

EVALUACIÓN DE ATMÓSFERAS PELIGROSAS EN LA ZONA INDUSTRIAL DE MATANZAS ANTE POSIBLES ACCIDENTES QUÍMICOS.

Ing. Daimarys Castro Hernández ¹, Dr. C. Jesús Delfín Luis Orozco ¹, Dr. C. Lilian Delia Curiel Lorenzo

*1. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca
Km.3, Matanzas, Cuba.*

Resumen.

El trabajo consiste en determinar las áreas de atmósferas peligrosas que pueden originarse ante la ocurrencia de un posible accidente químico en la Zona Industrial de Matanzas, que provoque la dispersión de las diferentes sustancias peligrosas utilizadas en los procesos industriales de la misma. Mediante el empleo del software ALOHA, por sus siglas en inglés (Areal Locations of Hazardous Atmospheres), se determinó el área que alcanza la nube tóxica de vapor para el caso del amoníaco (NH_3) y del bisulfuro de carbono (SC_2), diesel y gas licuado (mezcla de propano con butano) (GLP). La nube tóxica de vapor para el Amoníaco llega a superar los 10 km, siendo esta sustancia la de mayor dispersión. Los resultados obtenidos en este trabajo pueden ser utilizados por las empresas y los órganos de la Defensa Civil para la elaboración de los planes, medidas de prevención y protección frente a eventos de esta índole.

Palabras claves: Área; nube tóxica.

Introducción

Existen diferentes causas que pueden originar desastres de origen tecnológico, todas parten de una situación de peligro, que por alguna razón se convierte en una situación de riesgo, que debido a la forma en que se desarrolla y por sus dimensiones de ocurrencia llega a convertirse en un desastre que trae como consecuencia daños al medio ambiente, pérdidas materiales y pérdidas humanas o ambas.

Conjuntamente con el desarrollo alcanzado por la Industria Química cubana en los últimos 20 años, se incrementaron en la misma magnitud los derrames de sustancias peligrosas, los accidentes fatales y los desastres químicos. Son innumerables los hechos que recoge la Historia como consecuencia de derrames de sustancias líquidas peligrosas, escapes de estas mismas sustancias en forma de gases o vapores, explosiones de sustancias químicas inflamables e incendios.

Por esta razón, en los últimos años se le ha otorgado gran importancia, a nivel mundial, al estudio de los riesgos industriales. En Cuba, particularmente, la prevención de desastres de cualquier tipo siempre ha sido una preocupación permanente del Estado revolucionario. Sin embargo, los sistemas de vigilancia de desastres han mostrado, a partir del año 1990, un deterioro que se ha manifestado de forma más evidente en la red de monitoreo de la calidad del aire a escala local, la que a pesar de ser insuficiente en años anteriores, hoy día prácticamente ha dejado de existir, lo que ha propiciado el desconocimiento en buena medida de la magnitud en que se ha afectado la atmósfera, y los efectos de esta contaminación sobre la salud humana, la flora, la fauna, los suelos, los ríos, lagos, la infraestructura constructiva y las obras de arte. (López, 2010)

Según Perera 2006, para la provincia de Matanzas, la vigilancia de la atmósfera se desarrolla desde hace más de 35 años, por los grupos de Pronóstico y Clima del Centro Provincial de Meteorología y sus redes de estaciones (pertenecientes a la Delegación Territorial de CITMA, Matanzas), los cuales ejecutan los programas de vigilancia a escalas local y regional, tanto meteorológica como climática, además del monitorio de la calidad

del aire, todo esto basado en el programa establecido por el Sistema de Vigilancia de la Atmósfera (VGA).

Por otra parte el Centro Provincial de Higiene y Epidemiología (CPAE), de Matanzas, tiene a su cargo la red de monitoreo de la calidad del aire en los asentamientos urbanos (RED-AIRE), según lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS)

Sin embargo, para la zona industrial de la ciudad de Matanzas estos programas se han limitado al monitoreo y al estudio del fenómeno como tal y no se han enfocado a la predicción de la afectación que pudieran originar posibles accidentes químicos en la propia industria y sobre las zonas aledañas a las mismas.

1. Concepto de Medio Ambiente

El medio ambiente, puede ser entendido como la esfera de las relaciones entre el hombre y la Naturaleza, en el curso del desarrollo del proceso productivo: el medio global, el entorno natural; los objetos, artefactos de la civilización, y el conjunto de todos los fenómenos sociales y culturales que transforman a los individuos y grupos humanos (N. Sosa, 1995). De esta forma, el medio ambiente estaría integrado por el conjunto de tres aspectos interrelacionados entre sí: en primer lugar, el resultado material de la acción humana, llamada por los clásicos del marxismo la segunda Naturaleza, o sea la Naturaleza transformada por el trabajo social; en segundo lugar, los flujos y relaciones que interconectan los objetos creados por la acción humana; y en tercer lugar, el medio ambiente no puede dejar de incluir al hombre, pero un hombre cualificado por sus relaciones sociales, su cultura, sus ideas, sus mitos, símbolos, utopías y conflictos (R. Lobato, 1993; Mateo, 2000).

Ambiente de trabajo: Entorno laboral. Concepto: Es todo lo que rodea al trabajador.

Contaminación Ambiental

Presencia en el medio ambiente de una o más sustancias o cualquier combinación de estas, así como toda forma de energía, como calor, radiactividad, ruidos y vibraciones que al actuar sobre el aire, agua o suelo, molesten o perjudiquen la vida, la salud o el bienestar humano o de la flora o fauna y degradan la calidad del medio ambiente.

Contaminación atmosférica

Presencia de uno o más contaminantes en la atmósfera exterior, en cantidades y duración tal que pueden ser (o tienden a ser) nocivos para la vida del hombre, plantas o animales o para la propiedad (materiales) o que pueden interferir con el uso y disfrute de la vida o propiedad o con la realización del trabajo.

Contaminantes atmosféricos y del ambiente de trabajo. Cualquiera de los gases, vapores y polvos presentes en la atmósfera en proporción superior a la considerada como normal.

Contaminantes atmosféricos

I. Dentro de estos contaminantes atmosféricos se encuentran:

Productos de origen mineral:

Masas de arena fina de los desiertos y arenales.

Nubes de cenizas de lava pulverizada.

Cenizas de lava de erupciones volcánicas recientes.

Brumas y nieblas de los mares, que aportan diversos núcleos de condensación por aglomeración de cristales $MgCl_2$, $NaCl$, KBr , NaI , KI y otros.

Polvos de origen extraterrestre provenientes de los meteoritos, que con gran profusión entran en la atmósfera.

Sustancias radiactivas causada por las explosiones que se realizan con diversos fines, pacíficos o militares, en diferentes lugares de la tierra.

Productos biológicos de origen animal y vegetal.

Incluye la totalidad de los productos de contaminación atmosférica, dentro de los cuales pueden señalarse:

- Nubes de polvo resultantes de incendios de bosques y praderas.
- Las nubes de polen de diferentes árboles.
- Las esporas de hongos.
- Otros productos de la fermentación y putrefacción de la materia orgánica de origen vegetal y animal.
- La contaminación de aire espirado.

A contaminación de origen microbiano condicionada por factores climáticos (temperatura y humedad).

Secreciones de animales e insectos.

Productos de la vida social.

El hombre contamina la atmósfera y el medio ambiente en general con gases que provienen de:

- Alcantarillados.
- Abonos.

- Cultivos de suelos.
- Limpiezas.
- Cocinas.
- Tabacos y cigarros.
- Otros muchos más.

