	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15	
			VERSIÓN	02	
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN			FECHA	03/04/2017
				PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ	APROBÓ		
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad		

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S): DAYNE ALEJANDRA APELLIDOS: PATIÑO SERNA

NOMBRE(S): DEIBY JULIAN APELLIDOS: QUINTERO PABA

NOMBRE(S): _____ APELLIDOS: _____

FACULTAD: DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR:

NOMBRE(S): ING. YORDANI ALEXIS APELLIDOS: ALVAREZ SEPULVEDA

NOMBRE(S): _____ APELLIDOS: _____

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): “ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA MATRIZ DE COLISIÓN PARA LOS DEPARTAMENTOS DE NORTE DE SANTANDER, BOYACÁ, SANTANDER DEL SUR Y ARAUCA QUE CONFORMAN EL NODO NORORIENTAL EN COLOMBIA”

En caso de accidente de tránsito, debe mantener la calma en todo momento, evaluar el alcance del incidente, confirmar que el conductor está bien y luego confirmar sus pasajeros y si hay un tercero involucrado. Si se trata de un herido, consulta su estado y contacta con el teléfono de ayuda de tu compañía aseguradora, o si la situación es muy grave, contacta con las autoridades policiales de tránsito y/o sanitarias. Si un accidente involucra lesiones, nunca abandone la escena del accidente a menos que la condición médica del conductor lo requiera. Si nadie resulta herido, confirme que la posición final de los vehículos no haya cambiado y no los mueva a menos que lo soliciten las autoridades pertinentes. No comprometa la seguridad del vehículo si cree que existe alguna anomalía o la integridad de los ocupantes está comprometida.

PALABRAS CLAVES: Accidentalidad, Colisión, Matriz, Vía.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 91 PLANOS: _____ ILUSTRACIONES: _____ CD ROOM: _____

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA MATRIZ DE COLISIÓN PARA LOS
DEPARTAMENTOS DE NORTE DE SANTANDER, BOYACÁ, SANTANDER DEL SUR Y
ARAUCA QUE CONFORMAN EL NODO NORORIENTAL EN COLOMBIA

DAYNE ALEJANDRA PATIÑO SERNA
DEIBY JULIÁN QUINTERO PABA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA CIVIL
CÚCUTA
2022

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA MATRIZ DE COLISIÓN PARA LOS
DEPARTAMENTOS DE NORTE DE SANTANDER, BOYACÁ, SANTANDER DEL SUR Y
ARAUCA QUE CONFORMAN EL NODO NORORIENTAL EN COLOMBIA

DAYNE ALEJANDRA PATIÑO SERNA

DEIBY JULIÁN QUINTERO PABA

Proyecto presentado como requisito para optar al Título en Ingeniería Civil

Director:

ING. YORDANY ALEXIS ALVAREZ SEPULVEDA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA CIVIL

CÚCUTA

2022

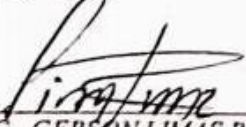
ACTA DE SUSTENTACION DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 22 DE ABRIL DE 2022 HORA: 10:00 a. m.
LUGAR: FU304 - UFPS
PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA CIVIL
TITULO DE LA TESIS: "ANALISIS ESTADISTICO DE LA MATRIZ DE COLISION PARA LOS DEPARTAMENTOS DE NORTE DE SANTANDER, BOYACA, SANTANDER DEL SUR Y ARAUCA QUE CONFORMAN EL NODO NORORIENTAL EN COLOMBIA".
JURADOS: ING. MARIA ALEJANDRA BERMON BENCARDINO
ING. GERSON LIMAS RAMIREZ
DIRECTOR: INGENIERO YORDANY ALEXIS ALVAREZ SEPULVEDA

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES:	CODIGO	CALIFICACION	
		NUMERO	LETRA
DAYNE ALEJANDRA PATIÑO SERNA	1113210	4,1	CUATRO, UNO
DEIBY JULIAN QUINTERO PABA	1112926	4,1	CUATRO, UNO

APROBADA


ING. MARIA ALEJANDRA BERMON BENCARDINO


ING. GERSON LIMAS RAMIREZ

Vo. Bo. 
JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ
Coordinador Comité Curricular

