de líquidos si su consistencia es viscosa u oleosa; color, olor, si desprende vapores, su solubilidad en agua y diferentes disolventes, y su densidad.

Propiedades químicas: naturaleza de la sustancia, la especie química a la que pertenece la sustancia, pH en el caso de ácidos y bases, estado de oxidación si aplica, si es un agente corrosivo y si es inflamable o comburente.

Imagen
representativa de
la sustancia

Figura 4.28 Ejemplo de las propiedades físicas y químicas que deben redactarse en la sección 5 de la FS

En total se elaboraron 39 FS que se sometieron a una segunda revisión con el formato PFS y el contenido del PNO. Una vez corregidas se les dio el visto bueno y para prevenir cambios en su contenido tanto textual como gráfico fueron guardadas en formato PDF para posteriormente ser integradas al manual. La figura 4. 29 muestra 4 ejemplos de FS seleccionadas al azar.

Ficha de seguridad

Ácido (S)-láctico

Uso obligatorio

Datos generales

Fórmula: $C_3H_5O_3$
 Nombre en inglés: (S)-Lactic acid
 Peso molecular: 90.00 g/mol
 Pureza: 99 - 100% p/p

En caso de derrame

- Aísle y ventile la zona.
- Contenga y recoja con un material absorbente e inerte.
- Deseche en un recipiente adecuado según lo establecido en B03-FERZ-P006.

Peligrosidad

CRETI Efectos

Tóxico

Puede causar irritación en la piel, ojos, vías respiratorias y tracto gastrointestinal. Puede provocar lesiones oculares graves.

En caso de ingestión o inhalación puede producir daños internos, en el caso de producirse se requiere asistencia médica inmediata.

Primeros auxilios

Inhalación: (Consejar atención médica inmediatamente)

- Preparación al aire fresco
- Si no respira: Suministrar respiración artificial
- Contacto con ojos: Retirar lentes de seguridad. Lavar con abundante agua por 15 min.
- Contacto con piel: Quitar ropa contaminada. Lavar con abundante agua por 15 min.
- Ingestión: Beber agua o leche. Músculo 2 vasos. **NO neutralizar.**

Propiedades físicas y químicas

Líquido amarillento y aceitoso sin olor, miscible en agua, etanol, glicerol y éter dietílico. Densidad 1.20 g/ml. Acido orgánico fuerte, pH aproximado 1.0 en soluciones acuosas al 10%.

Manejo de residuos

NO deshechar en el sistema de alcantarillado.

Tratar las soluciones con hidróxido de sodio hasta neutralizar.

Consultar con el asesor de destino final de los residuos.

Página | 23

Ficha de seguridad

Carbonato de sodio anhidro

Uso obligatorio

Datos generales

Fórmula: Na_2CO_3
 Nombre en inglés: sodium carbonate
 Peso molecular: 105.99 g/mol
 Pureza: 95 - 100 % p/p

En caso de derrame

- Aísle y ventile la zona.
- Contenga y recoja cuando sea posible.
- Deseche en un recipiente adecuado según lo establecido en B03-FERZ-P006.

Peligrosidad

CRETI Efectos

Irritante

Puede reaccionar violentamente al combinarse con ácidos fuertes, libera borbombos de carbono y calor.

Tóxico

Puede causar irritación en la piel, ojos y vías respiratorias. Nocivo en caso de inhalación e ingestión.

Primeros auxilios

Inhalación: (Consejar atención médica inmediatamente)

- Preparación al aire fresco
- Si no respira: Suministrar respiración artificial
- Contacto con ojos: Retirar lentes de seguridad. Lavar con abundante agua por 15 min.
- Contacto con piel: Quitar ropa contaminada. Lavar con abundante agua por 15 min.
- Ingestión: Beber agua. Músculo 2 vasos. **NO neutralizar.**

Propiedades físicas y químicas

Polvor blanco higroscópico, inodoro y con sabor alcañal, soluble en agua y glicerol. Densidad 2.53 g/ml. Sal clástica perteneciente a la familia de los carbonatos, pH de 11.0 en soluciones 0.4 M.

Manejo de residuos

NO deshechar en el sistema de alcantarillado sin previo tratamiento.

Neutralizar las soluciones con vinagre y consultar con el asesor de destino final de los residuos.

Página | 32

Ficha de seguridad

Murexida

Uso obligatorio

Datos generales

Fórmula: $C_8H_8O_4N_2$
 Nombre en inglés: murexide
 Peso molecular: 264.19 g/mol
 Pureza: 95 - 100 % p/p

En caso de derrame

- Aísle y ventile la zona.
- Contenga y recoja cuando sea posible.
- Deseche en un recipiente adecuado según lo establecido en B03-FERZ-P006.

Peligrosidad

CRETI Efectos

No se reporta que pertenezca a ninguna de las categorías dentro de la clasificación CRET1.

Primeros auxilios

Inhalación: (Consejar atención médica inmediatamente)

- Preparación al aire fresco
- Si no respira: Suministrar respiración artificial
- Contacto con ojos: Retirar lentes de seguridad. Lavar con abundante agua por 15 min.
- Contacto con piel: Quitar ropa contaminada. Lavar con abundante agua por 15 min.
- Ingestión: Enjuagar la boca. Con abundante agua.

Propiedades físicas y químicas

Polvo cristalino de color marfil inodoro con un brillo verde metálico, soluble en agua. Es un agente complejante débil y colorante azulado, se utiliza como indicador meta-cromico, pH 5 en soluciones 0.005 M.

Medio ácido - Medio ácido fuerte inerte.

Manejo de residuos

NO eliminar en el sistema de alcantarillado.

Las soluciones donde se utilizó como indicador se deben de tratar con bicarbonato de sodio o vinagre.

Eliminar, etiquetar y etiquetar en el área de confinamiento de residuos.

Página | 46

Ficha de seguridad

Permanganato de potasio

Uso obligatorio

Datos generales

Fórmula: $KMnO_4$
 Nombre en inglés: Potassium permanganate
 Peso molecular: 158.00 g/mol
 Pureza: 99 - 100 %

En caso de derrame

- Aísle y ventile la zona.
- Contenga y recoja en caso de ser posible evitando la formación de polvo.
- Deseche en un recipiente adecuado según lo establecido en B03-FERZ-P006.

Peligrosidad

CRETI Efectos

Corrosivo

Graves quemaduras en la piel, lesiones oculares, riesgo de respiración e insuficiencia respiratoria.

Tóxico

Núcleos y vómitos sanguinolentos.

Primeros auxilios

Inhalación: (Consejar atención médica inmediatamente)

- Preparación al aire fresco
- Si no respira: Suministrar respiración artificial
- Contacto con ojos: Retirar lentes de seguridad. Lavar con abundante agua por 15 min.
- Contacto con piel: Quitar ropa contaminada. Lavar con abundante agua por 15 min.
- Ingestión: Beber agua o leche. Músculo 7 vasos. **NO neutralizar.**

Propiedades físicas y químicas

Sólido compuesto de color violeta a negro, soluble en agua. Densidad 2.7 g/cm³. Oxidante fuerte perteneciente a la familia de los permanganatos, pH aproximado 7 - 9 en soluciones 0.1 M. Se encuentra en presencia de Arco y ácidos concentrados con toxicidad de origen.

Manejo de residuos

NO deshechar en el sistema de alcantarillado.

Eliminar, etiquetar y etiquetar en el área de confinamiento de residuos.

Mantener en el recipiente de origen herméticamente cerrado. Conservar en un lugar fresco y ventilado. Lejos de materiales combustibles.