2. Contaminantes del ambiente de trabajo:

En la industria y otros ambientes de trabajo (oficinas, almacenes y otros) el ambiente interior puede contaminarse por:

- a. Procedimientos tecnológicos tales como:
 - Calor en los talleres de fundición de acero y forja.
 - Vapores de sustancias químicas volátiles.
 - Humos metálicos (soldadura).
 - Polvos, trituración de materiales, esmerilados.
- b. Procesos vitales humanos: emisión de CALOR, CO₂, transpiración, excreción, etc.
- c. Condiciones climáticas o atmosféricas que se generan en:
 - Refinerías.
 - Termoeléctricas.
 - Altos hornos, etc.
 - Absorción y radiaciones térmicas de paredes, techos y pisos.
 - Acción de los rayos solares.
 - Y otros elementos del clima.

3. Clasificación de las sustancias peligrosas.

Sustancias peligrosas del ambiente de trabajo:

En la industria y otros ambientes de trabajo (oficinas, almacenes y otros) el ambiente interior puede contaminarse según Joaquín, 1999 por:

- a. Procedimientos tecnológicos tales como:
 - Calor en los talleres de fundición de acero y forja.
 - Vapores de sustancias químicas volátiles.
 - Humos metálicos (soldadura).
 - Polvos, trituración de materiales, esmerilados.
- b. Procesos vitales humanos: emisión de CALOR, CO₂, transpiración, excreción, etc.
- c. Condiciones climáticas o atmosféricas que se generan en:
 - Refinerías.
 - Termoeléctricas.
 - Altos hornos, etc.
 - Absorción y radiaciones térmicas de paredes, techos y pisos.
 - Acción de los rayos solares. Y otros elementos del clima

4. Efectos que causan las sustancias tóxicas en el organismo humano:

Efecto Agudo Es el efecto de corta duración, que se manifiesta en segundos, minutos u horas y está relacionado fundamentalmente con los accidentes como derrames y escapes de las sustancias tóxicas. Ejemplo el accidente del amoníaco (NH₃) ocurrido el 4 de mayo de 1990 en la zona de la Playa, Ciudad de Matanzas. (Joaquín, 1999).

Efecto Crónico: Es el efecto de larga duración que se manifiesta en días, meses o años, y está relacionado con las enfermedades profesionales, Ejemplo Saturnismo (intoxicación por Plomo y sus compuestos) y Sulfocarbonismo (intoxicación crónica por CS₂, bisulfuro de carbono).

Estos dos efectos están relacionados con el tiempo de exposición de las personas a la acción de las sustancias tóxicas.

Los otros dos efectos que se estudian son:

Local y Sistémico.

Efecto local: Es aquel que ejerce la sustancia tóxica en un área o zona del cuerpo. (Joaquín, 1999).

Absorción: Se plantea que una sustancia ha sido absorbida cuando ésta ha entrado en el torrente sanguíneo y consecuentemente puede ser conducida a todas partes del cuerpo. La

absorción requiere que la sustancia pase a través de la piel, las membranas mucosas o los sacos de aire (alvéolos) de los pulmones. Esto puede ser producido también por una inyección, intramuscular, intravenosa o subcutánea, pero no tiene importancia en Toxicología Industrial.

Efecto sistémico: Es aquel que ejerce la sustancia tóxica cuando es absorbida a través del torrente sanguíneo. (Joaquín, 1999).

¿Cuáles son las vías de penetración de las sustancias tóxicas al organismo humano?

- Piel (vía cutánea y membranas mucosas).
- Respiratoria (por inhalación).
- Aparato digestivo (por ingestión).

Las dos primeras son más frecuentes en el ambiente laboral producto de la contaminación.

Grado de toxicidad de las sustancias.

El grado de toxicidad viene definido en el texto sobre Toxicología (Irving, 2003)

La clasificación que aborda Irving es la siguiente:

Toxicidad desconocida (U): Esta designación se le otorga a las sustancias que entran en una de las siguientes categorías:

- La información no puede ser encontrada en la literatura y ninguna es conocida por los autores.
- Información limitada, basada en experimentos con animales, que está disponible pero en opinión de los autores esta información no puede ser aplicada a las exposiciones de los seres humanos. En algunos casos, esta información es mencionada y se conoce que se han realizado algunos trabajos experimentales.
- Existen datos de toxicidad publicados pero los autores opinan que son de cuestionable validez.

No tóxicas (0): Esta designación se le da a las sustancias las cuales se clasifican en una de las siguientes categorías:

- Sustancias que no causan daño bajo cualquier condición de uso.
- Sustancias las cuales producen efectos tóxicos en los humanos solamente bajo condiciones inusuales o por una sobredosis.

Ligeramente tóxicas o Toxicidad Ligera: Producen daños ligeros en el cuerpo humano, los cuales son reversibles y pueden desaparecer cuando termina la exposición o con un tratamiento médico. (Irving, 2003)

Moderadamente tóxicas o Toxicidad Moderada: Estas sustancias pueden producir tanto cambios reversibles como irreversibles en el cuerpo humano. Estos cambios no son tan severos para producir un impedimento físico permanente. (Irving, 2003)

Severamente tóxicas o Toxicidad severa: Estas sustancias causan daños lo suficientemente severos como para producir impedimentos físicos, desfiguraciones o causar la muerte, en dependencia del tipo de efecto que se presente, si es agudo, crónico, local o sistémico, también depende de la vía de penetración al organismo humano, es decir, a través de la piel, por inhalación o por ingestión. (Irving, 2003)

La Norma Cubana 19-01-02, 1985 Sustancias nocivas clasifica el grado de toxicidad de las sustancias de la siguiente forma:

1. Sumamente tóxicas. Ejemplo los plaguicidas.
2. Muy tóxicas. Amoníaco (NH₃).
3. Moderadamente tóxicas.
4. Ligeramente tóxicas.

5. Definiciones del concepto Riesgo.

La concepción del riesgo ha estado presente siempre en la sociedad y es una abstracción de origen completamente humano, que se asocia con la idea de prevenir sin certeza. La definición convencional del riesgo corresponde al producto del daño causado por la probabilidad de que tal daño se produzca. (Acosta, 2008; López, 2010; Acosta, 2012).

Riesgo = Daño x Probabilidad (1)

Son muchos los tipos de daños que una sustancia química peligrosa o un proceso puede ocasionar, y en los que puede presentarse dicho daño, por lo que la evaluación de la probabilidad también exige un conocimiento preciso de los mecanismos y medios por los que puede ocurrir, (Acosta, 2008; López, 2010).

También se define según Correa (2004); Morales (2004); Hernández (2009) y López (2010), como:

Riesgo = Frecuencia x Magnitud de sus consecuencias (2)

Los riesgos de forma general se pueden clasificar según Casal *et al.* (2001) de la siguiente forma:

- Riesgos convencionales: relacionados con la actividad y el equipo existente en cualquier sector (electrocución, caídas).

- Riesgos específicos: asociados a la utilización o manipulación de productos que, por su naturaleza, pueden ocasionar daños (productos tóxicos, radioactivos).
- Riesgos mayores: relacionados con accidentes y situaciones excepcionales. Sus consecuencias pueden presentar una especial gravedad ya que la rápida expulsión de productos peligrosos o de energía podría afectar a áreas considerables (escape de gases, explosiones).

La autora de esta tesis coincide con los autores Acosta, (2008) y López, (2010) de que el riesgo es igual a la frecuencia con la que se puede producir un accidente por magnitud de sus consecuencias.

6. Definición de peligro, accidente, emergencia, desastre y su nomenclatura.

El riesgo industrial está asociado a la explotación sistemática de las fuerzas y los fenómenos del mundo físico, cuyas leyes son bien conocidas y cuyos efectos se pueden predecir con notoria precisión. Es cierto que la precisión absoluta es inalcanzable, pues el comportamiento de los materiales ante solicitudes exigentes, o las reacciones de los seres humanos que manejan máquinas o controlan procesos, no puede garantizarse con total fiabilidad. Por tanto, las averías de equipos y los fallos humanos son causa fundamental de contenido aleatorio que también afecta a las actividades industriales. (Zagal, 1996).

