

Determinación de zonas expuestas a la ocurrencia de accidentes por transporte de mercancías peligrosas en Colombia

Determination of areas exposed to the occurrence of accidents due to dangerous goods transportation in Colombia.

Cristian Camilo Fernández Lopera*

Fecha de recepción: 14 de agosto de 2014

Aceptación: 21 de abril de 2015

Recibido versión final: 27 de abril de 2015

Resumen

La gestión del riesgo debe ser un componente transversal del desarrollo de la sociedad y de acuerdo con la Ley 1523 de 2012 en Colombia, debe involucrar a entidades gubernamentales, sociedad civil y sector privado, trascendiendo los límites territoriales. El objetivo de esta investigación fue determinar zonas expuestas a la ocurrencia de accidentes que involucran transporte de mercancías peligrosas en los municipios de Dosquebradas, Pereira y La Virginia, que conforman el Área Metropolitana Centro Occidente en Colombia. Las mercancías peligrosas fueron identificadas mediante el reconocimiento de las principales actividades industriales del área de estudio y se analizaron los corredores viales por los cuales ellas son transportadas, determinando zonas de alta accidentalidad. Se realizó una simulación de dispersión de sustancias mediante el aplicativo *WISER* y se identificaron zonas de riesgo en cada municipio. Los resultados indicaron que las zonas de mayor exposición a accidentes con mercancías peligrosas son: vía Pereira-La Virginia; sector Cerritos-La Villa (Pereira); sector de Playa Rica; rotonda de Postobón; la zona entre la rotonda de Postobón y la rotonda de Makro (Dosquebradas); y rotonda de calle 12B con la carrera 7a (La Virginia). En todos los corredores viales por los cuales se transportan mercancías peligrosas existen zonas críticas de alta accidentalidad.

Palabras clave

Área Metropolitana Centro Occidente, Colombia, mercancías peligrosas, zonas expuestas.

* Magíster en Dinámicas Sociales, Riesgos Naturales y Tecnológicos. Facultad Ciencias y Tecnología, Universidade de Coimbra, Portugal. Nacionalidad: colombiano. Email: ccfernandez@utp.edu.co.

Abstract

Risk management should be a transverse component of society development and according to the Colombian Law 1523 of 2012, it should involve government agencies, civil society and private sector, transcending territorial boundaries. The aim of our research was to determine areas exposed to the occurrence of accidents involving the transport of dangerous goods in the municipalities of Dosquebradas, Pereira and La Virginia, which integrate the West Central Metropolitan Area in Colombia. The dangerous goods were identified by recognizing the major industrial activities in the study area, and the road corridors where these substances are transported were analyzed, which allowed determining zones of high accident rates. A dispersion simulation of hazardous substances was performed through the *WISER* application and risk areas were identified in each municipality. Results indicate that the areas of greatest exposure to accidents involving dangerous goods are: route Pereira-La Virginia; Cerritos-La Villa (Pereira) sector; Playa Rica sector; Postobon roundabout; the zone located between Postobón roundabout and Makro roundabout (Dosquebradas); roundabout in the 7th -12B street (La Virginia). There are critical areas of high accident rates in all corridors by which dangerous goods are transported.

Keywords

Dangerous goods, West Central Metropolitan Area, Colombia, exposed zones.

Introducción

Colombia es un país con una posición geográfica estratégica para los países de la comunidad Andina y del Caribe en lo relacionado con el transporte de mercancías por vía terrestre y marítima. Este país recibe mercancías en nueve zonas portuarias, siete de ellas ubicadas en la Costa Caribe y dos en el Pacífico. Las mercancías son transportadas mayoritariamente por vía terrestre en camiones de corta y larga distancia debido a la poca cobertura de los servicios ferroviarios. El transporte de carga es una actividad importante y en crecimiento en la economía del país, en 2013 aportó el 3,1 % en el aumento del PIB (Portafolio 2015) y presentó un crecimiento en el segundo trimestre del 2014 en 14,7 % respecto al mismo periodo de 2013 (DANE 2014).

La actividad se rige por la siguiente normatividad: Convenio de Basilea en vigor desde 1992 (PNUMA 1992); Decreto 1875 de 1979; Ley 45 de 1985; Decreto 321 de 1999; Decisión 713 del 2009 del Comité Andino para la Prevención y Atención de Desastres (Estrategia Andina 2009-2015); Decreto 1609 de

2002; Ley 1523 de 2012; Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres de 2013-2025 (UNGRD 2013); y Normas Técnicas Colombianas -NTC (3966, 288, 2801, 3967, 3968, 3969, 3970, 3971 y 3972) relativas al transporte de mercancías peligrosas por carretera.

El transporte de carga es una actividad frecuente en las llamadas Áreas Metropolitanas, las cuales según Arango (2004) conforman unidades especiales donde un porcentaje importante de la población se ocupa especialmente en actividades no agrícolas, y donde la red vial conjunta y la intensa circulación de personas y mercancías configuran factores integrantes. Estas relaciones socioeconómicas desbordan los límites municipales creando nuevas y necesarias figuras administrativas, particularmente frente a los potenciales riesgos impuestos por las actividades regulares de estas Áreas Metropolitanas.

De acuerdo con Roselló y Rodríguez (2010), el análisis de un territorio en riesgo debe comprender “unidades administrativas que gestionen el riesgo y sus medidas de mitigación y que funcionen como unidades de intervención en el proceso de adapta-

ción”. Así, la necesidad de un abordaje holístico del territorio es ineludible cuando el riesgo sobrepasa el territorio municipal (Roselló y Cantarero 2010) y reclama la responsabilidad intermunicipal en la configuración del riesgo antropogénico.

Los desastres de origen tecnológico están generalmente asociados con fallas en la tecnología y son típicamente accidentales (Comisión Europea 2012). En el caso del transporte de Mercancías Peligrosas (MP), el riesgo antropogénico se relaciona con derrames accidentales de mercancías nocivas en vía terrestre. Para Bosque et al. (2004), el riesgo antropogénico considera tres procesos: (a) localización, volumen, probabilidad de ocurrencia y características de peligrosidad; (b) las dimensiones-características del área expuesta; y (c) el grado de vulnerabilidad de los posibles afectados. Por su parte, Torres (2014) define las MP como toda aquella sustancia (u objeto) dañina o perjudicial, que durante sus procesos pueda generar o desprender cualquier naturaleza peligrosa que pueda suponer un riesgo para la salud humana, o que pueda causar daños a la infraestructura de almacenamiento y transporte.