Página | 52

Figura 4.29 Ejemplos de FS terminadas

4.5 Objetivo 5: elaboración del Manual de FS para las sustancias de uso común en los LCB I y II

Finalmente, el objetivo general de esta tesis fue desarrollar un material de apoyo que facilite el proceso de enseñanza y aprendizaje de la CS, convirtiéndolo a la vez en una herramienta para alumnos y profesores. Es en este sentido, que se desarrolló un “Manual de Fichas de Seguridad de las Sustancias de uso común en el Laboratorio de Ciencia Básica I y II de la Carrera de QFB” (MFS). Material que busca aportar conceptos en seguridad como principio de BPL y favorecer el conocimiento y práctica de los 4 principios del modelo REMP como una continuación al desarrollo de una CS. Al mismo tiempo con la elaboración de este material se busca enriquecer la comprensión de los alumnos en temas de seguridad, que nos ayude a promover la formación de líderes en seguridad. Todo lo anterior tiene como fin aportar al mejoramiento de la enseñanza y aprendizaje experimental en los LCB, a la vez que aporta al SGC de los laboratorios de docencia de la carrera de QFB de la FES Zaragoza, UNAM.

5-F1

Con base en lo anterior, la primera fase, de acuerdo con el diagrama de la metodología (figura 1), comenzó con la búsqueda de información para contestar preguntas tales como: ¿qué es un material de apoyo?, ¿cuáles son sus características?, ¿cómo se clasifican los materiales de apoyo? y ¿cómo se construyen? Además, el hecho de que las FS son una nueva propuesta de cómo presentar la información de las HDS para contribuir a la seguridad en los LCB resultó en consultar fuentes bibliográficas sobre temas como principios de BPL, riesgo, peligro, seguridad y Cultura de Seguridad (CS). Dichos temas ayudaron a que el MFS no fuera solo un compendio de FS, en comparación, enriquecieron su contenido convirtiéndolo en una herramienta valiosa en el fomento de la CS como práctica común a lo largo del trabajo experimental.

En consecuencia, se revisaron artículos de docencia para identificar los elementos que definen a un material de apoyo y favorecen el aprendizaje significativo como lo son: significatividad lógica, significatividad psicológica y motivación; según expertos como Ausubel (13). Además, fue necesario profundizar más en el tema de seguridad implementada en laboratorios de docencia (30), para aplicar a los contenidos del manual las estrategias recomendadas por expertos que ayudan a fortalecer, desde un punto de vista educativo, la CS.

5-F2

Aplicando la información que se obtuvo en la F1 es como se diseñó el contenido de la “Presentación del manual” (figura 4. 30). Dicho apartado servirá para presentarle al alumno cómo el concepto de seguridad pasa del papel a la realidad cuando se deja de creer que la seguridad es solo seguir reglamentos generales o internos. Esta visión que, a veces, tienen los alumnos sobre la seguridad se evidencia cuando, a pesar de estar constantemente manipulando sustancias químicas peligrosas, se les dificulta relacionar, por ejemplo, las propiedades físicas y químicas de la sustancia con que ésta sea corrosiva y tóxica según la clasificación CRETI.

Lo anterior puede ser un hábito adquirido en su círculo familiar, debido a que la mayoría de las personas no identifican la seguridad que está implícita en realizar actividades cotidianas con resultados favorables, lo que es un error, pues al no poder reconocer una práctica segura tampoco podrán reconocer una práctica insegura. Esa falta de habilidad en reconocer prácticas seguras o inseguras es lo que ocasiona los accidentes y lamentablemente, no es hasta que una actividad aparentemente inofensiva desemboca en lesionados o daños, cuando como individuos comenzamos a prestar atención en los detalles, solo para descubrir que el riesgo siempre estuvo ahí y fue la nula habilidad en reconocer el riesgo lo que lo ocultó.

Es así, como los temas abordados en la presentación (figura 4. 30) buscan inhibir en los alumnos la apatía por no prestar atención a lo que hacen o por qué lo hacen. Lo que se pretende fomentar en los alumnos es integrar, en su pensamiento,

los elementos necesarios que le permitan anticiparse a los accidentes y también enfrentarlos con la meta de ayudarlo a formarse como un líder en CS.

Es en el sentido de fomentar la CS en los laboratorios de docencia, que la presentación del manual además de retomar conceptos como riesgo, peligro, accidente e incidente; también los diferencia para evitar confusión en alumnos que apenas comienzan su aprendizaje en seguridad. Lo anterior responde a que durante la revisión bibliográfica se apreció que en ocasiones el término peligro es usado como sinónimo de riesgo, y lo mismo pasa con accidente e incidente.

Esa distinción también ayudó a plantear una explicación más sencilla de la relación que guarda la seguridad con el riesgo como ya se hizo en el capítulo 2 y 3 de esta tesis, pero que se puede resumir con la analogía caos y orden. La cual explica que para llegar al orden se necesita del caos porque ambos son estados transitorios, y como seres racionales podemos manipular las circunstancias, hasta cierto punto, para favorecer ya sea el orden o el caos, lo mismo pasa con la seguridad y el riesgo. No siempre se puede estar seguro, así como no siempre se está en riesgo. Sin embargo, eso no significa que al no poder estar en completa seguridad las personas estén dispuestas a sufrir lesiones. La historia nos ha demostrado que como sociedad nos hemos empeñado en realizar actividades altamente peligrosas sin querer lidiar con los daños, solo porque dichas actividades representan un beneficio para nuestra comodidad.

El deseo de querer obtener beneficios es lo que ha impulsado idear formas, métodos o medidas que permitan disminuir el riesgo de, por ejemplo, manipular sustancias químicas. Tal deseo se ve reflejado en la breve historia de la seguridad en el apartado 2.1 del marco teórico. Este mismo deseo impulsó la creación de organizaciones como The Food and Drug Administration (FDA) en los Estados Unidos de Norteamérica o la COFEPRIS (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios) en los Estados Unidos Mexicanos, que ayudan a regular los medicamentos y fármacos de forma regional. Por otro lado, se ve reflejado en acuerdos internacionales que permiten la comunicación efectiva de riesgos entre países, como el GHS (24).

La labor de organizaciones y acuerdos tanto nacionales como internacionales relacionados con la seguridad, sumados a otros factores de índole educativa y de los relacionados con su calidad, inspiraron el diseño y elaboración del MFS, producto de esta tesis. Este MFS busca convertirse en un material didáctico que ayude a profesores y alumnos en la introducción a conceptos básicos relacionados con la seguridad química. Además, se espera que coadyuve a iniciar el camino hacia una educación continua en seguridad, base de la CS, misma que puede ser impulsada a través de la práctica de los 4 principios del modelo **REMP** propuestos por R. Hill y D. Finster (6).



Figura 4.30 Portada del MFS con el desglose de todos sus contenidos

5-F3

El desarrollo de los contenidos y del manual en sí, fue orientado por la revisión de los materiales referentes al desarrollo de material didáctico, de los cuales autores como Parcerisa (9) y Vargas (8) plantean que un material de apoyo debe facilitar el proceso de enseñanza y aprendizaje, además de poder utilizarse de forma individual o grupal y mantener la motivación de los alumnos. Es así que para facilitar la enseñanza y aprendizaje de la seguridad se implementaron contenidos que favorecen el empleo de materiales visuales como tablas, diagramas o figuras, con la finalidad de evitar el desinterés del lector al encontrarse con párrafos interminables de información. También, para ubicar desde una visión general temas relacionados con la práctica de la seguridad y la revisión e implementación del modelo REMP al trabajo práctico en el laboratorio académico (6).