Betty M.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	9
1. Problema	11
1.1 Título	11
1.2 Descripción del Problema	11
1.3 Formulación del Problema	12
1.4 Objetivos	13
1.4.1 Objetivo General.	13
1.4.2 Objetivos Específicos.	13
1.5 Delimitaciones	13
1.5.1 Delimitación Espacial.	13
1.5.2 Delimitación temporal.	14
1.5.3 Delimitación Conceptual.	14
1.6 Justificación	14
2. Marco Referencial	16
2.1 Antecedentes del Estudio	16
2.1.1 Antecedentes Internacionales.	16
2.1.2 Antecedentes Nacionales.	17
2.2 Marco Teórico	20
2.3 Marco Legal	33
3. Análisis de Matriz de Colisión	35
3.1 Norte de Santander	35

3.2 Santander	38
3.3 Arauca	40
3.4 Boyacá	41
4. Modelos de causación de siniestros: Relevancia conceptual y operativa	44
4.1 Modelos de causación y Modelos de prevención	46
4.2 Modelos de causación y Métodos de investigación	47
4.3 Clasificaciones de los Modelos	49
4.4 Familia de Modelos Secuenciales	51
4.5 Familia de Modelos Epidemiológicos (organizacionales o de salud pública)	60
4.6 Familia de Modelos Sistémicos	72
Conclusiones	83
Recomendaciones	84
Referencias Bibliográficas	85

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Comparativo de accidentalidad en Reino Unido y USA.	26
Tabla 2. Síntesis de los paradigmas de la seguridad vial.	29
Tabla 3. Matriz de colisión Norte de Santander	35
Tabla 4. Matriz de colisión Santander.	38
Tabla 5. Matriz de colisión Arauca.	40
Tabla 6. Matriz de colisión Boyacá.	41
Tabla 7. Conceptos esenciales de las familias de modelos.	51
Tabla 8. Matriz de Haddon.	66

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Ubicación Espacial del proyecto.	14
Figura 2. Matriz de colisión Norte de Santander.	36
Figura 3. Porcentaje de accidentalidad Norte de Santander.	36
Figura 4. Matriz de colisión Santander.	39
Figura 5. Porcentaje de accidentalidad Santander.	39
Figura 6. Matriz de colisión Arauca.	40
Figura 7. Porcentaje de accidentalidad Arauca.	41
Figura 8. Matriz de colisión Boyacá.	42
Figura 9. Porcentaje de accidentalidad Boyacá.	42

Introducción

Las lesiones de en los accidentes de tránsito son un importante problema de salud pública. En el planeta podemos definirlo como la novena causa de muerte y de carga de enfermedad. Afectan sobre todo a personas jóvenes: son la segunda causa de muerte entre los 5 y 29 años, y la tercera entre los 30 y 44 años; en los países desarrollados son la primera y segunda causa, respectivamente^{1, 2, 3}. En España, en el año 2006 se produjeron 99.779 colisiones con lesionados y 4140 muertos de tráfico⁴. Desde el año 2004, la seguridad vial se considera una prioridad política y se creó el Plan Estratégico de Seguridad Vial 2005-2008. (Dirección General de Tráfico Ministerio de Interior. Plan Estratégico de Seguridad Vial 2005–2008. Plan de Acciones Estratégicas Claves 2005–2008. Dirección General de Tráfico, Madrid (2006) Google Scholar)

Según el modelo etiológico propuesto por Haddon, las lesiones de tráfico se producen por la interacción de diversos elementos: el vehículo, que es el transmisor de la energía causante de las lesiones; el individuo susceptible de ser lesionado; y el entorno o contexto en que se produce la colisión. La matriz de Haddon permite clasificar las intervenciones de seguridad vial según los factores que pretende modificar (del individuo, del vehículo, del entorno físico — infraestructuras— o del entorno social —legislación, políticas públicas, normas sociales, cultura—) y según el momento con respecto a la colisión (antes —fase precolisión—, durante — fase de la colisión— y después de la colisión —fase poscolisión—). En la fase precolisión, las intervenciones tienen por objetivo reducir la exposición al riesgo y la probabilidad de que se produzca una colisión. En la fase de la colisión, pretenden reducir la probabilidad de que se produzcan lesiones o de que éstas sean graves, una vez se ha producido la colisión. Y en la fase

poscolisión pretenden reducir la probabilidad de que las lesiones tengan consecuencias. (W. Haddon, 1968)