El riesgo de contaminación por accidentes que envuelven mercancías peligrosas se ha tornado tan sólo en los últimos 30 años materia destacable en las agendas de política ambiental en el mundo (Young 2002). Esto se evidencia en iniciativas globales como el Marco de Acción de Hyogo 2005-2015 (Naciones Unidas 2005), el Marco de Acción de Sendai 2015-2030 (Naciones Unidas 2015), y más concretamente, procesos como los de la Asociación Nacional para la Protección Contra el Fuego (generadora de simbología estándar a nivel mundial) (NFPA 2015), y la Guía para la Respuesta a Emergencias (CANUTEC et al. 2008).

Algunos eventos antropogénicos relacionados con el transporte de sustancias peligrosas han sido estudiados a nivel mundial: la explosión de 25 t de propileno licuado de un camión cisterna en Tarragona (España) en 1978; la explosión de 7.000 galones de gasolina de un camión cisterna en Herrborn (Alemania) en 1985 (Torres 2014); el vertimiento accidental de 100.000 litros de aguas residuales en la República de Komi (Rusia) en 1994 (Koehler 2007); y

el derrame en 2009 de gasoil en Vilagarcía de Arousa (España) (Baremboim et al. 2015). Sin embargo, el manejo de estos eventos no ha tenido un carácter intersectorial, factor que limita la gestión pública y social, así como la responsabilidad del sector privado (Viegas et al. 2011).

Saccomanno (1988, 3) define la gestión de vertimientos por accidentes con MP como el “conjunto de mecanismos y procedimientos intersectoriales que permiten el manejo de eventos no intencionales relacionados con la exposición de sustancias amenazantes para la vida”. En ese sentido y de acuerdo con Alfaro (2011) y Baremboim et al. (2015), se puede afirmar que la gestión del riesgo por accidentes con MP es una responsabilidad que debe implicar no sólo al sector privado, sino a los entes gubernamentales, la academia y estancias de investigación para su gestión prospectiva.

En Colombia, el Decreto 1609 de 2002 establece que el transporte terrestre de MP comprende la seguridad en los envases y embalajes, la preparación, envío y carga, segregación, transbordo, trasiego, almacenamiento en tránsito, descarga y recepción en el destino final. Así, el transporte considera factores implícitos a la peligrosidad de la actividad industrial, siendo necesaria la aplicación de técnicas de análisis espacial que implique, en cierto modo, las complejidades del territorio, así como las zonas expuestas en relación a zonas vulnerables (Alfaro 2011). Baremboim et al. (2015) resaltan la necesidad de generar estrategias de gestión para la toma de decisión a través de tecnologías de sistemas de monitorización química. Si bien en Colombia no se han realizado modelaciones intermunicipales para conocer el riesgo por transporte con MP, Alfaro (2011) señala que el país conoce las normas internacionales respecto a la vigilancia y control de las prácticas del sector privado.

Respecto a otros trabajos que hayan involucrado la modelación de accidentes con MP, podemos citar a Rodrigues (2011) quien elaboró un estudio sobre accidentes relacionados con MP en Portugal utilizando el aplicativo *WISER*, a fin de conocer las zonas rojas o de mayor afectación por la dispersión del contaminante. Por otra parte, Li y Wang

(2015) muestran cómo la modelación de factores de peligrosidad (vías, conductores, mercancías) del transporte de MP puede mejorar la seguridad de los elementos expuestos.

El presente trabajo se desarrolló en el Área Metropolitana Centro Occidente (AMCO) de Colombia, localizada en el departamento de Risaralda, región Centro Andina del país. El AMCO está conformada por los municipios de Pereira, Dosquebradas y La Virginia, que ocupan un 20 %, 1,9 %, y 0,9 % -respectivamente- del área total del departamento (3.592 km) (Gobernación de Risaralda 2014).

El área de estudio limita por el Este con el municipio de Santa Rosa de Cabal, por el Norte con el municipio de Marsella y el departamento de Caldas, hacia el Oeste limita con los municipios de Balboa y Santuario, y hacia el Sur con los departamentos de Valle del Cauca, Tolima y Quindío (Figura 1). En el AMCO habitan 691.517 personas, de las cuales un 67 % se ubican en Pereira, el 28% en Dosquebradas, y el 5 % en La Virginia. El total de habitantes del área de estudio representa el 74% de la población total del departamento de Risaralda (930.518) (DANE 2005).

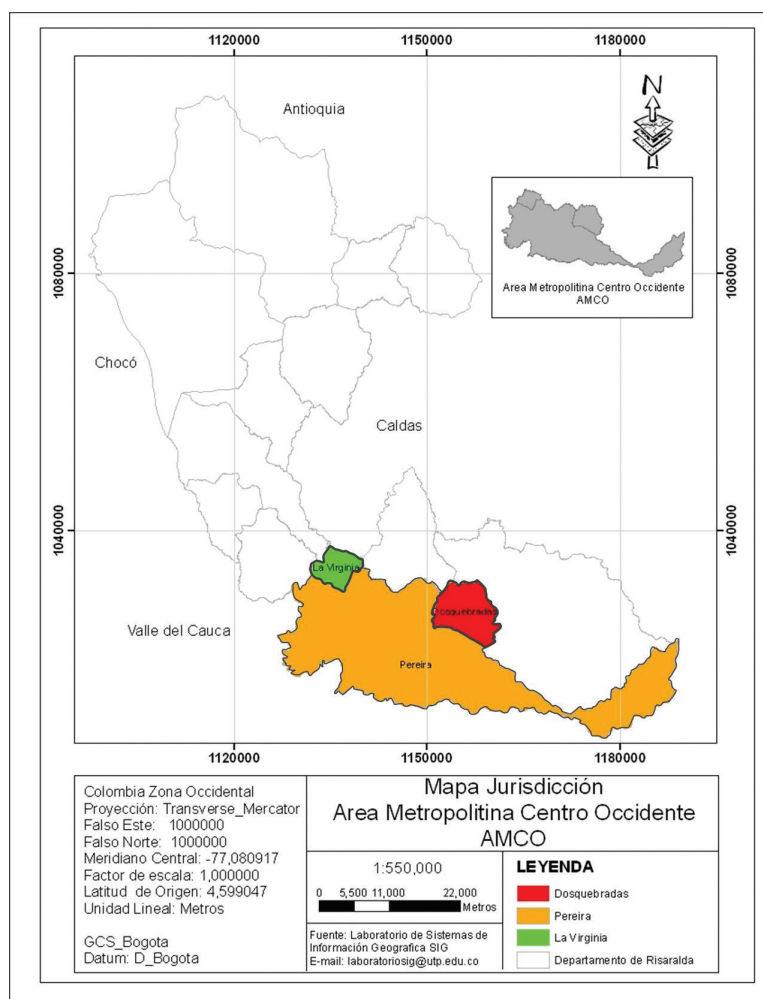


FIGURA 1. Área Metropolitana Centro Occidente en el contexto departamental. Fuente: Laboratorio SIG de la Universidad Tecnológica de Pereira.

