

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los accidentes en el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos son eventos que pueden considerarse poco frecuentes; sin embargo, para un efectivo diseño de medidas para incrementar la seguridad es fundamental disponer de información detallada, precisa y suficiente sobre éstos, las unidades de transporte, las características de carreteras y vías férreas, los volúmenes de tráfico, las consecuencias y otros aspectos relacionados, a partir de la cual se pueda realizar un análisis, comparar alternativas y vigilar el desempeño en términos cuantitativos.

Los registros o bases de datos sobre accidentes documentan las características particulares de cada uno de éstos; los registros de interés en el transporte de materiales y residuos peligrosos son aquellos que contienen información sobre accidentes en las cuales puede determinarse cuando el vehículo accidentado contenía algún material peligroso, así como identificar si sucedió una liberación de material debido a un tipo particular de accidente, los tipos de incidentes y sus consecuencias.

Para las carreteras y vías férreas de México, no se dispone de información suficiente sobre accidentes y volúmen de tráfico en el transporte de materiales y residuos peligrosos; sin embargo, con la información que ingresa a las delegaciones estatales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y de la Policía Federal Preventiva, puede elaborarse uno o más registros. De acuerdo al tratamiento estadístico de la información contenida en los registros se podrá obtener el número de accidentes, incidentes, resultados de incidentes y consecuencias; así como las respectivas frecuencias relativas de las anteriores y las correspondientes probabilidades condicionales dado que sucedió un accidente; por ejemplo: el número de accidentes en los cuales ocurre una liberación de material dividido entre el número total de accidentes, proporciona la frecuencia con que ocurre una liberación dado un accidente, a partir de la cual se obtiene la probabilidad condicional de un incidente dado un accidente  $P(I/A)$ .

Los registros sobre accidentes pueden vincularse a uno o más registros que contenga información sobre volúmenes de tráfico, materiales transportados, longitud del camino o vía férrea, ubicación, geometría y tipo de camino o vía férrea; como vínculo puede emplearse un identificador común, como es la referencia al kilometraje de los puntos o segmentos de la carretera o vía férrea; y de esta manera determinar las tasas de accidentes específica de la clase de camino o vía férrea considerada y las tasas de accidentes promedio.

Sin embargo, cuando se contemplan exclusivamente los registros de las carreteras o sus segmentos en donde han ocurrido accidentes, excluyendo aquellas para las cuales no se tiene información, implica una desviación en los valores que afectará la tasa de accidentes, cuando se pretende obtener tasas promedio de accidentes para una clase de camino.

Los registros sobre accidentes pueden utilizarse para identificar sitios (secciones o tramos de carretera) con alta incidencia de accidentes; además, definir de manera separada a las carreteras ofrece la oportunidad de distinguir las secciones o tramos de carretera que posean características similares en su potencial para provocar accidentes y observar las diferencias que persistan a pesar de las similitudes, por ejemplo cuando las secciones de carreteras tienen definidas sus características, se puede hacer una diferenciación con otras secciones en cuanto al número de intersecciones, accesos, rampas, etcétera, y como estos factores influyen o determinan un mayor número de accidentes, y no la clase de camino o las especificaciones de construcción.

Dentro del marco legal que regula el transporte de materiales peligrosos no existe una disposición que obligue al transportista o expedidor a elaborar y entregar a las autoridades correspondientes un reporte detallado sobre accidentes e incidentes. El artículo 42 del *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos* indica que en caso de un incidente con residuos peligrosos se deberá dar aviso inmediato y ratificado por escrito a la *Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales*; en este artículo se establece el contenido que deberá tener el aviso por escrito, para lo cual existe un formato publicado como *Manifiesto para casos de derrame de residuos peligrosos por accidente*. El uso de este formato se hace extensivo a los accidentes con materiales peligrosos; sin embargo el

contenido no es apropiado para la investigación de incidentes en el transporte terrestre. Una de las fuentes principales de información sobre accidentes e incidentes en transportación son los reportes elaborados por la Policía Federal Preventiva cuyo formato no incluye algunos aspectos sobre las condiciones del accidente. Por lo anterior, es recomendable establecer una disposición que obligue al reporte detallado de los accidentes e incidentes con materiales peligrosos, y elaborar un formato con aspectos no considerados actualmente como son: origen y destino del envío, nombre del producto transportado, número de las Naciones Unidas, clase de peligro, tipo de área (rural, urbana), resultado del accidente (fuga, incendio, explosión), entre otros. Asimismo, es posible establecer las condiciones para reportar accidentes e incidentes en operaciones de carga, descarga y almacenamiento temporal, de acuerdo a la cantidad liberada, pérdidas estimadas, existencia de lesionados (sin importar la cantidad su reporte), etcétera.

Las metodologías propuestas en el presente trabajo para la evaluación cuantitativa del riesgo establecen una estructura sistemática en la que no utilizan índices subjetivos e integran las principales componentes del riesgo.