Con base en lo anterior y con el propósito de facilitar el desarrollo de las temáticas abordadas se elaboraron la tabla 1 y las figuras 1, 2 y 3, que a su vez forman parte del contenido denominado "Presentación del MFS". En relación a la tabla 1 (figura 4. 31), es pertinente señalar que su elaboración responde a la necesidad de identificar los riesgos más comunes en los LCB los cuales son: ingestión accidental, inhalación accidental y contacto accidental con piel y/u ojos. La tabla se presenta de forma tal que rompa con la monotonía de los párrafos, por otro lado, y de acuerdo con autores como Hill R. (6), sirve como herramienta para instruir a los alumnos en cómo identificar los riesgos, qué factores favorecen esos riesgos, cómo disminuirlos dentro de su lugar de trabajo y cómo aplicar esta identificación de riesgos a una sustancia en particular.

La aplicación de los elementos antes enunciados a una sustancia en particular se debe hacer porque son las propiedades físicas, químicas y tóxicas de la sustancia las que determinan su peligrosidad, es decir, dependiendo de la cantidad de la sustancia, el tiempo y la frecuencia con la que se manipule dicha sustancia es como aumentará o disminuirá el grado del riesgo (7). En otras palabras, para disminuir el riesgo de corrosión en la piel por contacto directo con una base fuerte, por ejemplo NaOH, lo más prudente es trabajar con goggles, usar guantes

de nitrilo, perilla de seguridad, disminuir la cantidad de base manipulada usando disoluciones y en medida de lo posible sustituir el uso de NaOH por una base débil o de fuerza media.

Riesgos comunes	Factores de riesgo	Acciones para reducir el riesgo
Ingestión	Cantidad ingerida.	Disminuir las cantidades que se usan.
	Concentración de la sustancia ingerida.	Utilizar disoluciones en lugar de reactivos puros
	Corrosión de la sustancia ingerida.	Utilizar bata, guantes y goggles de seguridad.
Inhalación	Toxicidad de la sustancia.	Utilizar cubre bocas en caso de que sea un polvo muy fino o un líquido muy volátil. Nunca pipetear con la boca.
	Cantidad inalada. Corrosión de la sustancia inalada. Toxicidad.	Usar caretas o cubrebocas para no respirar los polvos o gases. En caso de derrame evitar el esparcimiento de polvos finos y colocarse en sentido del viento para no inhalar los gases.
	Cantidad de la sustancia derramada.	Disminuir las cantidades que se usan. Utilizar guantes, lentes de seguridad y bata de algodón.
Contacto directo con ojos y/o piel	Concentración de la sustancia derramada.	Utilizar disoluciones en lugar de reactivos puros. Utilizar guantes, lentes de seguridad y bata de algodón.
	Corrosión de la sustancia derramada. Toxicidad de la sustancia.	Utilizar guantes de nitrilo, goggles de seguridad y bata de algodón.

Figura 4.31 Tabla 1 del manual de FS para la identificación de riesgos comunes en los LCB

Aprender a identificar los riesgos comunes en los LCB (figura 4. 31) cobra más sentido cuando se menciona por primera vez el modelo RAMP o **REMP** para la seguridad (por su traducción al español, figura 4. 32). Este acrónimo sirve para recordar los 4 principios en los que se consolida un modelo sobre cómo trabajar siempre de la manera lo más segura posible en el laboratorio, y que a la vez favorece el desarrollo de una de CS en el trabajo experimental en química. Estos 4 principios son: **R**econocer los riesgos, **E**valuar los riesgos de los peligros, **M**inimizar los riesgos de los peligros y **P**repararse para emergencias. Para mostrar este acrónimo fue elaborada la figura 4. 32.

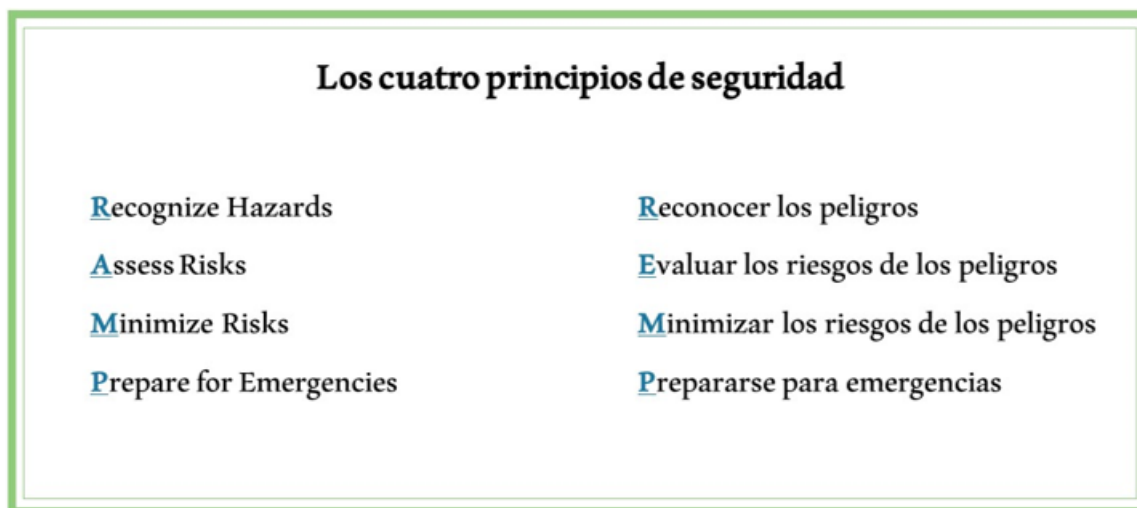


Figura 4.32 Principios del modelo de Cultura de Seguridad propuesto por Hill R y Finster

"Hill R. Finster D. Laboratory Safety for Chemistry Students. 2^{da} ed. New Jersey y Canadá: Wiley; 2016". (6)

Una vez que ya se reconocieron los riesgos comunes en los LCB, se debe estar preparado para evaluarlos, minimizarlos y enfrentarlos. En base a esto el formato de la FS, cuenta con un área donde se colocan los símbolos de EPP que el alumno debe utilizar para la manipulación de la sustancia en cuestión. La finalidad de esta área es ser un recordatorio constante de que al laboratorio no se entra solo con ropa de civil, ya que esta no está diseñada para proteger contra riesgos químicos. Por tanto, la finalidad del EPP es ser la primera línea de defensa en contra de sustancias químicas. Además de ser, el primer paso para minimizar el riesgo de sufrir lesiones a partir de haber evaluado el tipo de peligro que representa la sustancia y en caso de no poder evitar el contacto directo con la piel, usar el EPP prepara al estudiante para tener tiempo de reaccionar.

Para que el EPP cumpla con su función, éste requiere cumplir con ciertas características, mismas que son descritas en las HDS de cada sustancia. Sin embargo, para favorecer el uso del manual como material de apoyo se desarrolló la figura 4. 33, en la que se muestra la adaptación, de acuerdo con el contexto de un laboratorio académico de química, de las características básicas que debe cumplir el EPP de los alumnos en LCB.