De acuerdo con la Ley 1523 de 2012, el área de estudio cuenta con Consejos Municipales para la Gestión del Riesgo de Desastres, los cuales son entidades coordinadoras de los procesos de conocimiento, reducción del riesgo y manejo de desastres. Pese a las capacidades operativas de dichas entidades, la gestión del riesgo ha estado orientada históricamente a las acciones post-desastre, es decir, no han sido incluidas acciones de conocimiento y gestión prospectiva del riesgo antrópico, dando como resultado un vacío de conocimiento relativo al transporte de MP (Fernández 2015).

El propósito de este estudio fue determinar zonas expuestas a la ocurrencia de accidentes que involucran transporte de MP para la gestión del riesgo antrópico en el AMCO. La elección del área de estudio se justifica debido a aspectos como: la importancia nacional de las vías que lo atraviesan; su crecimiento industrial; el transporte por carretera como única alternativa para movilización terrestre; las características físicas de las vías; y la proximidad de éstas a zonas residenciales.

Metodología

Las fuentes de información consultadas fueron: Corporación Autónoma Regional del Risaralda-CARADER; Área Metropolitana Centro Occidente-AMCO; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, sector privado del AMCO, oficinas municipales para la Gestión del Riesgo de Desastres, Defensa Civil y Bomberos. La información auscultada a las empresas del sector privado fue: tipo de materias peligrosas transportadas, volúmenes de los materiales, frecuencia en el transporte, y corredores viales utilizados.

Para el conocimiento de las MP transportadas se procedió a identificar las principales industrias del área de estudio. Posteriormente se utilizó la Guía para el Manejo Seguro y Gestión Ambiental (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT 2003), la cual relaciona las sustancias químicas peligrosas de mayor uso en el país con las actividades industriales para las cuales son comer-

cializadas. Se identificaron las principales actividades industriales del AMCO y se relacionaron con las sustancias químicas que refiere dicha guía; de esta forma fue posible tener un conocimiento aproximado de las MP transportadas y los posibles efectos tras un accidente.

Con base en Gantuz y Puliafito (2004) se definieron criterios para la caracterización de las vías de circulación. Con base en Câmara Municipal de Barcelos (2007) se identificaron los corredores viales por los cuales transitan los vehículos distribuidores, analizando características físicas de las vías como: existencia de vegetación; condiciones del pavimento; señalización luminosa; rotondas; tamaño de la vía; vía primaria, secundaria o terciaria; principales destinos de las vías; tipos de vehículos que transitan; cercanía a zona residencial; vía lenta o vía rápida; pendientes; curvas; intersecciones; y detenciones semafóricas. Finalmente se realizó la identificación de las zonas de mayor exposición a través de registros históricos (periódicos diarios) de las áreas con alta accidentalidad o puntos negros. Una vez identificadas estas zonas, se reconocieron algunos aspectos de la vulnerabilidad física, social y de los ecosistemas naturales vecinos de los sitios críticos. La vulnerabilidad física y social fue relacionada al estrato socioeconómico¹ y la distancia entre los cuerpos de bomberos y la zona expuesta. La vulnerabilidad ecosistémica fue referida a las corrientes hídricas cercanas al sitio crítico.

Para la definición de zonas de riesgo se utilizó información de la Red Hidroclimatológica de Risaralda - REDH sobre la dirección predominante del viento diurno y nocturno en los municipios de Pereira y Dosquebradas, e información del IDEAM para el municipio de La Virginia.

Por medio del aplicativo del Sistema de Información Inalámbrica para los Servicios de Emer-

¹ En Colombia el promedio de habitantes por vivienda es de 5, siendo el estrato socioeconómico inversamente proporcional al número de habitantes (a menor estrato socioeconómico, mayor número de habitantes).

gencia-*WISER*² (por sus siglas en inglés) del *U.S. National Library of Medicine-NIH*, se lograron conocer las zonas más afectadas en cada municipio durante un accidente con MP. El aplicativo *WISER* permite modelar espacialmente la dirección y distancia de dispersión que tendría una sustancia química cuando fuese liberada al ambiente (Rodrigues 2011). *WISER* muestra un círculo alrededor del vertimiento que indica la afectación directa o zona roja; adicionalmente presenta un cono, el cual indica el área afectada por dispersión de la sustancia; y un rectángulo envolviendo al cono que representa la afectación secundaria o de menor impacto. Las condiciones de viento son modeladas para periodos diurnos y nocturnos.

Resultados y discusión

Principales centros de almacenamiento y procesamiento

Los criterios básicos usados para la selección de los centros de almacenamiento y procesamiento de mercancías peligrosas fueron: tamaño de la planta, alto flujo de materias primas/productos y mercancías al casco urbano del municipio.

El municipio de Pereira fue dividido en dos zonas en donde se encuentra concentrada la infraestructura industrial. La Zona I se localiza en el extremo Este de la ciudad y se ubican las empresas: Pimpollo S.A.[®], una empresa dedicada a la producción y comercialización de aves y fabricación de alimentos avícolas; Colombiana Kimberly Colpapel S.A.[®], empresa dedicada al procesamiento de papel; y Coats Cadena-S.A.[®], dedicada a la producción de materias primas para la confección. La Zona II en el extremo Oeste contiene

² Para mayor información sobre *WISER*, Visitar: <http://wiser.nlm.nih.gov/>

las empresas: Integrando LTDA.[®], cuyo objeto es la producción de piezas del sector metalmecánico; Electrogas.[®], dedicada a la compra y venta de Gas Licuado del Petróleo-GLP; TERPEL Lubriter.[®], encargada de la comercialización y distribución exclusiva de productos lubricantes; Femsá Coca-cola.[®], cuya labor es el embotellamiento de bebidas no alcohólicas; Exco Colombiana-S.A.[®], productor de tubería y piezas metálicas; Suzuki Motor de Colombia S.A.[®], orientada a la fabricación y ensamblaje de vehículos motorizados; Busscar de Colombia.[®], productora de vehículos motorizados; y Papeles Nacionales S.A.[®].