Otros autores como Rodríguez, T 2006; Hernández, 2009; Acosta, 2008; Montiel y Planas, 2001; López, 2010 están de acuerdo con lo expuesto por (Zagal, 1996).

Según Smith 1996 y Acosta, 2012 los peligros, riesgos y desastres operan en diferentes escalas y conforme a la severidad se les pueden reconocer las siguientes amenazas:

- Peligro para las personas (muerte, lesiones, enfermedad, stress).
- Peligro para los bienes (daños a la propiedad, pérdida económica).
- Peligro para el ambiente (pérdida de la flora y fauna, contaminación).

Es interesante establecer aquí la diferencia entre riesgo y peligro. Puede definirse el peligro como aquello que puede producir un accidente o un daño. El riesgo, sin embargo, estaría asociado a la probabilidad de que un peligro se convierta realmente en un accidente con unas consecuencias determinadas. (Muñoz, 1992).

Hay responsabilidades inherentes a la causa de un daño, y que por ello se recurre al aseguramiento (mediante pólizas comerciales), para tratar al menos de remediar los perjuicios económicos del daño causado, o las responsabilidades civiles ajenas.

Como complemento conviene listar un glosario de términos que se utilizan con acepciones muy específicas en el ámbito de la seguridad industrial.

Daño: Perjuicio causado en las personas, propiedades o medio ambiente, incluyendo tanto los de tipo biológico, con su repercusión económica correspondiente, y los meramente económicos. (Zagal, 1996).

Otros autores como PNUMA/IPSC, 1999; Rodríguez, 2006; Hernández, 2009 y López, 2010 están de acuerdo con la definición de Daño que propone Zagal.

Peligro: Se define según Casal *et al.* 2001, Galán 2002 como el riesgo o contingencia inminente de que suceda algún mal, el lugar, paso, obstáculo o situación en que aumenta la inminencia del daño. Se considera que es una propiedad intrínseca de la sustancia química para causar un efecto adverso.

Probabilidad de suceso: Es la frecuencia con la que se presenta, o se espera que se presente, un determinado suceso accidental, que da origen a una cadena de consecuencias.

Accidente: De forma general se trata como una situación no habitual en el oficio o instalación que se considera. (PNUMA/IPSC) (Programa de las naciones Unidas para el Medio ambiente, 1999).

Accidente Químico: Se produce como resultado de una avería y que crea una contaminación química del medio ambiente circundante, que produce la afectación de los trabajadores y la población del área e incluso la muerte de algunos de ellos, siempre que no exceda una cantidad a partir de la cual se considera un desastre. Por lo general produce daños materiales de consideración. Son posibles acontecimientos no deseados. Situación fortuita e incontrolable que ocurre en cualquier momento. (Zagal, 1996 y López, 2010).

Existen diversas categorías de accidentes:

Categoría 1: Sólo dañan materiales en la instalación.

Categoría 2: Se prevén posibles víctimas y daños materiales, el efecto exterior es leve.

Categoría 3: Hay víctimas, daños materiales y afectaciones del ambiente laboral. Se afectan zonas externas.

Los accidentes de gran magnitud que pueden tener lugar en una industria están casi siempre asociados a la pérdida de contención de una sustancia tóxica o inflamable, generalmente un fluido. En función del estado de la sustancia y de sus características, puede producirse un incendio, una nube tóxica o inflamable. (López, 2010).

Desastre: Es el acontecimiento de un infortunio que destruye las estructuras básicas y el funcionamiento normal de una sociedad o comunidad. Un acontecimiento o serie de sucesos que causen amplias pérdidas de vidas humanas, materiales y/o el entorno, que sobrepasan la capacidad de la sociedad afectada para dar abasto al utilizar sus propios recursos (PNUMA/IPSC, 1999; Rodríguez, 2006; Hernández, 2009; Acosta, 2008; Joaquín, 1999 y López, 2010).

Son alteraciones intensas en las personas, los bienes, los servicios y el medio ambiente causadas por un suceso natural o provocadas por la actividad humana, que sobrepasan la capacidad de respuesta de la comunidad afectada, por lo que requiere apoyo externo. (Gálvez, 2001)

El Decreto 919, (1989) define por desastre al daño grave o la alteración grave de las condiciones normales de vida en un área geográfica determinada, causado por fenómenos naturales y por efectos catastróficos de la acción del hombre en forma accidental, que requiera por ello de la especial atención de los organismos del estado y de otras entidades de carácter humanitario o de servicio social.

Los desastres pueden considerarse como una serie de etapas en una secuencia de tiempo y pueden ser naturales o tecnológicos.

- Desastres naturales: huracanes, terremotos, sequías, intensas lluvias etc.
- Desastres tecnológicos: químicos, biológicos, radiológicos.

El término de desastre puede ser expresado como catástrofe o emergencia química cuyos factores normales de vida (o ecosistemas) han sido interrumpidos y se requieren extraordinarias interacciones de emergencias para salvar la vida humana y/o el medio ambiente.

El concepto de emergencia se asocia a accidentes vinculados a las entidades que pueden conllevar a escapes de sustancias peligrosas, explosiones o incendios de grandes proporciones. Situación anormal generada con posibilidades de daños graves a las personas, instalaciones y al entorno, que provoca la necesidad de medidas especiales dentro y fuera del lugar donde se origina. (López, 2010).

En función de las necesidades de intervención derivadas de las características del accidente y de sus consecuencias ya producidas o previsibles, y de los medios de intervención disponibles, se establecen las siguientes situaciones de emergencia. (Vílchez *et al.* 2001):

Situación 0: Se controlan con medios disponibles, no supone peligro para las personas o el medio ambiente. El accidente se puede controlar con los medios que se poseen.

Situación 1: Se controlan con los medios disponibles, pero es necesario proteger el personal, bienes o el medio ambiente.

Situación 2: Se necesita ayuda para lograr la protección. Hay daños a las personas y daños materiales.

Situación 3: Referido al transporte de productos peligrosos por ejemplo el accidente que ocurrió en la zona de la playa el 4 de mayo de 1990 en la ciudad de Matanzas donde se produjo el descarrilamiento de cuatro vagones del tren de amoníaco que ocasiono el vuelco y la avería de la válvula de seguridad de uno de estos, produciéndose el escape de aproximadamente 4 toneladas de amoniaco en 15 minutos, la cual produjo la muerte de 6 personas 3 de ellas de forma inmediata y la hospitalización de 39 personas y la intoxicación

de 400 personas. No se dispone de medios de seguridad para la protección en el transporte. (Ceballos, 2003)

Evaluación de riesgos: Técnica para determinar los riesgos asociados a un determinado puesto de trabajo, al uso de algún producto o servicio industrial, o al funcionamiento de una instalación industrial. (Zagal, 1996; PNUMA/IPCS 1999; Rodríguez ,2006; Hernández, 2009).

Plan de prevención: Conjunto de medidas tomadas para evitar los riesgos identificados en la evaluación correspondiente, erradicando algunos de ellos por el propio diseño o funcionamiento del sistema en cuestión, y disminuyendo la probabilidad de otros tanto como sea razonablemente posible. (Zagal, 1996; PNUMA/IPCS 1999 y Rodríguez 2006).

Nivel de seguridad: Calificación que puede asociarse a las prestaciones de un producto, un servicio o una instalación, en función de las características de seguridad que se han incorporado por diversas actuaciones, tanto de inversión en equipos, como de formación entre otros. (Zagal, 1996 y PNUMA/IPCS 1999).

Acotación de daños: Técnica que intenta limitar la máxima consecuencia de un daño, mediante limitaciones en las cantidades de productos tóxicos o peligrosos que pueden estar afectados por un accidente. (Zagal, 1996; PNUMA/IPCS 1999).

Propagación de accidente: Secuencia accidental de sucesos en los cuales a partir de una causa, no siempre relevante ni de entidad suficiente, se llega a efectos que pueden ser muy graves.(Zagal, 1996 y PNUMA/IPCS 1999).