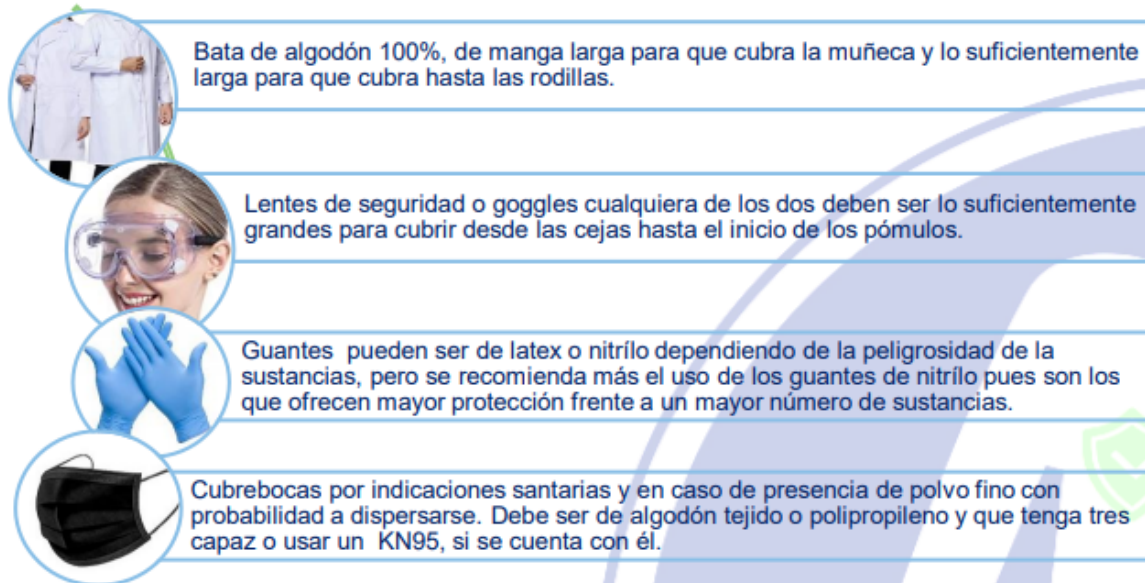


Figura 4.33 Gráfico que describe las características del EPP adaptado a las condiciones en los LCB

En la misma área de la FS, se pueden encontrar los pictogramas que son usados para la comunicación de riesgos de acuerdo con la NOM-018-STPS-2015 y que en el manual se presentan en un recuadro (figura 4. 34) que los organiza en tres categorías: peligros físicos, peligros para la salud y peligros para el medio ambiente. Cabe destacar que también se implementó un código de color, como se puede observar en la figura 4. 34, para agrupar los pictogramas en un tipo de peligro y facilitarle al estudiante identificar qué pictograma corresponde a qué tipo de peligro.












Pictogramas de peligro físico, para la salud y para el medio ambiental.														
Peligros físicos														
Clase de peligro	Explosivos.	Inflamables.	Comburentes.	Gases a presión.	Corrosivos para metales.									
Pictograma														
Peligros para la salud														
Clase de peligro	Sensibilizantes respiratorios y cutáneos.		Toxicidad específica para determinados órganos tras una exposición única.		Mutagenicidad en células.	Carcinogenicidad.	Tóxicos para la reproducción y efectos sobre la lactancia o a través de ella.	Toxicidad específica para determinados órganos tras exposiciones repetidas.	Peligro por aspiración.	Irritación cutánea y ocular.	Lesiones oculares graves.	Toxicidad aguda por ingestión.	Toxicidad aguda por vía cutánea.	Toxicidad aguda por inhalación.
Pictograma														
Peligros para el medio ambiente														
Clase de peligro	Peligro para el medio ambiente.													
Pictograma														

FIGURA 3. Pictogramas de peligros físicos, de la salud y para el medio ambiente acordes con la NOM-018-STPS-2015 y con Indicaciones de peligro (Frase R y H) de sustancias o mezclas.

Figura 4.34 Pictogramas de peligros físicos, de la salud y para el medio ambiente acordes con la NOM-018-STPS-2015 y con Indicaciones de peligro (Frase R y H) de sustancias o mezclas

Al implementar imágenes y tablas se buscó favorecer el aprendizaje significativo en los alumnos al promover las conexiones, no arbitrarias, entre los conocimientos previos sobre seguridad que ya poseen los alumnos y los nuevos

conocimientos más especializados que el trabajar con sustancias químicas requiere (13). La inclusión de todos estos componentes obedece a la propuesta, que de acuerdo con Ausubel (13), son señalados como elementos característicos de un material didáctico que favorece un aprendizaje significativo en los estudiantes.

Continuando con los contenidos del manual, a estos se agregaron dos anexos. El primero referente a un glosario de términos encontrados en las fuentes bibliográficas consultadas para la elaboración del manual, que pueden dificultar la comprensión de los temas tratados en la presentación si no se conoce su significado. También fueron agregados conceptos que se adaptaron de acuerdo con la intención de este trabajo, por ejemplo, Ficha de Seguridad, área para símbolos y pictogramas, formato, etc. Con este glosario se pretende aportar al aprendizaje significativo del estudiante el cual necesita de elementos que actúen como puentes entre la información ya existente para ayudar a su comprensión, dando como resultado la adquisición de nuevos conocimientos.

El segundo anexo está dividido en tres partes 2.1, 2.2 y 2.3 las primeras dos subdivisiones fueron planeadas para explicar cómo está conformado el código alfanumérico de las frases P (prudencia) y H (riesgo) (figura 4. 35), ya que estos códigos siempre aparecen en la sección 2 de la HDS, pero no se explica de dónde vienen, ni porqué tienen esa estructura. Que el alumno sepa lo anterior es de suma importancia pues como ya se discutió en el capítulo 2.2, subtema 2.2.1.2, las HDS, las frases P y H, así como los pictogramas provienen del GHS, sistema que es internacionalmente implementado. Como el manual está dirigido a alumnos de primeros semestres, no se pretende que estos se vuelvan expertos en un sistema tan complejo como GHS, pero sí se busca brindarles el mayor número de herramientas para que su transición a la vida laboral, donde este sistema es obligatoriamente usado, no sea en total desconocimiento.