El municipio de Dosquebradas fue dividido en tres Zonas, así: La Zona I se situó al Noreste y se ubicaron las empresas: Nestlé La Rosa.[®], industria dedicada a la producción y distribución de alimentos; Postobón S.A.[®], empresa productora de bebidas no alcohólicas; y ABB.[®], fabricante de transformadores eléctricos. La Zona II se dispuso al Este de la ciudad en el sector de La Popa con las empresas: Austin Reed.[®] de confecciones y textiles; Arturo Calle.[®], producción textil; y Frisby S.A.[®], procesamiento de productos cárnicos. La Zona III se localizó en el extremo Oeste y las empresas identificadas fueron: Hierros de Occidente.[®], producción de piezas de metal; Pinturas Nova.[®], fabricación de pinturas; e Icopores de Occidente S.A.S.[®], cuyo objetivo es la producción de poliestireno expandido o icopor.

En el municipio de La Virginia se identificó el Ingenio Risaralda.[®] como la principal industria vecina al casco urbano; ésta centra su actividad productiva tanto en la refinación de azúcar y sus subproductos, como en la elaboración de abonos orgánicos.

Con base en MAVDT (2003) y considerando las diversas actividades industriales de cada municipio, se determinaron las MP transportadas en el AMCO (ver Tabla 1).

TABLA 1. Mercancías peligrosas involucradas en la actividad económica de las empresas identificadas.

Actividad industrial	Sustancias peligrosas
Procesamiento de carne	Acetona
Procesamiento de papel	Acetona; Amoniaco; Fenol; Formaldehído
Textil	Ácido Nítrico; Amoniaco; p-Cloro anilina; Fenol; Formaldehído
Metalmecánica	Acetona; Ácido clorhídrico; Formaldehído
Gas	Acetona; Tolueno
Procesamiento de combustibles derivados del petróleo	Tolueno; Metanol
Producción de comestibles	Acetona; Ácido clorhídrico; Amoniaco
Bebidas no alcohólicas	Amoniaco
Producción de transformadores	Ácido clorhídrico; Formaldehído
Pinturas	Acetona; p-Cloroanilina; Fenol; Metanol
Icopores	Acetona; Fenol; Formaldehído
Refinación de azúcar y abonos orgánicos	Ácido clorhídrico, Ácido Nítrico; Formaldehído

Fuente: MAVDT (2003).

Análisis de corredores viales

Con base en Gantuz y Puliafito (2004)³ se analizaron características físicas de las vías por las cuales se realiza el transporte de las MP, lo cual permitió identificar zonas críticas para los vehículos transportadores en cada uno de los municipios.

En la *Zona I de Pereira* el corredor vial más utilizado es la Carrera 9ª hasta la Avenida del Ferrocarril, posteriormente los vehículos se dirigen al municipio de Dosquebradas por el viaducto César Gaviria. Otro corredor de acceso es la Carrera 9ª – Calle 1ª hasta la Carrera 5ª, vía La Popa. Este corredor se localiza en una zona residencial e industrial, las condiciones del pavimento se encuentran en buen estado y posee señalización luminosa; también es una vía terciaria estrecha de doble carril y en doble sentido

³ Los criterios para la caracterización de las vías permiten tener una idea acerca de lo propensa que puede resultar una vía con determinadas características físicas. Por ejemplo, al tener mayor vegetación arbustiva, la vía puede resultar más oscura y disminuir la visibilidad al transportador, de igual forma, maniobrar vehículos cargados en curvas, con poca señalización y con fuertes pendientes significa una mayor probabilidad de accidente.

que comunica al corregimiento de La Florida con el centro de la ciudad de Pereira. El trayecto lo realizan buses, carros, motos y camiones no articulados. Este corredor tiene curvas e intersecciones y tres detenciones semafóricas.

En la *Zona II* del mismo municipio, el primer corredor vial inicia al final de la Avenida 30 de Agosto y termina en el inicio de la Troncal de Occidente (ruta 25 S-N). El segundo está localizado en la Ruta Nacional 29, entre el cruce de la vía Pereira- Marseilla y la conexión con la Avenida 30 de Agosto. En el primer caso, la vía tiene óptimas condiciones de pavimento y adecuada señalización luminosa, no tiene rotondas, tiene dos carriles en doble sentido que en dirección Sur conducen al municipio de La Virginia y al departamento del Valle. La vía tiene una intersección y no posee detenciones semafóricas.

El segundo trayecto es corto en una vía primaria, las condiciones del pavimento son óptimas, cuenta con señalización luminosa, no tiene rotondas, cuenta con un carril de doble sentido que conduce al municipio de Dosquebradas en dirección Norte y al municipio de La Virginia y al departamento del Va-

lle en dirección Sur, los vehículos que transitan son camiones articulados y buses intermunicipales, y se cataloga como una vía rápida con curvas angostas.

En la *Zona I de Dosquebradas* el principal corredor se encontró en la Avenida Simón Bolívar y Carrera 10 que desde el sector de Boquerón en el Norte limita con el municipio de Santa Rosa de Cabal hasta el sector de Postobón. El corredor vial es mayoritariamente una vía secundaria y al final del tramo en dirección Norte conforma una vía primaria con la Ruta 29. Presenta adecuada señalización luminosa, en los tramos se localizan cinco rotondas, posee doble carril en doble sentido que conducen al Norte hacia el municipio de Santa Rosa de Cabal y el departamento de Caldas, y al Sur hacia el municipio de Pereira. Transitan todo tipo de vehículos. Los dos tramos (Avenida Simón Bolívar y Carrera 10^a) atraviesan la zona urbana muy cerca de viviendas. Al Norte se destacan curvas cerradas con poca visibilidad. El corredor posee tres intersecciones y cuatro detenciones semafóricas.

En la *Zona II de Dosquebradas* se encontraron vías terciarias, las cuales reciben los vehículos transportadores que han atravesado la ciudad desde la Zona I. Cuenta con detenciones semafóricas, existe señalización luminosa y el tramo relacionado con la Avenida Simón Bolívar no tiene rotondas. La vía posee tres carriles, uno de ellos pertenece al sistema de transporte masivo Megabús. Esta es una vía primaria que por el Sur comunica al municipio de Pereira y en dirección Norte lleva al municipio de Santa Rosa de Cabal y al departamento de Caldas. Transitan todo tipo de vehículos. Este último tramo de la vía es industrial con algunas unidades residenciales entre los barrios La Pradera, Santa Mónica y Valher. Presenta ocho detenciones semafóricas en 2,1 km, hecho que la hace una vía lenta, sin intersecciones.