Mitigación de consecuencias: Conjunto de acciones tomadas preventivamente o adoptadas durante la emergencia, con las cuales se evita la propagación amplificada del accidente, acotándose los daños. (PNUMA/IPCS 1999 y Rodríguez 2006).

Planes de emergencia: Conjunto de disposiciones para poder reaccionar ante situaciones accidentales o imprevistas. Existen planes de emergencia interiores, que solo involucran a las instalaciones y al personal profesionalmente expuesto, y planes exteriores que afectan a la población circundante o al medio ambiente, y en los cuales ha de intervenir la autoridad pública y protección civil. (PNUMA/IPCS 1999 y Rodríguez 2006).

Protección civil: Servicio público, generalmente gubernativo, destinado a actuar en emergencias de variado tipo, incluidas las de origen industrial.

Contra medidas: Conjunto de acciones que se ponen en marcha en la ejecución de un plan de emergencia para conseguir la mitigación de las consecuencias del accidente. (PNUMA/IPCS 1999 y Rodríguez, 2006).

Recuperación de la instalación o del servicio: Suceso final en el cual el accidente y sus consecuencias han sido superados, y se puede restituir el servicio o, al menos, conducir este o la instalación a situación suficientemente segura, sin riesgo indebido para nadie. (PNUMA/IPCS, 1999 y Rodríguez, 2006).

Lecciones derivadas del accidente: Resultado de los análisis a efectuar a posteriori, y que deben ser materializados en nuevos proyectos de ingeniería de seguridad para la instalación en cuestión y similares. (PNUMA/IPCS, 1999 y Rodríguez, 2006).

La autora considera que un accidente es un suceso anómalo o anormal que genera un escape de sustancias tóxicas o inflamables y/o daños a la población y al medio ambiente.

7. Gestión de la prevención de los riesgos químicos.

Con el creciente uso de las sustancias peligrosas tanto a nivel industrial como doméstico se ha intensificado el peligro al que pueden estar sometidas las personas que laboran con estas sustancias, de ahí que se debe crear un plan de prevención en caso de riesgos químicos como el que se muestra a continuación:

La prevención del riesgo químico se realiza en cuatro etapas según PNUMA/IPCS, 1999.

1. Identificación del peligro. ¿Cuáles son las sustancias que interesa evaluar y cuáles sus efectos adversos?
2. Relación entre dosis (concentración)- respuesta (efecto). ¿Cuál es la relación entre la dosis y la gravedad o frecuencia del efecto (relaciones entre dosis – efecto y dosis respuesta respectivamente)?
3. Evaluación de la exposición. ¿Cuál es la intensidad y duración o frecuencia de la exposición de un agente?
4. Caracterización del riesgo. ¿Cómo se puede cuantificar el riesgo a partir de los datos anteriores?

En la actualidad no se dispone de información rigurosa sobre la morbilidad atribuible a las sustancias químicas. Esta información no se recoge de forma integrada y exhaustiva, entre otras razones por la dificultad de relacionar enfermedades o síntomas con la exposición a numerosos factores medioambientales y por la dificultad de cuantificar el efecto simultáneo de los estilos de vida (tabaco, alcohol, alimentación.). (Covello, 1993 y Merkhofer, 1993).

Con toda la información disponible se puede valorar de forma más objetiva el impacto sanitario del riesgo químico. Sin embargo, este enfoque basado exclusivamente en indicadores de mortalidad y/o morbilidad no es suficiente. Las autoridades sanitarias deben desarrollar, y sobre todo aplicar, otros enfoques para evaluar los riesgos para la salud. Actualmente el más apropiado es el conocido como evaluación del riesgo que de forma resumida según Casal *et al*, (2001) y se fundamenta en:

- Recogida y análisis de datos sobre peligrosidad y toxicidad de las sustancias químicas.
- Estimación de dosis - respuesta.

- Evaluación de la exposición
- Identificación de biomarcadores
- Caracterización del riesgo

Esta política sanitaria debería estar reflejada en una estrategia clara y pública de reducción del riesgo que pueda ser sometida a discusión, modificación y valoración por la sociedad. Cuando hay que tomar decisiones sobre el control (limitación o prohibición) de un agente químico sospechoso se recurre a las evidencias científicas. La epidemiología ambiental (ocupacional) además de evaluar la consistencia de las asociaciones observadas en los estudios epidemiológicos tiene que tener en cuenta otros aspectos relacionados con los hallazgos clínicos y toxicológicos, y lo que es muy importante: las consecuencias económicas y sociales que las medidas de control implican.

La autora considera que tratar de describir los riesgos por agentes químicos y las acciones preventivas frente a ellos, es una tarea complicada debido a que los productos químicos que se comercializan son muy numerosos y de muy variadas propiedades. Por otra parte, dada la generalización de la utilización de productos químicos y de procesos que generan contaminantes químicos encontrándose que prácticamente en cualquier actividad existen riesgos por agentes químicos, desde las tareas domésticas a la misma industria química. Por ello está de acuerdo con la metodología que ofrece Casal *et al*, 2001, para la caracterización de las sustancias tóxicas y el riesgo que pueden ocasionar las mismas a las personas.

8. La dispersión de sustancias químicas en la atmósfera.

Casal *et al*, (2001), plantea que el término dispersión es utilizado en la modelación de accidentes para describir la evolución de una nube de vapores tóxicos o inflamables en la atmósfera. La dispersión de una nube de gas sigue una difusión, o transporte de su masa, producida por el movimiento molecular del aire mientras se va diluyendo a medida que va disminuyendo su concentración, a causa de la entrada de nuevas moléculas de aire dentro de la nube. La dispersión incluye el desplazamiento de la masa en la dirección del viento y su expansión en sentido transversal al viento, tanto vertical como horizontal. En el caso de gases pesados, la dispersión se produce incluso en dirección contraria al viento.

Las distintas variables meteorológicas afectan en mayor o menor grado la dispersión atmosférica de contaminantes. Así pues, la velocidad y la dirección del viento, junto con la estabilidad atmosférica, condicionan especialmente la dispersión de nubes de gas; la humedad y la Temperatura tienen efectos menores, mientras que la inversión térmica influye en casos concretos. Todas las variables meteorológicas presentan una gran variabilidad estacional y diaria. Para posibilitar la modelización de la dispersión de manera representativa, se suelen tomar valores medios específicos del área de estudio. A continuación se describen las variables meteorológicas principales que afectan a la dispersión de nubes contaminantes.

Influencia del viento: Según Casal *et al*, (2001) el viento tiene un efecto de arrastre que provoca la dispersión de nubes por desplazamiento de la masa de gas. El viento influye también en la estabilidad atmosférica, que es el otro factor principal para determinar la dispersión de gases. La información sobre el viento de una determinada zona geográfica, se reúne en la denominada “rosa de los vientos”. La rosa de los vientos es una representación gráfica de la frecuencia de los vientos según su dirección y velocidad. Las direcciones se suelen dar en 8 o 16 sectores de 45” o 223” respectivamente, denominados según las direcciones cardinales. Estas direcciones indican de dónde procede el viento.

Los datos del viento se miden a una determinada altura. Estos datos, y especialmente la velocidad del viento, varían en función de dicha altura. En general, la velocidad del viento registrada por los servicios meteorológicos se refiere a una altura de 10 m, este es el valor que suele utilizarse en los modelos de dispersión.

Estabilidad atmosférica: La estabilidad atmosférica es una variable que se establece para caracterizar la capacidad que la atmósfera tiene para dispersar un contaminante; en realidad, lo que representa es el grado de turbulencia existente en un momento determinado. Se ha establecido una clasificación en categorías (denominadas a menudo “categorías de Pasquill”), tal como se muestran en la tabla 1, según Casal *et al*, (2001).