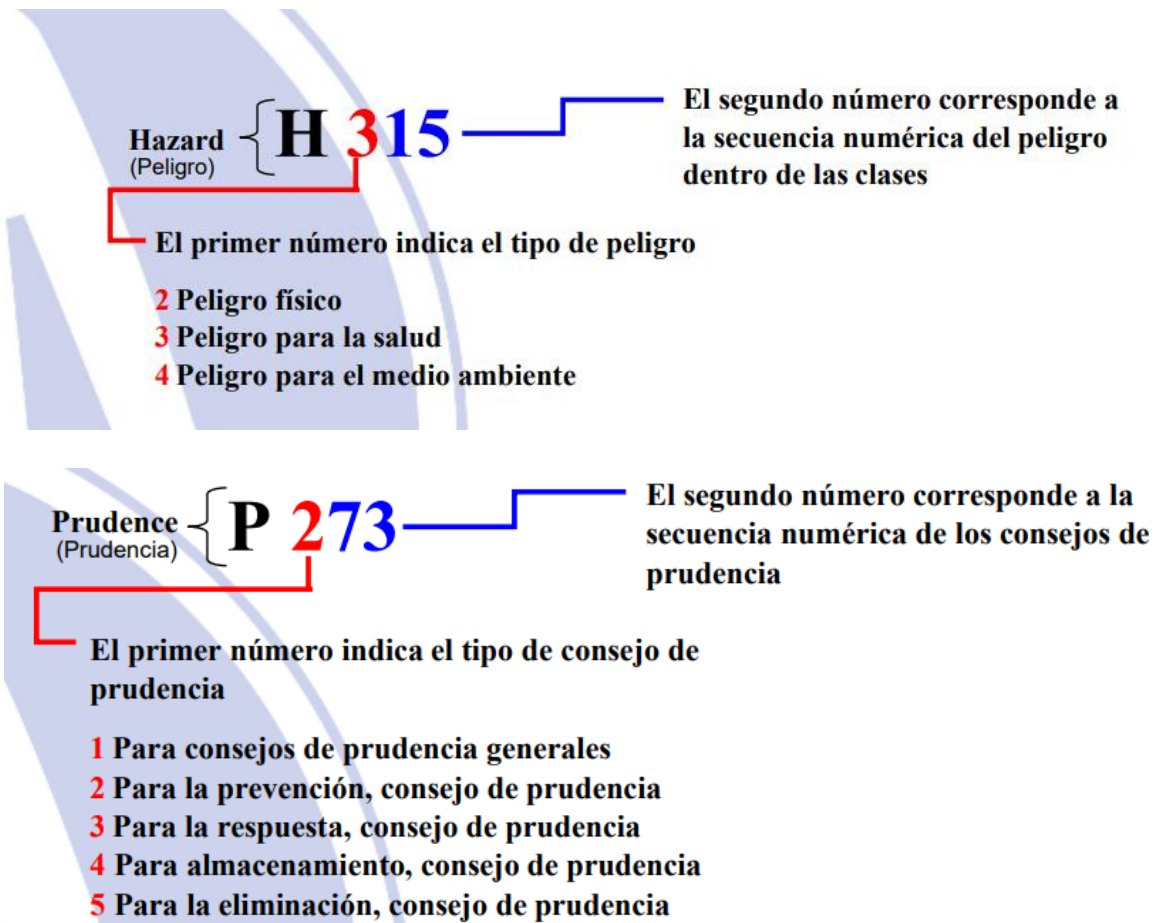


Figura 4.35 Diagramas implementados en los anexos del manual para explicar la conformación del código alfanumérico de las frases H y P

Una vez listos los contenidos del manual, lo que siguió fue organizarlos en una presentación que contara con una estética colorida y funcional. Se comenzó por usar una hoja completamente de color azul con el nombre de la sección en letras grandes y de un azul más claro que el fondo (figura 4. 36). Esto debido a que una de las finalidades del manual es ser de utilidad durante la atención de accidentes, por lo mismo, que se puedan distinguir rápidamente cada uno de sus apartados se vuelve una necesidad. Además, contar con un número de página y delimitar cada apartado con una separación bien definida, disminuye el tiempo de búsqueda.



Figura 4.36 Ejemplo de la hoja usada como separador en el manual

Para volver el material aún más atractivo a la vista se implementaron imágenes y formas que encima de aportar visualmente al material, aligerando la lectura, hacen que el fondo blanco de las hojas no se perciba vacío. Las imágenes y formas implementadas también aportan al tema principal que es la seguridad al recordar constantemente el uso del EPP. La figura 4. 37 se utiliza como marca de agua en la mayoría de las hojas, excepto en las FS para evitar la saturación del espacio. Así, se pretende que esta figura funcione como un sello que ayuda rápidamente a identificar una hoja, como un fragmento sacado de dicho manual, aunque dicha hoja sea mostrada de forma individual. Esta es una forma de marcar los documentos que son de uso oficial e interno dentro de una organización, un método que es muy utilizado en la industria para evitar la falsificación de documentos.



Figura 4.37 Logo diseñado para ser utilizado en el manual como marca de agua

Ese tipo de medidas están respaldadas por la filosofía del Sistema de Gestión de la Calidad que ya está reglamentado en nuestro país por normas como la NOM-059-SSA1-2015; misma filosofía que la FES Zaragoza se esfuerza en inculcar en los alumnos al desarrollar y ejecutar su propio SGC. Es en este sentido, que la figura 4.37 se implementó como sello distintivo del manual, aunque este aún no sea un documento oficial para SGC, puede apoyar a los alumnos a su familiarización con el mismo.

5-F4

En el mismo contexto del SGC las FS que fueron elaboradas para el manual, tienen un formato homogéneo que las distinguen de otros documentos, incluso dentro del mismo manual. Al mismo tiempo el formato de las fichas y su diseño están en sintonía con el diseño del MFS, permitiendo que su integración en los contenidos del manual no sea abrupta.

Debido a todos los conceptos planteados en la presentación del MFS no fue necesario hacer una introducción para las FS y en su lugar se utilizó la carátula empleada en los otros contenidos, para marcar el inicio de la sección correspondiente a las FS.

Con todos los apartados del manual terminados y organizados, el documento final está compuesto por la portada, el índice, la presentación, las 39 FS, los anexos, las referencias y la contraportada, Dicho documento fue conformado en dos formatos uno digital como PDF (figura 4. 38 a) y uno impreso en papel tipo couche, resultando en un manual con 75 páginas encuadernadas en el estilo americana en el cual se emplea pegamento de alta resistencia (fresada) (figura 4. 38 b).

En relación al tipo de encuadernado para la versión impresa del MFS se escogió el estilo americana porque, acorde al enfoque de BPL, en particular el principio de Documentación que refiere que, para evitar la alteración de bitácoras sus hojas deben estar cocidas y foliadas; y aunque el manual no es una bitácora, el desgaste podría ocasionar que las hojas se desprendieran con facilidad y si el encuadernado es con un espiral es más fácil que se desprendan hojas o FS. Además, debido al diseño de las FS tampoco es posible usar un espiral dado que las perforaciones que se le deben hacer a las hojas para pasar el espiral, dañarían el encabezado de las FS.

Con lo anteriormente planteado, para la versión impresa del MFS la mejor opción fue encuadernar las hojas con pegamento, así, si alguna FS se llegará a desprender lo más probable es que queden rastros de papel adherido a la costilla del manual, evidenciando la falta de alguna(s) hoja(s).



Figura 4.38 a) Imagen de la versión en digital (PDF) del MFS. b) Imágenes de la versión impresa del MFS

V. CONCLUSIONES

Como producto de este trabajo se diseñó y elaboró una Manual de Fichas de Seguridad (MFS) para las sustancias de uso común en los LCB que permite, como medida preventiva en caso de alguna situación de emergencia, contar con la información pertinente de las sustancias empleadas en los experimentos que se desarrollan en los LCB.

Para la elaboración de este manual se diseñó y optimizó un prototipo de FS; a partir del cual se generó una plantilla de FS (PFS). Para hacer un uso adecuado de esta plantilla y estandarizar la elaboración de las FS se desarrolló un PNO cuya aplicación, en conjunto con la PFS, permitió elaborar 39 FS correspondientes a un listado de las sustancias de uso común en los LCB.

También se desarrollaron y organizaron los contenidos, que junto con las 39 FS elaboradas, conforman el MFS, material didáctico de apoyo a la docencia elaborado como producto de este trabajo de tesis.

La elaboración de este MFS pretende contribuir a la promoción de una CS la cual debe ser una prioridad en los laboratorios de docencia de cualquier semestre de la carrera de QFB de la FES Zaragoza, UNAM. Esto implica desarrollar en los alumnos conciencia de los riesgos involucrados en el manejo de sustancias químicas, así como de la necesidad de implementar medidas preventivas adecuadas a los experimentos, prácticas y/o proyectos que se llevan a cabo en los laboratorios, como parte del trabajo práctico de los mismos, acordes también a las habilidades de los estudiantes y semestres que cursan.