La *Zona III de Dosquebradas* se localiza en el sector industrial de la vía secundaria La Popa. La vía es estrecha de un solo carril en cada dirección, hecho que la define como vía lenta. Posee poca señalización luminosa, no cuenta con rotondas, las zonas residen-

ciales son pocas, y tiene cuatro intersecciones. Transitan todo tipo de vehículos.

En La Virginia se encontró una vía primaria que conecta a este municipio con otros del departamento de Risaralda. Aunque es una vía de un solo carril, en cada sentido toma la categoría de vía rápida por tener curvas suaves. Tiene vegetación arbustiva y forestal, y si bien la vía no atraviesa el casco urbano, sí pasa cerca de zonas pobladas. Posee señalización luminosa, no tiene rotondas ni detenciones semafóricas, aunque sí varias intersecciones peligrosas, y transitan todo tipo de vehículos. El corredor vial inicia en el puente sobre el río Cauca (Ruta 25) y termina en la planta industrial del Ingenio Risaralda.

Determinación de zonas de mayor exposición

Los sectores con mayor accidentalidad fueron identificados para cada municipio:

Dosquebradas: mediante los registros del periódico El Tiempo se conoció que en los últimos tres años las zonas con accidentes han sido Avenida del Ferrocarril (registrando 84 accidentes), la variante La Romelia El Pollo o Ruta 29 (32 accidentes) y la rotonda de Postobón (28 accidentes). Los sitios críticos coincidieron con los corredores viales para el transporte de MP.

Pereira: las zonas de mayor accidentalidad fueron la variante La Romelia El Pollo (Ruta Nacional 29), viaducto César Gaviria, vía a Armenia entre el Km 3 y la Glorieta Punto 30, Cerritos sector La-Villa. El corredor vial que coincide con los sectores mencionados es el localizado en la Zona II al final de la Avenida 30 de Agosto y que culmina en el inicio de la Troncal de Occidente (Ruta 25 S-N) hasta el sector de Cerritos y en la Ruta Nacional 29 entre el cruce de la vía Pereira-Marsella y la conexión con la Avenida 30 de agosto.

La Virginia: no se encontraron registros oficiales de las zonas de mayor accidentalidad, por tanto, como puntos críticos fueron asumidas dos zonas que por las características de la vía pueden ser propensas a accidentes. Las zonas seleccionadas fueron: roton-

da que conecta la Calle 12B con la Carrera 7a y la conexión de la vía intermunicipal Ruta 50 con la vía de acceso a la planta industrial Ingenio Risaralda.

Zonas de riesgo por contaminación con sustancias peligrosas

Las zonas críticas y las sustancias peligrosas seleccionadas fueron las siguientes:

Municipio de Pereira: las zonas afectadas se identificaron en la Vía Pereira-La Virginia, sector Cerritos La Villa, allí un vertimiento accidental de Ácido Clorhídrico tanto en el día como en la noche afecta las viviendas que se encuentran a menos de 500 m, puesto que en viento diurno se presentó un radio de 60 m y de 0,3 km por dispersión de gases. En la noche mostró un área de 1,3 km por dispersión de menor concentración y 60 m por afectación directa. El Ácido Nítrico perjudicó a la misma población pero con una afectación directa de 150 m y 0,5 km por dispersión de gases. En la noche la dispersión del gas aumentó el área afectada a 1,1 km. En este sector las viviendas son mayoritariamente campestres con densidad habitacional de 7 hab/km², éstas se localizan en dirección Este y Oeste de la vía y la menor distancia entre la vía y las viviendas es de 50 m. El sector también posee una institución educativa que se encuentra a 353 m de la vía. La distancia entre el cuerpo de bomberos y el sector crítico es de 10,39 km.

Municipio de Dosquebradas: la dirección del viento según CARDER (2007) es diurno NW y nocturno SE. La Figura 2 (3a), sector *Playa Rica, Dosquebradas* muestra una gran área de afectación del Amoniaco durante el día y la noche, siendo el radio de afectación directa de 150 m y de dispersión de gases de 0,8 km, perjudicando a una alta cantidad de personas. En la noche la pluma tóxica es mayor (el área afectada por dispersión de gases es de 2 km y la zona de afectación directa es de 150 m) y afecta barrios como Santa Isabel, El Recreo y Playa Rica; sin embargo la proveniencia del viento en sentido SE impide que el efecto sea mayor puesto que el mayor número de viviendas está hacia el Sur y la orientación de la pluma tóxica es NW.

En este mismo sector, la zona directamente afectada por Ácido Clorhídrico en condiciones de viento diurno cubre un área de 60 m y por dispersión de gases de menor concentración 0,3 km; en ambos casos las sustancias alcanzan los barrios aledaños a la vía. Si bien la pluma tóxica nocturna es mayor (1,3 km) que la diurna, ésta no genera perjuicios severos debido a la orientación del viento proveniente del SE, sin embargo los barrios El Recreo y Playa Rica se ven fuertemente afectados y con menos severidad los barrios Santa Isabel, Primavera, 1° de Agosto, Guayacanes y Villa del Campo (Figura 2-3b).

En el sector de la *Rotonda de Postobón* vemos una gran afectación debido a la proximidad de las viviendas a las zonas de mayor accidentalidad. La Figura 2 (3c) muestra las zonas perjudicadas en el sector de la rotonda de Postobón, allí el Ácido Nítrico cubre un radio de 150 m por contacto directo con el vertimiento y por dispersión de gases 0,5 km de longitud de pluma tóxica durante el día. En viento nocturno la longitud de la pluma tóxica aumenta a 1,1 km afectando por lo menos cinco barrios al NE del municipio. Finalmente en este sector el Ácido Clorhídrico llega a las mismas zonas que el Ácido Nítrico y la pluma tóxica en condiciones de viento nocturno aumenta su alcance al pasar de ser una zona de 0,3 km durante el día a 1,3 km en la noche, llegando a un número mayor de personas.

En el sector ubicado entre la *Rotonda de Postobón* y la *Rotonda de Makro* los efectos son evidentes con todas las sustancias analizadas debido a la cercanía de la vía a las viviendas. En la Figura 2 (3c y 3d) se presentan las características de afectación del vertimiento. En ese sitio el comportamiento tanto del Ácido Nítrico en condiciones nocturnas como diurnas tiene efectos severos en la población. El vertimiento puede afectar directamente la quebrada Frailes y durante la noche envuelve siete barrios. El Ácido Clorhídrico perjudica a los mismos barrios identificados en el caso del Ácido Nítrico.