Tabla 1 Definición del tipo de estabilidad atmosférica.

Tipo de estabilidad	Definición
A	Muy inestable
B	Inestable
C	Ligeramente inestable
D	Neutro
E	Ligeramente estable
F	Estable
G	Muy estable

La temperatura y la humedad relativa: Según Casal *et al*, (2001) la temperatura y la humedad relativa son básicamente consecuencia de la estación del año. La humedad y la temperatura se utilizan para el cálculo de la velocidad de evaporación de un líquido. La humedad del aire sólo tiene efectos significativos sobre la dispersión de un contaminante si existe reactividad entre el producto y el vapor de agua contenido en la atmósfera.

La inversión térmica: La inversión térmica se caracteriza por un aumento anómalo de temperatura en las capas altas atmosféricas; es decir, a cierta altura (en general, alrededor de 100 m) la temperatura es superior a la de las capas de aire de cotas más bajas. Desde el punto de vista de la dispersión de gases, este es un efecto muy importante ya que impide la dispersión en altura y provoca su reflexión hacia las capas bajas atmosféricas (Casal *et al*, 2001).

La autora está de acuerdo con Casal *et al*, (2001), lo que plantea en cuanto al término dispersión y la relación entre las diferentes variables meteorológicas, para conocerlas mejor

se debe estudiar el clima y ver como cada una de ellas afecta en mayor o menor medida a la dispersión atmosférica de los contaminantes.

9. Formas en que se produce el escape.

La norma UNE 20.322_86 define las fuentes de escape como todo punto o lugar desde el cual se pueden escapar a la atmósfera gases, vapores o nieblas. Existen tres grados de las fuentes de escape:

- Grado continuo: Es aquella en la que el escape se produce de forma continua, o presumiblemente durante largos períodos, o cortos períodos pero que se producen frecuentemente. Ejemplos: La superficie de un líquido inflamable en un depósito abierto a la atmósfera o de techo fijo sin gas inerte, separadores aceite-agua, vientos libres a la atmósfera, etc.
- Grado primario: Es aquella en la que el escape se produce presumiblemente de forma periódica, u ocasionalmente durante el funcionamiento normal. Ejemplos: Sellos de bombas, compresores y válvulas donde se prevé fugas en condiciones normales, drenajes en recipientes que contienen líquidos inflamables, tomas de muestra de tanques, reactores de sustancias inflamables, etc.
- Grado secundario: Es aquella en la que no se prevén escapes en funcionamiento normal y si éstos se producen, es posible que ocurran infrecuentemente, o durante cortos períodos de tiempo. Ejemplos: Bridas, uniones, sellos y otros accesorios donde se esperan fugas en condiciones normales.
- Las formas en que se produce el escape según el software ALOHA son cuatro.
- Forma directa: Se emite directamente, es la que considera la emisión a través de una fuente puntual
- Forma charco: Se emite produciendo un charco en la superficie del suelo.
- Tanque: Se emite a través de un tanque por roturas de este o por una pitera.
- Tuberías de gases. Se emite a través de piteras u otras roturas en la tubería de gases.

10. Modelos de dispersión para la predicción del comportamiento de contaminantes en la atmósfera.

Los modelos de dispersión son modelos matemáticos (conjuntos de ecuaciones) que permiten prever, dadas unas condiciones iniciales (básicamente el escenario accidental y las condiciones meteorológicas) y según las características físicas y químicas del producto, la evolución de una nube contaminante en función de la posición y del tiempo, según Casal *et al.*, (2001) existen dos modelos para ver cómo es la dispersión:

Modelo gaussiano para gases neutros.

Se utiliza para describir la dispersión de nubes de gases con una densidad similar a la del aire. Este modelo se basa en las siguientes hipótesis, simplificadoras:

- Origen puntual del escape.
- Velocidad de salida del producto inferior a 20,40 m/s. Velocidades mayores condicionan el movimiento de la nube.
- Falta de efectos gravitatorios sobre el producto.
- Falta de reactividad del producto con el aire.
- Condiciones meteorológicas constantes en toda el área afectada por el escape.
- Existencia de viento (velocidad >1 m/s).
- Características uniformes del terreno (rugosidad) en toda el área afectada.
- Ausencia de obstáculos (montañas, etc.) y terreno sin pendiente.

Los modelos suponen que la nube se extiende transportada por el viento y se diluye según el modelo de la campana de Gauss en función de la distancia hasta el punto de escape (emisión instantánea) o hasta el eje de la nube (emisión continua). (Manual del ALOHA, 2007 y Casal *et al*, 2001).

Modelo para gases pesados.

Se utiliza para los gases más densos que el aire, cuando se descarga un gas más pesado que el aire lo primero que hace es hundirse, conforme la nube de gas se desplaza con el viento, la gravedad lo obliga a extenderse y esto puede hacer que cierta parte del vapor se desplace contra el viento desde su punto de descarga. Conforme va moviéndose con el viento, mientras la nube se diluye más y su densidad se acerca a la del aire. El software ALOHA utiliza para modelar estos gases, el modelo de DEGADIS con algunas restricciones, lo cual lo hace más rápido y sencillo de usar. (Manual del ALOHA, 2009 y Casal, *et al* 2001).

11. Software utilizados para estimar áreas de atmósferas peligrosas

Existen varios software utilizados para estimar áreas de atmosferas peligrosas como son los que se describen a continuación:

Software SCREEN

Según EPA, 2004, el modelo de pluma Gaussiana SCREEN fue diseñado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) e incorporado a un programa de evaluación de fuentes puntuales en tres fases, en las que SCREEN puede utilizarse en la primera y segunda, ya que sus requisitos de información son mínimos y demanda poco tiempo de cómputo. La primera fase de la evaluación consiste en el diagnóstico de la(s) fuente(s).

En la primera fase según Herrera y Tello, (2007) en esta fase el modelo proporciona un diagnóstico básico, presentando escenarios con diferentes condiciones meteorológicas en las que la fuente puede impactar con mayor intensidad. Para tal efecto, SCREEN examina todo el rango de clases de estabilidad atmosférica y velocidad del viento para identificar el peor caso de condiciones meteorológicas y consecuentemente las máximas concentraciones a nivel del piso bajo estas condiciones.

En la segunda fase según Herrera y Tello, (2007) el diagnóstico se realiza con información meteorológica correspondiente a la zona de estudio y finalmente, en la tercera fase se realiza un análisis más fino del escenario. Cuando los resultados de la segunda fase indican que existe un problema en la calidad del aire, se recurre a un modelo más complejo que pueda considerar información con características más precisas de la zona de estudio.

La información básica demandada por el modelo SCREEN son los datos sobre emisiones de la fuente (g/s), la altura de la chimenea (m), el diámetro interior de la chimenea (m), la velocidad de salida del gas de la chimenea (m/s), la temperatura del gas de la chimenea (K), la temperatura ambiente (K) y la altura del receptor sobre el suelo (m).

Software CALMET y CALPUFF

El sistema de modelado CALMET y CALPUFF (EarhTEch, Inc., 2000), según Fernández, 2003 fue desarrollado por Earth Tech (Concord, MA) para simular emisiones continuas de paquetes de contaminantes usando los campos de vientos particulares de una región específica. A través del modelo CALMET, se calculan las estructuras de viento del área de estudio y CALPUFF calcula la dispersión de contaminantes en los sitios receptores, tomando en cuenta campos de viento tridimensionales complejos, particularmente importante para las características de las termoeléctricas que se ubican en las áreas costeras. Este sistema, es capaz de calcular las concentraciones de los contaminantes, distribuidos en el dominio de estudio, a diferentes horas.

Además, tiene la peculiaridad de incluir un modelo simple de transformación química que permite estudiar y calcular algunas especies secundarias como los sulfatos (SO_4) y los nitratos (NO_3), que han tomado mucha relevancia por sus efectos potenciales sobre la salud humana (Finlayson-Pitts y Pitts, 2000).