Es en este sentido que desde los LCB, se trabaja la seguridad desde un enfoque de BPL, sin embargo, a lo largo de la carrera se debe continuar con la enseñanza y aprendizaje significativo sobre temas en seguridad. En este mismo orden de ideas es que los materiales didácticos de apoyo a la docencia, como lo es el MFS, juegan un papel importante en la formación de los estudiantes al orientar y favorecer su aprendizaje, lo que a su vez demanda un mayor compromiso por parte del alumno en su propio aprendizaje. Así mismo, el MFS complementa la labor del

docente frente a las aulas sirviendo como punto de partida para la enseñanza de conceptos básicos sobre seguridad.

Promover una continua educación en seguridad es fomentar hábitos en los estudiantes que con el tiempo se convertirán en una CS donde practicar la seguridad es **Reconocer** los riesgos a los que se está expuesto, **Evaluar** los peligros que conlleva el riesgo para, **Minimizar** los peligros que podrían aumentar el riesgo de sufrir accidentes, e independientemente de ello estar **Preparado** para las emergencias.

La secuencia descrita en el párrafo anterior corresponde a los 4 principios de CS que R. Hill y D. Finster han implementado en los laboratorios químicos de docencia para introducir a los estudiantes en la CS y formar líderes en seguridad, modelo bajo el cual se diseñaron y desarrollaron las FS y el MFS, con el propósito de favorecer la prevención de accidentes dentro de los LCB.

El “Manual de Fichas de Seguridad para las sustancias de uso común en los LCB de la carrera de QFB de la FES Zaragoza, UNAM” (**MFS**) obtenido como producto final de este trabajo, compromete en sus contenidos la **enseñanza y aprendizaje** de **conceptos básicos sobre seguridad** a través de elementos gráficos como tablas e imágenes que favorecen la construcción de conexiones significativas entre los conocimientos previos de los alumnos, y los nuevos conocimientos presentados en el manual, ayudando de esta manera al logro de un **aprendizaje significativo** en los estudiantes. Es por esta razón que el MFS es un **material de apoyo didáctico** que facilita la práctica de la seguridad durante el trabajo experimental en los laboratorios de docencia.

Así mismo, las “Fichas de Seguridad” (**FS**) son un documento de consulta rápida dentro de los laboratorios de docencia y su uso **NO** pretende sustituir la consulta previa, a la planeación y elaboración de los **protocolos de trabajo**, de las **HDS** y de la Enciclopedia **TMI**.

De igual forma, la “Plantilla de FS con formato estandarizado” (**PFS**) y el Procedimiento para la elaboración de las Fichas de Seguridad de las sustancias de

uso común en los Laboratorios de Ciencia Básica” (**PNO**) son materiales didácticos porque ayudan al usuario a crear nuevas FS al facilitar la revisión y análisis de las HDS, además de fomentar el **cruce de información** con el TMI para enriquecer el contenido de las HDS.

VI. REFERENCIAS

1. Buxbaum E. C. Safety in the Chemical Laboratory. *Journal of Chemical Education* [PDF]. 1934: 73 – 76.
2. Centros para el Control y la Prevención de Emergencias. Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) [Internet]. EE. UU.; 26 Sep 2017. [Consultado 8 Ene 2023]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/spanish/niosh/npg-sp/pgintrod-sp.html>
3. Arias W. L. Revisión histórica de la salud ocupacional y la seguridad industrial [PDF]. *Revista Cubana de Salud y Trabajo*. 2012; 13(3): 45 – 52.
4. INNOVA. Los 9 peores desastres de la Industria Química [Internet] Colombia: Cobalto.Media; 15 Ene 2018 [Consultado 24 Ene 2023]. Disponible en: <https://innovaambiental.com.co/los-9-peores-desastres-de-la-industria-quimica/>
5. Secretaría de Salud. FARMACOPEA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS. 11ª ed. Comisión Permanente de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos; 2014. 1493 p.
6. Hill R. Finster D. *Laboratory Safety for Chemistry Students*. 2ª ed. New Jersey y Canadá: Wiley; 2016.
7. Jaeger CC, Renn O, Rosa EA, Wehler T. Risk, uncertainty and rational action [Internet]. Londres: Taylor and Francis; 2013. [Consultado 11 Ene 2022]. Disponible: <https://doi.org/10.4324/9781315071817>
8. Vargas G. Recursos educativos didácticos en el proceso enseñanza aprendizaje. *Cuad. –Hops. Clín* [Internet] 2017 [Consultado 22 Nov 2021]; 58(1): 68-74. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1652-67762017000100011&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
9. Parcerisa AA. Materiales para el aprendizaje, más allá del libro de texto... y de la escuela. *Aula* [PDF] 2007 [Consultado 22 Nov 2021]; (165): 7-11.

10. Hernández J, Jiménez YI, Rodríguez E. Más allá de los procesos de enseñanza-aprendizaje tradicionales: construcción de un recurso didáctico digital. Ride [PDF] 2020; 10(20)
11. EUROINNOVA. Blog de Material de apoyo docente [Internet]. Gunzenhausen, Alemania: International Online Education; 2004 [actualizado año 2022; acceso 23 Nov 2021]. Disponible en: <https://www.euroinnova.mx/blog/material-de-apoyo-docente>
12. Zapata M. Teorías y modelos sobre el aprendizaje en entornos conectados y ubicuos. Bases para un nuevo modelo teórico a partir de una visión crítica del “conectivismo”. Educ. Knowl. Soc. [Internet]. 27 de marzo de 2015 [Consultado 28 Nov 2021];16(1):69-102. Disponible en: <https://revistas.usal.es/index.php/eks/article/view/eks201516169102>.
13. Jiménez AI. Estrategias y recursos que utilizan docentes de educación básica para la enseñanza del español. En: XIV Congreso Nacional de investigación educativa. San Luis Potosí, México: Universidad Autónoma de Querétaro; 20-24 de Nov de 2017. Pág. 1-10.
14. Díaz F, Hernández G. Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. [PDF]. 2ª ed. México: McGraw-Hill; 2002 [Consultado 15 Dic 2021]. Disponible en: https://dfa.edomex.gob.mx/sites/dfa.edomex.gob.mx/files/files/2_%20estrategias-docentes-para-un-aprendizaje-significativo.pdf.
15. San Martín A. La organización escolar. En cuadernos de Pedagogía [Internet] 1991[Consultado 15 Dic 2021]; (194): 26-28. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/3964>.
16. Díaz J. Los recursos y materiales didácticos en Educación Física. Apuntes. Educación Física y Deportes [Internet] 1996 [Consultado 20 Dic 2021]; 1 (43): 42-54. Disponible en: <https://raco.cat/index.php/ApuntsEFD/article/view/316542>.
17. Morales PA. Elaboración de material didáctico [PDF]. 1ª ed. Tlalnepantla: Red Tercer Milenio; 2012 [Consultado 20 Dic 2021]. Disponible en:

https://www.aliat.click/BibliotecasDigitales/derecho_y_ciencias_sociales/Elaboracion_material_didactico.pdf

18. Márques P. Los medios didácticos [Internet]. Departamento de Pedagogía aplicada, Facultad de Educación, UAB; 2011 [Consultado 6 Dic 2021]. Disponible en: <http://peremarques.net/medios.htm>.
19. Bravo JL. Los medios de enseñanza: clasificación, selección y aplicación. Pixel-Bit Revista de Medios y Educación [Internet] 2004 [Consultado 20 Dic 2021]; (24): 113-124. Disponible en: <https://recyt.fecyt.es/index.php/pixel/article/view/61236/37250>.
20. Moya AM. Recursos Didácticos en la Enseñanza. Innovación y Experiencias Educativas [Internet] 2010 [Consultado 20 Dic 2021]; (45-6A): 1-9. Disponible en: https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_26/ANTONIA_MARIA_MOYA_MARTINEZ.pdf.
21. Mena Merchán B, Marcos M, Mena JJ. Didáctica y nuevas tecnologías en educación [Internet]. Madrid, España: EAE; 1996 [Consultado 20 Dic 2021]. Disponible en: <https://ulatina.metabiblioteca.org/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=3697>.
22. Reyes F. (2007). *Los Recursos Didácticos*. Presentado en México.
23. SGC. Validación de prácticas o experimentos [PDF]. México: Facultad de Estudios Superiores, UNAM; 2018 [Consultado 18 Dic 2021]. FESZ-FPO02-03.
24. Chávez S. El Concepto de Riesgo. *Recur Nat y Soc* [PDF]. 2018 [Consultado 20 Dic 2021]; 4(1): 32 - 52. Disponible en: <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2018.04.04.01.0003>.
25. Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud [web]. OPS/OMS. Estados Unidos: OPS; 2015 [Consultado 20 Dic 2021]. Disponible en: https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10837:2015-clasificacion-peligros.