En **Dosquebradas**, sector *Playa Rica*, se encontraron los barrios San Félix, Villa del Campo, Garma y Playa Rica (Comuna 6) en dirección NE del municipi-

pio. Este sector cuenta con dos instituciones educativas. El corredor vial es atravesado en dos ocasiones por dos quebradas, una de ellas la Dosquebradas, uno de los tributarios importantes del río Otún. La distancia entre la estación de bomberos y el sector es de 1,23 km aproximadamente.

En el sector de la *Rotonda de Postobón* hay residencias. La zona presenta una alta movilidad vehicular y peatonal, y allí se localizan dos escuelas de educación básica primaria y secundaria. La distancia entre la estación del cuerpo de bomberos y el punto crítico (*Rotonda de Postobón*) es de 2,67 km aproximadamente.

Entre la *Rotonda de Postobón* y la *Rotonda de Makro* durante un eventual accidente los barrios afectados serían Campestres y Maracay debido a que presentan

mayor exposición (40 m desde la vía hasta las viviendas del barrio El Campestre, y 19 m desde la vía hasta el barrio Maracay). La vía es atravesada por las quebradas La Víbora y Frailes, importantes afluentes de la quebrada Dosquebradas. La distancia aproximada entre la estación de bomberos y el sector es de 3,63 km.

Como lo indica la Figura 2, el área afectada por las sustancias relacionadas en condiciones de viento nocturno es mayor que en condiciones de viento diurno. El vertimiento del Amoniaco en condiciones de viento nocturno representa 1,2 km más de área que en condiciones de viento diurno; y tanto el Ácido Nítrico como el Clorhídrico afectan en 0,6 km y 1 km –respectivamente– más área que en condiciones de viento diurno.

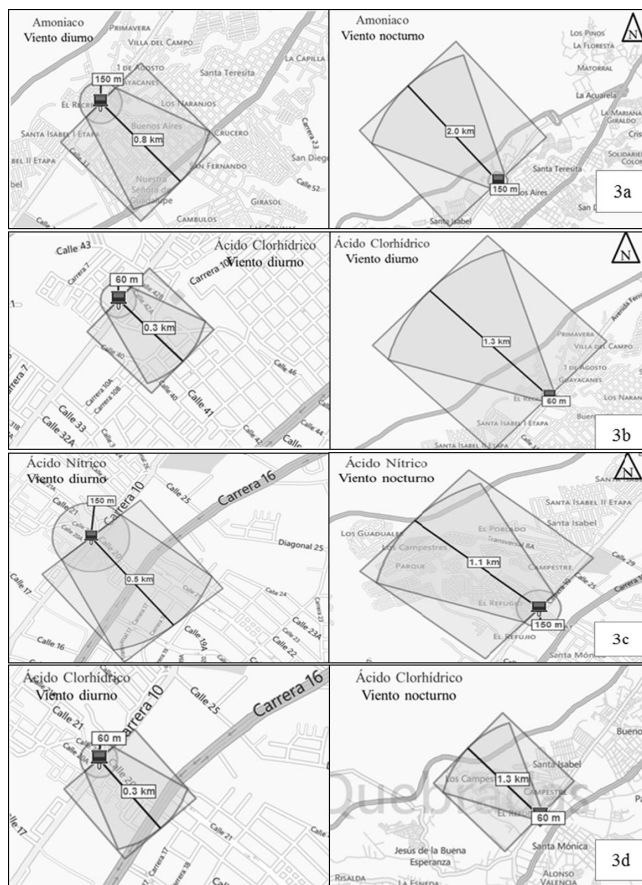


FIGURA 2. Área afectada por accidente con Amoniaco, Ácido-Clorhídrico y Ácido-Nítrico en condiciones de viento diurno y nocturno, sectores: a) y b) Playa Rica; c) Rotonda de Postobón; d) entre Rotonda de Postobón y Rotonda de Makro en Dosquebradas. Fuente: elaboración propia a partir de WISER.

Municipio de La Virginia: en el sector de la *Rotonda* que comunica la Calle 12B con la Carrera 7^a, el comportamiento de los vertimientos en el corredor vial Ingenio Risaralda se presenta en la Figura 3. Tanto el Ácido Clorhídrico como el Ácido Nítrico causan afectaciones a la población en este sitio debido a que la dirección del viento diurno y nocturno coincide con la localización de las viviendas, llegando a la mayor parte del casco urbano durante la noche. Es de resaltar la longitud de la pluma tóxica nocturna del Ácido Clorhídrico (1,3 km) la cual afecta un 70 % de la zona urbana.

El sector es residencial, cuenta con salón cultural, hospital, puesto de salud e institución educativa, además de locales comerciales. La distancia desde la estación de bomberos hasta el sitio es de 0,72 km. En la *Intersección de la Ruta intermunicipal 50 y la vía de ingreso al Ingenio Risaralda* sólo se encuentra la infraestructura de la planta procesadora de azúcar. No existen viviendas aledañas; aun así, junto a la vía se encontró un canal de riego que está comunicado con el río Risaralda, hecho que puede ocasionar que tras un vertimiento las sustancias lleguen por el canal hasta el río causando una emergencia ambiental. La distancia desde la estación de bomberos hasta el sitio es de 2,17 km.

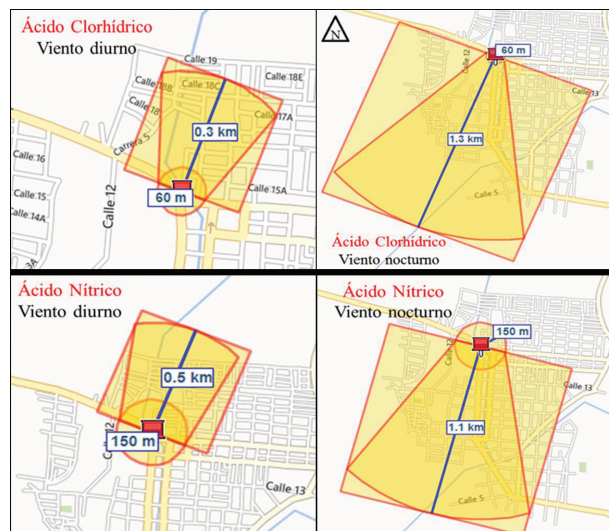


FIGURA 3. Área afectada por accidente con Ácido Nítrico y Ácido Clorhídrico en condiciones de viento diurno y nocturno, sector rotonda Calle 12B con Carrera 7A, La Virginia. Fuente: elaboración propia a partir de WISER.