La cuantificación del riesgo en el transporte, además de ayudar en la selección de alternativas para el manejo y a la toma de decisiones, puede utilizarse para una comunicación efectiva del riesgo al público.

El *Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos* en su artículo 118 fracción III establece que es responsabilidad del expedidor, autotransportista y destinatario, dentro de la esfera de sus responsabilidades, *el determinar la ruta de transporte que presente mejores condiciones de seguridad*. Con relación a lo anterior, la aplicación de las metodologías propuestas en este trabajo permiten una evaluación cuantitativa del riesgo a lo largo de la ruta de transporte, que a su vez es un recurso para seleccionar una ruta de transporte segura, entre las diferentes rutas posibles, de acuerdo al riesgo que presentan. Sin embargo, para la aplicación de dichas metodologías en el país es imprescindible determinar las tasas de accidentes adecuadas para los vehículos utilizados y, las frecuencias y probabilidades condicionales necesarias.

Asimismo, para la aplicación de las metodologías es necesario elaborar guías que contemplen opciones a la ausencia de información sobre las condiciones meteorológicas particulares en cada segmento de un camino (ruta) en la evaluación de las consecuencias, para lo anterior es posible considerar las condiciones correspondientes al peor caso y/o establecer escenarios alternativos para la evaluación del riesgo.

Las características propuestas para el escenario del peor caso es una combinación de condiciones que ocurren rara vez y que son poco probables que persistan largo tiempo; por lo cual en los escenarios alternativos se pueden considerar condiciones más probables y menos conservadoras. Además, se debe contemplar que las incertidumbres debidas al modelo de simulación empleado, pueden aumentar las distancias estimadas ya que las condiciones (estabilidad, velocidad del viento y rugosidad) no permanecerán constantes cuando existen grandes distancias de afectación. De esta manera el escenario del peor caso puede sobrestimar el valor de las distancias de afectación, por lo cual puede recomendarse el uso de las distancias obtenidas en los escenarios alternativos para la planeación, preparación y atención de emergencias.

Por último, lo considerado en las metodologías para la evaluación del riesgo en el transporte en carreteras, es aplicable con algunas modificaciones al transporte ferroviario, por lo cual también deberán obtenerse a partir de los registros sobre accidentes, las tasas de accidentes, frecuencias y probabilidades condicionales necesarias.

## BIBLIOGRAFÍA

Abkowitz Mark y Cheng Paul D.M. (1989). "Hazardous materials transport risk estimation under conditions of limited data availability". *Transportation Research Records* 1245.

American Institute of Chemical Engineers, AIChE (1989). "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis". AIChE. Center for Chemical Process Safety.

American Institute of Chemical Engineers, AIChE (1994). "Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosion, Flash fires and BLEVEs". AIChE. Center for Chemical Process Safety.

American Institute of Chemical Engineers, AIChE (1995) "Guidelines for Technical Planning for On-site Emergencies". AIChE. Center for Chemical Process Safety.

American Institute of Chemical Engineers, AIChE (1996). "Guidelines for Use of Vapor Cloud Dispersion Models". AIChE. Center for Chemical Process Safety.

Ashur Suleiman A., Baaj M. Hadi, Pijawka K. David y Sherman Derar S. (1997). "Environmental impact assessment of transporting hazardous waste generated by maquiladora industry in U.S.-México border region". *Transportation Research Records* 1602.

Aven Terje y Porn Kurt (1998). "Expressing and interpreting the results of quantitative risk analyses. Review and discussion". *Reliability Engineering and System Safety* No. 61, páginas 3-10.

Bakowits Mark, Alford Paula, Boghani Ashok, Cashwell Jon, Radwan Essan y Rothberg Paul (1991). "State and local issues in transportation of hazardous materials: toward a national strategy". *Transportation Research Records* 1313.

Batta Rajan y Chiu Samuel S. (1988). "Optimal obnoxious path on a network: transportation of hazardous materials". *Operations Research* Vol. 36 January-february 1988.

Bohnenblust Hans y Slovic Paul (1998). "Integrating technical analysis and public values in risk-based decision making". *Reliability Engineering and System Safety* No. 59, páginas 151-159.

Code of Federal Regulations (1996a). "CFR 49 part 1171.15. Immediate notice of certain hazardous materials incidents".

Code of Federal Regulations (1996b). "CFR 49 part 171.16. Detailed hazardous materials incident reports".

Consejo de Salubridad. "Ley Federal para el Control de Precursores Químicos, Productos Químicos Esenciales y Máquinas para Elaborar Cápsulas, Tabletas y/o Comprimidos". *Diario Oficial de la Federación* 26 de diciembre de 1997.

Environmental Protection Agency (EPA) "Offsite consequence analysis guidance". Abril de 1999.

Erkut Erhan y Verter Vedat (1995). "A framework for hazardous materials transport risk assessment". *Risk Analysis* Vol. 15 No. 5.