El modelo CALMET tiene la capacidad de asimilar los campos meteorológicos de MM5 y de ajustarlos a la malla más fina una interpolación sofisticada. Este campo de vientos es mejorado con las consideraciones de los efectos del terreno, ajustando las observaciones de superficie y los datos de los perfiles verticales con valores ponderados que el usuario asigna. Además de reproducir los campos de viento de la región, CALMET cuenta con un módulo de micrometeorología que describe las características de capa de mezclado, campos tridimensionales de temperatura y parámetros que utiliza CALPUFF en sus rutinas de cálculo de la dispersión.

Software DEGADIS

El modelo DEGADIS (Dense Gas Dispersion Model) según Spicer and Havens (2002), fue originalmente desarrollado para los Guardacostas de USA y el Instituto De Investigación

Gas primordialmente para la simulación de la dispersión de gases criogénicos inflamables. La implementación de DEGADIS en una computadora personal se patrocinó por el Instituto De Investigación Gas y el Instituto Americano Del Petróleo.

La información básica concerniendo el auge teórico de DEGADIS v2.1, su aplicabilidad, y su implementación general pueden ser obtenidas de "Guide de User para el" Havens "DEGADIS 2.1 Dense Gas Dispersion Model," del Gato Macho del Spicente y Jerry, EPA-450/4-89-019, noviembre de 1989. Este documento no está disponible a través del Servicio De Información Especializado Nacional, 5285 Port Royal Rd, Springfield, Virginia 22161, Order. El PB90-213893. La documentación relacionada con el uso de DEGADIS en una PC está disponible del Instituto De Investigación Gas o el Instituto Americano Del Petróleo. Lo Gas De Investigación que el informe provee guía específica licuó dispersión natural de vapor del gas (LNG).

Software DISPER 5.2

Según Ingeniería de software: DISPER 5.2, 2012 es Ideal para estudios de impacto ambiental, auditorías medioambientales y para la gestión ambiental en general ya que permite evaluar los efectos posibles de una gran cantidad de fuentes de contaminación atmosférica como son: chimeneas, carreteras y vías de circulación, líneas férreas, vertederos al aire libre, incendios forestales, movimientos de tierra por obras, minas a cielo abierto, aplicaciones de pesticidas en cultivos. Evalúa de una manera rápida y sencilla la dispersión de cualquier contaminantes atmosféricos en el aire de menos de 10 micras de diámetro: NOS, CO₂, NO₂, sulfatos, metales pesados, compuestos inorgánicos, clorofluorocarbonos, contaminantes secundarios, compuestos inorgánicos, óxidos, anhídridos, metales contaminantes, ozono, óxido nitroso, benceno, alcanos, compuestos orgánicos, sustancias organolépticas, anhídrido carbónico, amoníaco, bióxido de carbono, dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarburos, pesticidas, plomo, arsénico, clorofluorocarbonados, plaguicidas, compuestos orgánicos volátiles, fotoquímicos, lluvia ácida, esmog, etc.

Para fuentes contaminantes ya existentes, permite obtener mapas de las concentraciones de contaminantes que pueden ser complementarios de las medidas reales de estaciones que toman datos en un único punto del terreno.

Permite construir de una manera gráfica el escenario sobre el que se va a producir la simulación actuando interactivamente con el usuario de tal manera que se puedan diseñar carreteras, chimeneas, atendiendo a sus efectos medioambientales.

Permite realizar estudios de riesgo en industrias contaminantes ya que puede evaluar la contaminación bajo condiciones teóricas extremas (excesiva emisión, vientos fijos). Este software fue realizado íntegramente en castellano.

Software ALOHA

El software ALOHA de sus siglas Areal Locations of Hazardous Atmosphere se la EPA, EEUU es un programa de computación que permite predecir las cantidades de vapores químicos que pueden escapar a la atmósfera a través de tuberías, tanques, por evaporación,

explosiones, etc. El mismo plotea las áreas de alcance para emisiones de corta duración de compuestos peligrosos claves: tóxicos, inflamables, radiación térmica y sobrepresión.

Modela tres categorías peligrosas fundamentales:

- Dispersión de gas tóxica
- Fuegos
- Explosiones

Cuando se emite un compuesto químico a la atmósfera modela

- Chorros de fuego.
- Piscinas de fuego.
- Blevés: Explosión de vapor por la expansión de un líquido en ebullición.
- Áreas inflamables.
- Explosión de una nube de vapor.

De los software encontrados en la bibliografía el más adecuado para usar es el software ALOHA ya que está avalado por el CITMA Nacional para obtener la dispersión de contaminantes en la atmósfera y poder determinar su área de alcance, además la concentración máxima admisible concuerda con la norma cubana.

12. Estimación del comportamiento de la dispersión de los diferentes contaminantes a través del software ALOHA.

Para estimar el comportamiento de los diferentes contaminantes se aplicó el software para cada uno de los tóxicos para cada mes del año y las 16 direcciones del viento posibles, obteniendo como resultado un gráfico como el que se muestra en la figura 1. La información brindada al software en cuanto a la magnitud del escape, capacidad del recipiente y otros detalles relacionados con la fuente de emisión fueron tomadas del Anexo 3 para cada una de las sustancias analizadas. Las predicciones se hicieron para los diferentes tipos de escenarios: Nube tóxica de vapor, Área inflamable de una nube de vapor, Área de una nube de vapor inflamable y Área de una explosión.

En el caso específico que se muestra se corresponde con la siguiente información:

Escenario1: Nube tóxica de vapor.

- Sustancia tóxica: amoníaco.
- Mes analizado: Enero.

- Dirección del viento: Este.
- Velocidad del viento: 15.4 km/h.

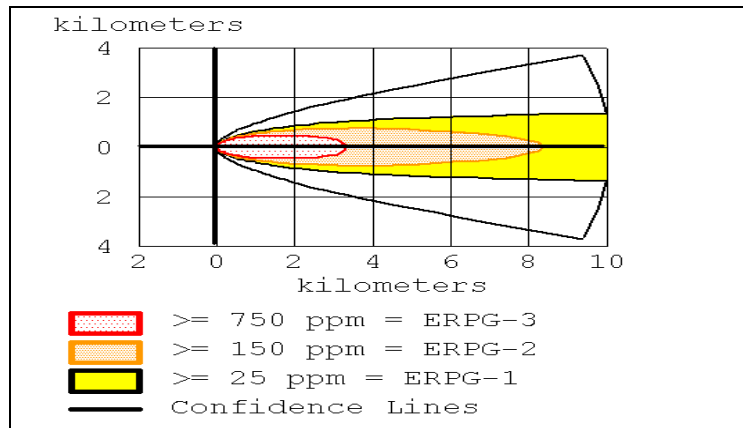


Figura 1. Comportamiento de la dispersión de la nube tóxica para el amoníaco.

El gráfico mostrado ofrece por el eje de las X la distancia que alcanza la dispersión de la nube tóxica y por el eje de las Y el ancho de la misma. Además aparecen tres zonas delimitadas por diferentes colores, donde cada uno de ellos representa la concentración del tóxico que tiene la zona de acuerdo a los niveles de concentración que establece la EPA (Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos). La línea negra representa la zona de posible afectación y que debe ser de cuidado por los daños que en la misma se pueda producir.

La zona roja posee una concentración mayor o igual a 750 ppm a la que le corresponde un ERPG-3, que equivale a la concentración máxima dispersada bajo la cual es posible creer que los individuos que estén expuestos durante 1 hora sufrirán efectos sobre la salud y puede correr peligro su vida.

La zona naranja posee una concentración mayor o igual a 150 ppm que equivale a un ERPG-2, que se define como la concentración máxima dispersada bajo la cual es posible creer que los individuos que estén expuestos durante 1 hora pueden experimentar o desarrollar daños irreversibles u otros daños serios para la salud o síntomas que le impiden la habilidad individual para realizar una acción de protección.