26. Almeida N, Castiel LD, Ayres JR. Riesgo: concepto básico de la epidemiología. Salud Colect [PDF]. 2009 [Consultado 11 Ene 2022]; 5(3): 323 Disponible en: [Riesgo: concepto básico de la epidemiología | Salud Colectiva \(unla.edu.ar\)](http://www.unla.edu.ar)
27. Anders V. Etimología de Peligro [Internet]. Chile: www.deChile.net; 2001 [Consultado 15 Ene 2022]. Disponible en: <http://etimologias.dechile.net/?peligro#>.
28. Tocabens BE. Definiciones acerca del riesgo y sus implicaciones. Rev Cubana Hig Epidemiol [Internet]. 2011 [Consultado 20 Ene 2022]; 49(3): 470–81. Disponible en: <http://scielo.sld.cu>.
29. Allan Lavell PD. Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una definición [PDF]. Perú: PREDECAN; 2001[Consultado 20 Ene 2022]. Disponible en: https://www.academia.edu/9808476/Sobre_la_Gesti%C3%B3n_del_Riesgo_Apuntes_hac%C3%ADa_una_Definici%C3%B3n
30. Navarro OC, Mira IM, Vilaplana E, Sepúlveda A, Molina JM. Química Verde: trabajo de laboratorio en la Microescala. Jornadas Redes Investig en Docencia Univ Univ Alicant [Internet]. 2014 [Consultado 20 Feb 2022]; (1993): 1–15. Disponible en: <https://web.ua.es/va/ice/jornadas-redes-2014/documentos/comunicacions-posters/tema-2/393227.pdf>
31. Sansón C, Montagut BP, González RM. Microescala en Química General. Educ Química [PDF]. 2018 [Consultado 21 Feb 2022];9(1): 34. Disponible en: <http://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/66586>
32. Amaral G, Bushee J, Cordani UG, KAWASHITA K, Reynolds JH, ALMEIDA FFMDE, et al. Legislación y Normas sobre Seguridad y Salud en el Trabajo. J Petrol [Internet]. 2013 [Consultado 22 Feb 2022]; 369(1):1689–99. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2011.03.003>
33. Gwiazda IM. ACCIDENTOLOGIA Ing [PDF]. Manuel Gwiazda. 2014 [Consultado 22 Feb 2022]; 1–13.
34. Torres AE, Guzmán MF. Desarrollo del sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional en base a la NORMA ISO 45001 para la empresa Nelisa Catering [Tesis de ingeniería en Seguridad y Salud ocupacional] Ecuador:

Facultad de Ciencias del Trabajo y Comportamiento humano, Universidad Internacional SEK; 2018.

35. Secretaría de Salud. Programa de Acción : Accidentes [PDF]. 1ª ed. México: SSA; 2002 [Consultado 2 Mar 2022]; Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/documentos/accidentes.pdf>
36. OIT. Comunicado conjunto OIT/OMS El número de accidentes y enfermedades relacionados con el trabajo sigue aumentando OIT y OMS recomiendan aplicar estrategias de prevención [Internet]. Noticias. 2005. p. 1. Disponible en: https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS_006102/lang--es/index.htm
37. México. Secretaría de Gobernación. Secretaria de salud. NOM-059-SSA1-2015: Buenas prácticas de fabricación de medicamentos. Diario Oficial de la Federación, Tomo DCCXLIX No. 2 (Feb. 5, 2016)
38. Montero Bagatella JC. El concepto de seguridad en el nuevo paradigma de la normatividad mexicana. Región y Soc [Internet]. 2013 [Consultado 2 Mar 2022]; 25(58) p. 238. Disponible en: <https://regionysociedad.colson.edu.mx:8086/index.php/rys/article/view/128>
39. Headquarters, Air Force Materiel Command System Safety Division. System Safety [Internet]. Estados Unidos: Department of Defense.; 2000 [Consultado 3 Mar 2022]. MIL-STD-882. Disponible en: http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0800-0899/MIL_STD_882D_934/
40. Hollnagel E. Risk + barriers = safety? Safety Science [Internet] 2008 [Consultado 3 Mar 2022]; 46(2): p. 221 - 229. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925753507000896>
41. Hill R, Nelson DA. Strengthening safety education of chemistry undergraduates. Elsevier Inc [Internet] 2005 [Consultado 3 Mar 2022]; 12 (6): p. 19 - 23. Disponible en: <https://www.sciencedirect-com.pbidi.unam.mx:2443/journal/chemical-health-and-safety>
42. DeMasi A, Elston H, Langerman N. Safety Data Sheets: Challenges for authors, expectations for end-users. ACS CHAS [Internet]. 2022 [Consultado

- 3 Mar 2022]; 29(4): p. 369 - 377. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.chas.2c00015>
43. Kaplan SA. Development of Material Safety Data Sheets. En: 191st ACS. National Meeting. EUA, New York: Division of chemical health and safety; 1986. p. 13 - 18.
 44. México. Secretaría de Gobernación. Secretaría del Trabajo y Prevención Social. NOM-018-STPS-2015, Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. Diario Oficial de la Federación, tomo DCCXLV No. 7 (Oct. 9, 2015).
 45. Royal Society of Chemistry. THE MERCK INDEX* Online [Internet]. EUA y Canada: Merck & Co, Inc, Whitehouse Station. 2013 [Consultado 3 Mar 2022]. Disponible en: <https://www.rsc.org/merck-index>
 46. Kolchinski A. When Safety Data Sheets are a Safety Hazard. OPRD [Internet]. 2022 [Consultado 4 Mar 2022]; 26(2): p. 263 - 266. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.oprd.1c00427>
 47. Ribeiro M, Yunes S. Machado A. Assessing the greenness of chemical reactions in the laboratory using updated holistic graphic metrics based on the globally harmonized system of classification and labeling of chemicals. *jchemeduc* [Internet]. 2014 [Consultado 4 Mar 2022]; 91(11): p. 1901 - 1908. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed400421b>
 48. Domínguez A. La implantación del GHS en México [Tesis de licenciatura, ingeniera química]. México; Facultad de Química, UNAM. 2015.
 49. Hill R. GHS and its Impact on Laboratory Safety. *J. Chem. Health Saf* [Internet]. 2010 [Consultado 4 Mar 2022]; 17(4): p. 5 - 11. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs>
 50. México. Secretaría de Gobernación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. NOM-052-SEMARNAT-2005. Diario Oficial de la Federación, Tomo DCXXXIII No. 17 (Jun. 23, 2006).
 51. Dra. García M, Dra. Sánchez M, Mtra. Barrera R, Dra. Escalante R. Procedimiento de manejo de residuos generados en los laboratorios de