Frantzich Hakan (1998). "Risk analysis and fire safety engineering". *Fire Safety Journal* vol. 31, páginas 313-329.

Glickman Theodore S. (1991). "An expeditious risk assessment of highway transportation of flammable liquids in bulk". *Transportation Science* vol. 25 No. 2.

Harwood Douglas W., Viner John G y Russell Eugene R. (1989) "Characteristics of accident and incidents in highway transportation of hazardous materials". Transportation Research Records 1245.

Harwood Douglas W., Viner John G. y Russell Eugene R. (1990). "Truck accident rate model for hazardous materials routing". Transportation Research Records 1264.

Leeming D. G. y Saccamanno F. Frank (1994). "Use of quantified risk assessment in evaluating the risk of transporting chlorine by road and rail". Transportation research Records 1430 páginas 27-35.

Lupton K. y Bolsdon D. (1999). "An object- based approach to a road network definition for an accident database". Computers, Environment and Urban Systems vol 23, páginas 383-398.

Miaou Shaw-Pin, Hu Patricia S., Wright Tommy, Rathi Ajay K., y Davis Stacy C. (1992). "Relationship between truck accidents and highway geometric design. a poisson regression approach". Transportation Research Records 1376.

Neuhauser K. S., Kanipe F. L. y Weiner R. P. (2000). "RADTRANS Technical manual". Transportation Safety and Security Analysis Department, Sandia National Laboratories.

Office of Pipeline Safety (OPS). "Risk Management Program Standart, Draft". Septiembre 24 de 1996.

Rhyne William R. (1990). "Evaluating routing alternatives for transporting hazardous materials using simplified risk indicators and complete probabilistic risk analysis". Transportation Resarch Records 1264

Rowe William O. (1983). "Risk Assessment Processfor Hazardous Materials Transportation". Transportation Research Board. National Cooperative Highway Research Program, Synthesis of Highway Practice 103.

Saccamanno F. Frank, Shortreed J. H., Van Aerde M. y Higgs J. (1989). "Comparison of risk measures for the transport of dangerous commodities by truck and rail". Transportation Research Records 1245.

Saccamanno F. Frank, Yu M. y Frank, Shortreed J. H. (1992). "Risk uncertainty in the transport of hazardous materials". Transportation Research Records 1383.

Saccamanno F. Frank y Cassidy Keith (1994). "QRA and decision making in the transportation of dangerous goods". Transportation Research Records 1430.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). "Estadísticas". <http://www.sct.gob.mx>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). "Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos". Diario Oficial de la Federación, 7 de abril de 1993.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Department of Transportation (USDOT) and Transport Canada. "Guía Norteamericana para respuesta en caso de emergencia 1999".

Secretaría de la Defensa Nacional. "Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos". Diario Oficial de la Federación, 11 de enero de 1972.

Secretaría de Gobernación-Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, SEGOB-SEDUE (1990). "Primer listado de actividades altamente riesgosas". Diario Oficial de la Federación, 28 de marzo de 1990.

Secretaría de Gobernación-Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, SEGOB-SEDUE (1992). "Segundo listado de actividades altamente riesgosas". Diario Oficial de la Federación, 4 de mayo de 1992.

Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. "Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos". Diario Oficial de la Federación, 25 de noviembre de 1988.

Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. "Manifiesto para casos de derrame de residuos peligrosos por accidente". Diario Oficial de la Federación, 3 de mayo de 1989

Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. "NOM-052-ECOL/1993, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente". Diario Oficial de la Federación, 22 de mayo de 1993.

Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. "Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente". Actualizada al 7 de enero del 2000.

Secretaría de Trabajo y Previsión Social "Reglamento Federal de Seguridad e Higiene y Medio Ambiente de Trabajo". Diario Oficial de la Federación, 21 de enero de 1997.

Slovic Paul (1998). "The risk game". Reliability Engineering and System Safety No. 59, páginas 73-77.

Theodore Louis, Reynolds P. Joseph, Taylor Francis B. (1989). "Accident and emergency management". Editorial John Wiley and Sons, New York.

U.S. Coast Guard (U S.CG). <http://www.uscg.mil/hq/g-m/risk/rbdmg/decision.htm>

U S. Department of Transportation (U.S.DOT). "Guide for preparing hazardous materials incidents reports" Revised January 1990.

U. S. Department of Transportation (U.S DOT). "Comprehensive Truck Size and Weight Study". Draft december 30 1998.

U. S. Department of Transportation (U.S.DOT). "Hazardous materials program plan 2000-2001". [www.fmcsa dot.gov/safetyprogs/hm.htm](http://www.fmcsa.dot.gov/safetyprogs/hm.htm)

Vatn Jorn (1998). "A discussion of the acceptable risk problem". Reliability Engineering and System Safety No. 61, páginas 1-19.

Zhang Jianjun, Hodgson John y Erkut Erhan (2000). "Using GIS to assess the risk of hazardous materials transport in networks". European Journal of Operational Research vol. 121, páginas 313-329.