La zona amarilla posee una concentración mayor o igual a 25 ppm a la que le corresponde un ERPG-1, y que equivale a la concentración máxima dispersada bajo la cual es posible creer que los individuos que estén expuestos durante 1 hora pueden sufrir efectos moderados sobre su salud y percibir claramente un olor desagradable. Debe aclararse que este nivel de toxicidad se corresponde con el establecido por la Norma Cubana NC 19 01 03, (1983) como concentración máxima permisible.

Irving, (2003) establece una clasificación más detallada de los efectos tóxicos del amoníaco y de la que se ofrece un resumen en la tabla 2.

Tabla 2. Concentraciones a las que el amoníaco produce efectos adversos para el hombre.

Efecto en la salud	Concentración en el aire	
	mg/m ³	ppm
Umbral odorífero (detección)	3.5	5
Umbral odorífero (reconocimiento)	35	50
Irritación de la garganta	280	400
Tos	1200	1700
Amenaza para la vida	1700	2400
Mortalidad alta	> 3500	> 5000

Fuente: tomado de Irving, (2003)

Como se observa las concentraciones del software ALOHA según figura 1 no parecen coincidir con las que ofrece Irving, (2003) en la tabla 2, sin embargo las concentraciones que ofrece el software son para las condiciones de frontera y a medida que se acercan a la fuente éstas aumentan.

Otra de las propiedades que posee el software, que tiene una extraordinaria importancia a la hora de establecer los planes de contingencia para la población afectada ante un posible accidente químico, está en que es capaz de ofrecer los niveles del tóxico escapado en el interior de los locales de la zona afectada. La estimación se puede realizar para cualquier punto del territorio que afecta la nube tóxica, esta información se obtiene haciendo doble clic sobre cualquiera de las zonas que aparecen en la figura 1 (ya mostrada anteriormente) y aparecerá un gráfico como el que se ofrece a continuación. Ambos gráficos corresponden a la zona roja de la figura 1.

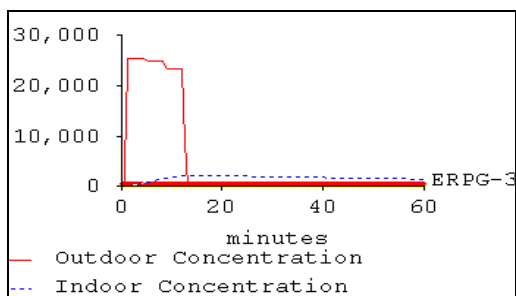


Figura 2a. Comportamiento de la contaminación en el interior de los locales a una distancia de la fuente de 0.46km

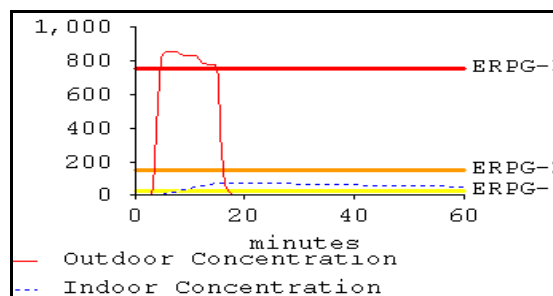


Figura 2b. Comportamiento de la contaminación en el interior de los locales a una distancia de la fuente de 2.97km.

Obsérvese en la figura 1a que la línea discontinua (azul) representa la concentración del tóxico en el interior de los locales y la continua (roja) en el exterior, además el término At

Point identifica exactamente la distancia a la que se hace la estimación en la dirección del viento.

Para el desarrollo de la investigación este punto (*At Point*) se estimó para las tres zonas que ofrece el ALOHA (roja, naranja y amarilla) y una distancia lo más próxima posible a la fuente de emisión o a las fronteras entre las zonas.

La figura 2a corresponde a un punto situado a 0.46 km de la fuente de emisión, en la zona roja, se escogió este punto debido a que abarca el área de mayor concentración de personas. Aquí puede observarse que transcurridos apenas cinco minutos de la emisión, en el interior de los locales se alcanza una concentración que supera el ERPG-3, lo que equivale a decir que la vida de las personas que se encuentren en estos locales corre peligro.

Obsérvese además (figura 2a) que en los primeros 15 minutos de ocurrida la emisión se alcanza un máximo en el nivel de concentración en el exterior, valor que supera las 25000 ppm, y que representa una letalidad prácticamente del 100% de las personas expuestas.

Sin embargo a una distancia de 2.97 km de la fuente de emisión (figura 2b), a esta distancia queda el barrio de José Luis Dubrock incluso puede llegar a las proximidades de los hospitales, a pesar de estar aun en la zona roja, la situación no es la misma, para este punto en el interior de los locales sólo se alcanza una concentración equivalente al ERPG-1. En el exterior las concentraciones a pesar de superar el nivel correspondiente al ERPG-3 no tiene la magnitud del primer caso, y de forma similar al caso de la figura 6a se alcanza en los primeros 20 minutos de la emisión el máximo valor de concentración. Es generalizable para el amoníaco que la situación más peligrosa se presenta durante los primeros 20 minutos de ocurrido el escape.

Tabla 3 Resumen de la dispersión de los diferentes contaminantes para el peor de los casos analizados durante el año para el escenario 1: Nube de gas tóxica.

Sustancia	Mes más agresivo	Máxima dispersión (m)	Dirección del viento en que se manifiesta
Amoníaco	Igual comportamiento para todos los meses	Más de 10000	Igual comportamiento para todas las direcciones
bisulfuro Carbono	Abril	Más de 10000	N,NNE,NE,ESE,SE,SSE, ENE
Diesel	Julio	275	WSW
Gas Licuado	Julio	712	WSW

Fuente: Elaboración propia.

El análisis hasta aquí descrito se realizó para cada uno de los meses del año, todas las direcciones del viento y las cuatro sustancias tóxicas objeto de estudio. En la tabla 3 se ofrece una generalización de la dispersión del escenario 1 para cada uno de los tóxicos

analizados en el momento del año en que se manifiestan las peores situaciones. El amoníaco constituye el contaminante de mayor alcance y con un comportamiento similar para cualquier dirección del viento o mes del año.

Es significativo señalar que los dos elementos que más se dispersan son: el amoníaco y el bisulfuro de carbono y que precisamente lo hacen en las direcciones más predominantes del viento en la zona objeto de estudio.

En la figura 1 se ofrece la dispersión alcanzada para el escenario 1, Nube tóxica de vapor, para el mes donde la nube alcanza mayores distancias (en metros). Estas curvas fueron construidas para la distancia donde la nube alcanza un nivel de toxicidad equivalente a la máxima permisible reportada por la Norma Cubana NC 19 01 03, (1983) que está en correspondencia con la que ofrece la EPA para su tercer nivel (ERPG 1 o TEEL 1, según sea el caso). Obsérvese que para el mes de enero, el amoníaco es quien alcanza la mayor distancia de la nube tóxica para cualquiera de las direcciones en que sopla el viento y que ésta en todo momento supera los 10 000 m, es importante aclarar que el software no es capaz de predecir el comportamiento de la dispersión del tóxico a mayores distancias que esta.

Conclusiones

Según la evaluación de atmósferas peligrosas el amoniaco es la sustancia que mayor distancia alcanza, llegando a superar los 10km.

Los modelos que se utilizan en la dispersión de contaminantes químicos en la atmósfera son: el Modelo Gaussiano y el Modelo de los Gases Pesados.

Según lo consultado en la bibliografía se pudo constatar que los parámetros que más influyen en la dispersión de los contaminantes en la atmósfera son: velocidad del viento, temperatura y estabilidad atmosférica.

De los software analizados en la literatura el más adecuado para evaluar escapes puntuales de sustancias como consecuencia de accidentes es el software ALOHA.

Bibliografía.