Conclusiones

Las principales MP transportadas en el AMCO son: Acetona, Amoniaco, Fenol, Ácido Nítrico, Ácido Clorhídrico y Metanol, pero las que pueden afectar a un mayor número de personas durante un accidente son: Ácido Nítrico, Ácido Clorhídrico, Amoniaco y

Acetona. Además las condiciones de viento nocturno aumentan la pluma tóxica y magnifican las consecuencias del accidente.

En todos los corredores viales existen zonas críticas por accidentes de tránsito, sin embargo, algunos sectores pueden resultar más afectados que otros por el grado de exposición o cercanía a la vía. Así,

es evidente la necesidad de realizar análisis de peligrosidad en cada corredor debido a que se tiende a utilizar los recorridos que implican menos tiempo pero que suelen ser más peligrosos. En consecuencia, Gómez y Bosque (2001) aconsejan usar rutas en las cuales el riesgo sea menor (incluso si el recorrido es más largo) ya que pueden ser más seguras.

Las zonas expuestas a la ocurrencia de accidentes que involucran transporte de MP en el AMCO son:

- **Pereira:** en la Ruta Nacional 29 desde el ingreso a la vía Pereira-Marsella hasta la conexión con la Avenida 30 de Agosto. En la vía Pereira-La Virginia en el sector Cerritos-La Villa.
- **Dosquebradas:** en el sector de Playa Rica, en la Rotonda de Postobón y entre la Rotonda de Postobón y la Rotonda de Makro.
- **La Virginia:** en la rotonda que comunica la Calle 12B con la Carrera 7a y en la intersección de la Ruta intermunicipal 50 y la vía de ingreso al Ingenio Risaralda.

La exposición a la amenaza (MP) no determina del todo el grado de riesgo, por tanto para esta investigación se analizó someramente la clasificación socioeconómica de la zona y se pudo concluir que exceptuando el corredor vial de Pereira (vía Pereira-La Virginia, sector Cerritos La Villa) todas las zonas residenciales expuestas presentan una marcada vulnerabilidad socioeconómica (niveles 2 y 3).

En los tres municipios se puede brindar una respuesta oportuna a un eventual accidente. En Pereira la distancia entre las zonas de riesgo y los medios de atención de emergencia es en promedio de 10 km, en Dosquebradas es de 2,5 km y en La Virginia es de 1,50 km.

De acuerdo con Rodrigues (2011), podemos decir que el uso del modelo WISER para simulación de dispersión de vertimientos de mercancías peligrosas en el AMCO resulta una herramienta para la gestión del riesgo aplicable a diferentes contextos nacionales. El proceso metodológico de identificación de mercancías peligrosas, caracterización de vías y zonas de alta accidentalidad representa una metodología aplicable a contextos internacionales.

Recomendaciones

Con el fin de identificar el riesgo de desastres que envuelven transporte de MP se recomienda que la autoridad en Gestión del Riesgo de Desastres de cada municipio establezca una base de datos con las mercancías peligrosas que son utilizadas por las industrias locales.

Desde la academia es necesario generar estrategias prospectivas que desincentiven la revalorización de los espacios de peligro (Roselló y Rodríguez 2010) y se debe fomentar la conformación de grupos interinstitucionales para la gestión de riesgos antrópicos.

Se recomienda realizar talleres con las empresas transportadoras de las MP para conocer los corredores viales y los horarios de los movimientos. Es necesario consultar a los transportadores sobre los peligros de las vías, y que las empresas transportadoras de carga, empresas receptoras y las autoridades de tránsito sugieran corredores viales más seguros (Torres 2014). Se recomienda realizar una priorización de vías y de horarios para el tránsito urbano de mercancías peligrosas con el fin de gestar una política pública metropolitana que regule dicha actividad.

Referencias

- Arango, O. 2004. "El Área Metropolitana Centro Occidente, antecedentes y perspectivas". *Revista Ciencias Humanas* 33: 119-133.
- Alfaro, J. 2011. "Transporte terrestre de mercancías peligrosas y su respuesta en caso de emergencias". *Revista Tecno Esufa-Ciencia y Tecnología Aeronáutica* 15: 31-40.
- Barenboim, G., Borisov, V., Golosov, V., y A. Saveka. 2015. New problems and opportunities of oil spill monitoring systems. En: *Hydrological Science and Water Security: Past present and future. 11th Kovacs Colloquium (París, Francia. Junio de 2014)*, editado por Demuth, S., Mishra, A., Cudennec, C. y G. Young. Paris. Consultado en abril de 2015. <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002280/228086e.pdf>
- Bosque, J., Díaz, C., Díaz, A., Gómez, M., González, D., Rodríguez, V. y M. Salado. 2004. "Propuesta metodológica para caracterizar las áreas expuestas a riesgos tecnológicos mediante SIG. Aplicación en la Comunidad de Madrid". *Revista GeoFocus* 4: 44-78.
- CANUTEC (Centro de Emergencia del Transporte Canadiense) - Dirección de Transporte de Canadá (TC), Departamento de Transporte de ee.uu. (dot), Secretaría de Transporte y Comunicaciones de México (SCT) y CIQUIME (Centro de Información Química para emergencias). 2008. Guía para la Respuesta a Emergencias-GRE 2008. Chicago: Labelmaster.
- CARDER. 2007. Diagnóstico de riesgos ambientales del municipio de Dosquebradas. Pereira. Consultado el 22 de junio de 2014. <http://www.carder.gov.co/intradocuments/webExplorer/diagnosticos-riesgos-ambientales>
- Comisión Europea. 2012. *The EU civil protection mechanism- 10 years of European cooperation in disaster management*. Luxemburg.
- DANE. 2005. Censo Nacional, Estudios post censales. Proyecciones nacionales y departamentales de población 2005-2020, Departamento de Risaralda [en línea]. Consultado en noviembre de 2014. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/conciliacenso/7_Proyecciones_poblacion.pdf
- DANE. 2014. Cuentas trimestrales-Colombia. Producto Interno Bruto-PIB. Consulta el 18 de julio de 2014. http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol_PIB_Itrime14.pdf
- Decreto 1875. 1979. Por el cual se dictan normas sobre la prevención de la contaminación del medio marino y otras disposiciones. Diario Oficial de la República de Colombia.
- Decreto 321. 1999. Por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia contra derrames de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas. Diario Oficial de la República de Colombia.
- Decreto 1609. 2002. Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera. Diario Oficial de la República de Colombia.
- Decisión 713. 2009. Estrategia Andina para la Prevención y Atención de Desastres 2009-2015. Comunidad Andina de Naciones, Comité Andino para la Prevención y Atención de Desastres-CAPRADE.
- Fernández, C. 2015. Lineamientos estratégicos para mejorar la gobernabilidad del riesgo a escala local. Tesis de maestría. Universidade de Coimbra. Coimbra, Portugal.
- Gantuz, M. y J. Puliafito. 2004. "Fuentes móviles y la caracterización de vías de circulación: una aproximación a los modelos de emisión grillados". *Revista Mecánica Computacional* 23:1761-1786.
- Gómez, M. y J. Bosque. 2001. "Cálculo de rutas óptimas para el transporte de residuos tóxicos y peligrosos". *Revista Geofocus* 1: 49-64.
- Gobernación de Risaralda. 2014. Características geográficas del Departamento. Consultado el 18 de marzo de 2014. <http://www.risaralda.gov.co>