- docencia [PDF]. CDMS, México: Facultad de Estudios Superiores, UNAM; 2017 [Consultado 10 Mar 2022]. SGC-FESZ-PO06.
52. Rodríguez MG. Las Buenas Prácticas de Laboratorio [Tesis licenciatura en QFB] México; Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. 1987.
 53. International Organization for Standardization. ISO 9000-2015. Sistema de Gestión de la Calidad, fundamentos y vocabulario [Internet]. 2015. p. 60. Disponible en: [http://www.sgc.uagro.mx/Descargas/ISO 9000-2015.pdf](http://www.sgc.uagro.mx/Descargas/ISO%209000-2015.pdf)
 54. Díaz JP. Mier HJ. Buenas Prácticas de Laboratorio de la OCDE. Guía de implementación de los principios en entidades de ensayo [PDF]. Bogotá, Colombia: Programa Safe+; 2016 [Consultado 10 Mar 2022]: p. 45. Disponible en: https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-02/Buenas_Pr%C3%A1cticas_de_Laboratorio_de_la_OCDE.pdf
 55. Safety culture task force. Creating Safety Cultures in Academic Institutions: A Report of the Safety Culture Task Force of the ACS Committee on Chemical Safety [Internet]. Washington, DC: American Chemical Society; 2012 [Consultado 11 Mar 2022]. Disponible en: <http://www.acs.org/content/dam/acsorg/about/governance/committees/chemicalsafety/academic-safety-culture-report-final-v2.pdf>
 56. American Chemical Society. Seguridad en Laboratorios Académicos de Química [Internet]. Washington, DC. EUA: ACS, Chemistry for life; 2013 [Consultado 12 Mar 2022]. Disponible en: <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/about/governance/committees/chemicalsafety/publications/safety-in-academic-chemistry-laboratories-students.pdf>
 57. Messer, Gases for life. Ficha de datos de seguridad, Propano C₃H₈ [PDF]. Bogotá, Colombia: Messer Colombia (Mar. 29, 2021).
 58. Frank P, Ottoboni MA. The dose makes the poison: A plain language guide to toxicology. 3^{ra} ed. New Jersey: John Wiley and Sons; 2011.
 59. Química Suastes, Meyer. Hoja de datos de seguridad, Ácido sulfúrico [PDF]. México: Meyer (Jul. 3, 2018)

60. American National Standards Institute/ American Society of Safety Engineers. Occupational and Educational Personal Eyes and Face Protection Devices, ANSI/ASSE Z87. 1-2003, ANSI, Washington, DC.
61. Sociedad Americana de Química. Seguridad en los Laboratorios Químicos Académicos. Prevención de accidentes para estudiantes universitarios [PDF]. Washington, DC. EUA: ACS; 2013 [Consultado 12 Mar 2022]. Disponible en: <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/about/governance/committees/chemicalsafety/publications/seguridad-en-los-laboratorios-quimicos-academicos.pdf>
62. Vadequímica. Higroscopía, ¿qué es y qué compuestos tienen esta capacidad? [Internet]. Barcelona, España: vadequimica.com; 2017 [Consultado 12 Mar 2022]. Disponible en: <https://www.vadequimica.com/blog/2017/01/higroscopia-que-es-y-que-compuestos-tienen-esta-capacidad/>.
63. Aparecida B, Saú B, Gandilpho E, Kogawa AC, Nunes HR. Evolution of green chemistry and its multidimensional impacts: a review. Saudi Pharmaceutical Journal [Internet] 2019 [Consultado 15 Mar 2022]; 27 (1): p. 1 - 8. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2018.07.011>
64. Tobiszewski M, Mechlinska A, Zygmunt B, Namiésnik J. Green analytical chemistry in sample preparation for determination of trace organic pollutants. TrAC [Internet] 2009 [Consultado 17 Mar 2022]; 28 (8): p. 943 - 951. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2009.06.001>
65. Farias L, Fávaro D. Twenty years of green chemistry: achievements and challenges. Quím. Nova [Internet] 2011 [Consultado 20 Mar 2022]; 34 (6): p. 1089 - 1093. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000600030>
66. México. Secretaría de Gobernación. Secretaría del Trabajo y Previsión Social. NOM-005-STPS-1998, Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y

almacenamiento de sustancias químicas peligrosas. Diario oficial de la Federación, Tomo DXLV No. 2(Feb. 2, 1999).

VII. ANEXO

Glosario

Área para símbolos y pictogramas: espacio en blanco dentro de la FS que no está delimitado por un margen, pero se nombra como “Uso obligatorio” y es el primer elemento que se observa en la ficha.

Categoría: Cada uno de los espacios delimitados en el formato de la FS. (ejemplo propiedades físicas y químicas).

Contener: Impedir que la sustancia siga avanzando en la superficie donde fue derramada.

CRETIB: Acrónimo de clasificación de las características a identificar en los residuos peligrosos y que significa: corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico ambiental, inflamable y biológico-infeccioso.

Derrame o fuga: Es la liberación o pérdida de contenido de cualquier sustancia líquida, gaseosa o sólida, del recipiente que la contiene.

Emergencia: Es definido como un evento repentino e imprevisto, que hace tomar medidas de prevención, protección y control inmediato para minimizar sus consecuencias.

Ficha de seguridad (FS): para propósitos de este procedimiento una FS es una hoja tamaño carta impresa por un solo lado, la cual tiene un formato que consiste, en un encabezado que contiene los escudos de la universidad, la facultad y el nombre de la sustancia para poder identificarla rápidamente; cuerpo el cual contiene información resumida y pertinente que es de ayuda en situación de emergencia. Las fuentes que se consultan para elaborar la FS son las HDS de la sustancia y TMI.

Formato: para propósitos de este PNO formato es la designación de espacios a cada apartado que contiene el documento que organiza la información para facilitar la comprensión del contenido tanto textual, gráfico y visual.

Incompatibilidad: Aquellas sustancias de elevada afinidad cuya mezcla provoca reacciones violentas, tanto por calentamiento, como por emisiones de gases inflamables o tóxicos.

Manejo: El uso, traslado, trasvase, almacenamiento proceso de una sustancia química peligrosa o mezcla en el centro de trabajo.

Peligrosidad: La capacidad intrínseca de las sustancias o mezclas que es adjudicada por sus propiedades físicas y químicas.

Plantilla: para propósitos de este PNO plantilla es un documento en Word que ya tiene una estructura y organización establecida para que el usuario, una vez que tenga seleccionada la información que requiere la FS y de acuerdo con las características de la sustancia que esté trabajando, pueda vaciar dicha información en las categorías correspondientes.

Pictograma: Aquella composición gráfica que contiene un símbolo en el interior de un rombo con un borde rojo o negro, un color blanco de fondo, y que sirve para comunicar informaciones específicas de peligro de una sustancia o mezcla.

Recuperar: Limpiar la zona donde ocurrió el derrame quitando la sustancia con una brocha y recogedor si es un sólido, o con vermiculita si es un líquido.

Riesgo: Es la probabilidad de que los efectos nocivos de una sustancia química peligrosa o mezcla por una exposición crónica o aguda de los trabajadores altere su salud o, por su capacidad de arder, explotar, corroer, entre otras cosas, dañe el centro de trabajo.

Símbolo: El elemento gráfico que sirve para proporcionar información de manera concisa.

Ventilado: Mantener la entrada y salida de aire sin ser necesario un sistema de aire acondicionado.

Hazard: Riesgo.

Prudence: Prudencia.