- Acosta, Gretel. (2008) Evaluación de riesgos en la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.
- Acosta, Geivis (2012). “Evaluación de Atmósferas Peligrosas en la Planta Energas S.A, Varadero”. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos.
- Badia, M. D. (2004). Manual de documentos de la Planta de Procesamiento de Crudo. Reglamentos tecnológicos., MINBAS, La Habana.
- Casal, et al. (2001), Análisis del Riesgo en Instalaciones Industriales, Alfa omega S.A., Bogotá (Colombia), ISBN: 958-682-287-7.
- Ceballos, C. L (2003). Preparación para la defensa, sustancias tóxicas su protección. Félix Varela. La Habana, Cuba.
- Colectivo de autores. (1999). Evaluación de riesgos químicos. PNUMA/IPCS. ONU.
- Commission, E. (1996). Technical Guidance Document on Risk Assessment for New Substances and Commission Regulation. European Commission, Luxemburgo.
- Correa, A. D (2004). Manual de Seguridad y Salud Ocupacional. Transportación segura de sustancias peligrosas., MINBAS, La Habana.
- Covello, V. & Merkhofer, M. 1993, Risk Assessment Methods. Approaches for Assessing Health and Environmental Risks. Plenum Prees, New York.
- Decreto 919. (1989). Definición de desastre. Artículo 315 de la Constitución Nacional. [consultado: 1 de febrero del 2012][on line]. Disponible en: <http://www.cali.gov.co/gobierno/publicaciones.php?id=734>
- Duffus, J.H, Worth, G.J. (1996).Fundamental Toxicology for Chemists. Royal Society of Chemistry, Londres.
- EPA-454/B-95, 2004. Guía del Usuario del Modelo SCREEN3 U.S. Disponible en:www.epa.gov/ttn/catc/dir2/scrn3ds.pdf
- Faustman, E. & Omenn, G. (1996). 'Risk Assessment', in Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons, McGraw-Hill, New York, pp. 75-88.
- Fernández, 2003. Evaluación del impacto de las emisiones de la termoeléctrica de Tuxpan en la calidad del aire de la región, usando un sistema de modelado de dispersión CALMET-CALPUFF. Disponible en: www.inecc.gob.mx/descargas/calair/termo_tuxpan.pdf

- Galán, (2002). Manual del sistema de prevención de riesgos laborales, Xixona.
- Gálvez, W. (2001). Desastres y situaciones de emergencias. UNMSM, Lima Perú. [consultado: 1 de febrero del 2012][on line]. Disponible en: www.reeme.Arizona.edu
- Hernández, L. (2009). Evaluación de los riesgos en el sistema de Calentamiento de Aire Regenerativo de la Central Termoeléctrica “Antonio Guiteras” de Matanzas. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.
- Herrera y Tello, 2007. Modelación de las emisiones atmosféricas de EAGON LAUTARO S.A. [consultado: 15 de agosto del 2013] [Disponible en]: www.conama9.org/conama9/download/files/CTs/2753_VTricio.pdf
- Ingeniería de software: DISPER 5.2, 2012. Ingeniería de software: DISPER 5.2. [consultado: 15 de agosto del 2013] Disponible en www.ingenieriadesoftware.rigo.blogspot.com/2012/08/disper-52.htm
- Irving, N. (2003). Dangerous properties of industrial materials.
- IUPAC. (1993) Glossary for chemists of terms used in toxicology.
- Joaquín. (1999). Ambiente y enfermedad., Científico - Técnico, La Habana.
- J. Montiel y H. Planas. (2001), Análisis del Riesgo en Instalaciones Industriales, Alfa omega S.A., Bogotá (Colombia).
- Klaassen, C.D. (1996). Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons.
- Lamas, A. (2010). Doctor en Higiene y Epidemiología .Matanzas. Cuba.
- Linares, O. G. (2001). Manual del sistema de prevención de riesgos laborales. Gestión y prevención de riesgos laborales en una industria horchatera. IX seminario de formación.
- Lima, Y. 2012. Determinación de áreas de peligro potencial que pueden originarse, por incendios y/o explosiones, en la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos.
- LOBATO, R.- Medio ambiente e metròpole; en: Geografía e Questao Ambiental; IBGE, Rio de Janeiro, 1993, pp. 25 – 30
- Manual de usuario del software ALOHA. (2007). Disponible en: www.fiqm.umcc.cu.
- Martínez, N. (2009). Análisis de los riesgos industriales en la Empresa Comercializadora de Combustibles Matanzas. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.

- Mateo, J. La ciencia y la tecnología en el debate ambiental; En: Filosofía y Sociedad, Tomo II; Editorial “Félix Varela”; La Habana, 2000, pp. 720 – 741
- Metodología para el análisis de las consecuencias, 2011. [consultado: 15 de agosto del 2013]. Disponible en: http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_conse/Metodos.htm
- Morales, Y. C (2004). Manual de procedimientos de Seguridad Industrial. Protección a las instalaciones., La Habana.
- Moya, B. (2010). Esp. Principal Meteorología. CITMA. Matanzas.
- Muñoz, B. (1992). La Metodología de la Seguridad Industrial, Ministerio de Ciencia y Tecnología.
- NC, 19.01.03-83. Sistema de normas de protección e higiene del trabajador, Aire de la zona del trabajo, Requisitos higiénico sanitarios.1980.
- Nguyen, M. (2011).Determinación de áreas de peligro potencial que pueden originarse, por incendios y/o explosiones, en la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas. Tesis en opción al título de ingeniero Químico
- Orozco, J. L (2007). Guía para la caracterización de las sustancias .Universidad de Matanzas.
- Perera, M. (2006).Especialista Medio Ambiente. CITMA. Matanzas.
- (Perry R.H, 1997).
- PNUMA/IPCS. (1999). Evaluación de riesgos químicos., Programa Nacional de las Naciones Unidas
- Rodríguez, (2006) Análisis de Riesgos Industriales en la Planta de Tratamiento Químico de Agua de la Central Termoeléctrica “Antonio Guiteras” de Matanzas. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.
- Rodríguez, D. G. (2004). Evaluación de riesgos industriales en la planta de ácido sulfúrico. Proyecto de curso, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.
- R.H., P. 1997, Perry's Chemical Engineers Handbook, McGraw-Hill, Inc., New York (USA).
- Rodríguez, T. (2006). El mantenimiento predictivo con enfoque de producción más limpia en agregados del generador de vapor de centrales termoeléctricas. Tesis doctoral. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.
- Smith, K. (1996). “Environmental Hazards. Assessing Risk and Reducing Disaster”. A volume in the Routledge Physical Environment Series. University of Cambridge. Printed in Great Britain [consultado: 1 de febrero del 2012] [on line].Disponible en: <http://www.cee-chile.org /estudios/ quin 01 .htm>

Soriano, B. Raúl (2010). Espec. Principal Meteorología. Aeropuerto Internacional. Juan Gualberto Gómez.

SOSA, N.M.-Perspectiva ética; Serie Monografías, UNED, Madrid, 1995

Spicer and Havens, 2002 The DEGADIS model - Environmental Software and Services GmbH. [consultado: 15 de agosto del 2013] Disponible en www.ess.co.at/HITERM/MODELS/degadis.html

Statgraphics Plus 5.1 (2001). Disponible en: www.fiqm.umcc.cu.

UNE 20.322_86. Clasificación de emplazamientos con riesgo de explosión debido a la presencia de gases, vapores y nieblas inflamables. [consultado: 15 de agosto del 2013]. Disponible en: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_370.pdf

Vílchez, J. et. al 2001 Análisis de riesgos ambientales y aplicación al diseño de instalaciones industriales.

Zagal, J. (1996). Memoria del simposio regional sobre preparativos para emergencias y desastres químicos. Disponible en: <http://www.cepis.ops.oms.org/tutorial/fulltex/evaluación.html>.2009