- Koehler, D. 2007. Oil Spill in the Komi Republic. *Disaster Recovery Journal*. Consultado el 20 de abril de 2015. <http://www.drj.com/journal/spring-2001-volume-14-issue-2/oil-spill-in-the-komi-republic.html>.
- Ley 45 1985. Por medio de la cual se aprueban el Convenio para la Protección del Medio Marino y la Zona Costera del Pacífico Sudeste, el Acuerdo sobre la Cooperación Regional para el Combate Contra la Contaminación del Pacífico Sudeste por Hidrocarburos y Otras Sustancias Nocivas en Casos de Emergencia. Diario Oficial de la República de Colombia.
- Ley 1523 2012. Por medio de la cual se adopta la Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastre y se dictan otras disposiciones. Diario oficial de la República de Colombia.
- Li, S. y X. Wang. 2015. "Study on dangerous signal mining of dangerous goods transport vehicles". *International Journal of Control and Automation* 8: 71 - 82.
- Ministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial. 2003. Guías para manejo seguro y gestión ambiental de 25 sustancias químicas. Bogotá.
- Naciones Unidas. 2005. Marco de Acción de Hogo 2005-2015. Kobe: International Strategy for Disaster Reduction- ISDR.
- Naciones Unidas. 2015. Marco de Acción de Sendai 2015-2030. Sendai: International Strategy for Disaster Reduction- ISDR.
- National Fire Protection Association – NFPA. 2015. About NFPA. Consultado el 26 de abril de 2015. <http://www.nfpa.org/about-nfpa>
- Norma Técnica Colombiana-NTC. Transporte de Mercancías Peligrosas Clase 1. Explosivos, Transporte Terrestre por Carretera, 3966, Diciembre 15 de 2000.
- Norma Técnica Colombiana-NTC. Transporte de mercancías peligrosas clase 4. Sólidos inflamables, sustancias que presentan riesgo de combustión espontánea; sustancias que en contacto con el agua desprenden gases inflamables. Transporte terrestre por carretera, 3967. Diciembre 15 de 2000.
- Norma Técnica Colombiana-NTC. Transporte de mercancías peligrosas clase 5. Sustancias comburentes y peróxidos orgánicos. Transporte terrestre por carretera, 3968, Diciembre 15 de 2000.
- Norma Técnica Colombiana-NTC. Transporte de mercancías peligrosas clase 6. Sustancias tóxicas e infecciosas. Transporte terrestre por carretera, 3969, Diciembre 15 de 2000.
- Norma Técnica Colombiana-NTC. Transporte de mercancías peligrosas clase 7. Materiales radiactivos. Transporte terrestre por carretera, 3970, Diciembre 15 de 2000.
- Norma Técnica Colombiana-NTC. Transporte de mercancías peligrosas clase 8. Sustancias corrosivas. Transporte terrestre por carretera, 3971, Diciembre 15 de 2000.
- Norma Técnica Colombiana-NTC. Transporte de mercancías peligrosas clase 9. Sustancias peligrosas varias. Transporte terrestre por carretera, 3972, Diciembre 15 de 2000.
- Norma Técnica Colombiana-NTC. Plaguicidas orgánicos. Método de determinación de la acidez o la alcalinidad, 288, Septiembre 9 de 2003.
- Norma Técnica Colombiana-NTC. Transporte de mercancías peligrosas clase 3. Condiciones de transporte terrestre, 2801, Noviembre 30 de 2005.
- Portafolio. 2015. "La economía colombiana creció 4,3% en 2013". Consultado el 22 de febrero de 2015. <http://www.portafolio.co/economia/pib-colombia-2013>.
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente-PNUMA. 1992. Convenio de Basilea que regula y controla los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación. Consultado el 10 de enero de 2015. <http://>

- www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/text/BaselConventionText-s.pdf
- Rodrigues, A. 2011. Transporte Ferroviário de Mercadorias Perigosas. Análise de risco no concelho de Coimbra. Tesis de maestría. Universidad de Coimbra. Coimbra, Portugal
- Roselló, M. y F. Cantarero. 2010. "Problemas y retos en el análisis de los riesgos múltiples del territorio. Propuestas metodológicas para la elaboración de cartografías multi-peligros". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* 52: 241-255.
- Roselló, M. y M. Rodríguez. 2010. "Patrón territorial y conformación del riesgo en espacios periurbanos. El caso de la periferia este de la ciudad de Málaga". *Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales* 14: 323-339.
- Saccomanno, F. 1988. "Locating emergency response capability for dangerous goods incidents on a road network". *Transportation Research Board Journal* No. 1193: 1-9.
- Torres, D. 2014. Transporte de mercancías peligrosas: aspectos técnicos y jurídicos. *Disertación de fin de carrera en náutica y transporte marítimo*. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, España.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres-UNGRD. 2013. Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres de 2013-2025. Consultado el 20 de abril de 2015. http://www.gestiondelriesgo.gov.co/sigpad/archivos/documentos/PNGRD/04_Componente_General_del_PNGRD_version_III_28Oct2013.pdf
- Viegas, X. Quintela, D. y R. Figueiredo. 2011. Os desafios do desastre Natech: Japão, di natural ao tecnológico. En: *Conferencia sobre Dinámicas Sociales, Riesgos Naturales y Tecnológicos*, editado por Universidad de Coimbra, octubre de 2011.
- Young, S. 2002. Natural-technologic events: the frequency and severity of toxic releases during and after natural disasters with emphasis on wind and seismic events. UJNR 34th joint meeting panel on wind and seismic effects, 13 – 18 May 2002. Consultado en abril de 2015. <http://pwweb1.pwri.go.jp/eng/ujnr/joint/34/paper/71young.pdf>

Agradecimientos

El autor agradece al Dr. Rui Ferreira Figueiredo, docente del Departamento de Geografía de la Universidad de Coimbra-Portugal, por los aportes realizados durante el desarrollo de la presente investigación.