Entre las intervenciones de seguridad vial destinadas a reducir el impacto de las lesiones de tráfico, únicamente se deberían implementar aquellas con evidencia científica de su efectividad. Sin embargo, dado que continúa prevaleciendo la concepción del error humano como causa principal de las colisiones de tráfico, con frecuencia las intervenciones se basan en la educación de las personas usuarias de la vía pública, a pesar de que la literatura científica sugiere que la educación vial no se encuentra entre las medidas más efectivas. (D. Mohan, 2003)

El objetivo de este trabajo fue identificar y sintetizar las intervenciones de seguridad vial que han demostrado ser efectivas para reducir las lesiones y muertes por accidentes de tránsito, aquellas que han demostrado ser ineficaces y aquellas que aún no tienen evidencia suficiente, su eficacia.

1. Problema

1.1 Título

“ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA MATRIZ DE COLISIÓN PARA LOS DEPARTAMENTOS DE NORTE DE SANTANDER, BOYACÁ, SANTANDER DEL SUR Y ARAUCA QUE CONFORMAN EL NODO NOR ORIENTAL EN COLOMBIA”

1.2 Descripción del Problema

En el nodo oriente de Colombia con especial énfasis en las vías que intercomunican los departamentos, es evidente que en las vías no se realiza mantenimientos, y cuando se realizan programas de rehabilitación de la estructura, los resultados no son los esperados, entre otras cosas por falta de presupuesto para finalizar la obra o por la incorrecta aplicación de conocimientos (Sierra y Rivas, 2016).

La mayoría de los accidentes viales no pueden ser relacionados a un único evento causal son el resultado de la convergencia de una serie de eventos que están influenciados por una combinación de factores contribuyentes (hora del día, la atención del conductor, velocidad, condición del vehículo, diseño del camino, etc.). Estos factores contribuyentes influyen la secuencia de eventos anteriores, durante y posteriores a un accidente. En términos generales se pueden identificar tres momentos causales dentro de un evento de colisión: 1. Los eventos anteriores a la colisión revelan factores que contribuyeron al riesgo ocurrencia, y cómo la colisión pudo haber sido prevenida. 2. Los eventos durante la colisión revelan factores que contribuyeron a la severidad de esta y cómo estos factores pueden ser intervenidos con soluciones ingenieriles o cambios tecnológicos que reduzcan la severidad del evento.

Los eventos posteriores a la colisión revelan factores que influyen el resultado de la colisión y cómo el daño y las heridas pueden ser reducidas por mejoras en la respuesta de emergencia y tratamiento médico. Las colisiones poseen las siguientes tres categorías de factores contribuyentes: Humano- incluye la edad, juicio, habilidad del conductor, atención, fatiga, experiencia, sobriedad; Vehículo- incluye diseño, manufactura, y mantenimiento; Vía/Ambiente- incluye el alineamiento geométrico, sección transversal, dispositivos de control de tráfico, rugosidad superficial, pendiente, señalización, clima, visibilidad. Comprendiendo estos factores y cómo éstos pueden influenciar la secuencia de eventos, las colisiones y su severidad pueden ser reducidas implementando medidas específicas que apuntan a factores contribuyentes específicos. La contribución relativa de estos factores en las colisiones puede ayudar a determinar cómo asignar recursos para reducir colisiones.

1.3 Formulación del Problema

El enfoque de esta valoración se centra en identificar factores de la carretera que contribuyen en generar un alto grado de exposición a condiciones adversas para los usuarios, donde el peor escenario lo conforman los accidentes como consecuencia. De manera inicial, se emplearon como datos algunos elementos inherentes de las rutas en análisis y a su vez se analizó el estado actual de elementos necesarios para mantener un nivel de seguridad en carretera, como lo son demarcación horizontal y el agarre superficial, los cuales requieren un constante monitoreo y mantenimiento para asegurar el cumplimiento de sus funciones. El producto final consta de un perfil de susceptibilidad, que se define como la posibilidad de que ocurra un evento ante la confluencia de los factores en estudio.

Los deterioros y daños encontrados en las redes viales de las zonas de estudio generan y permite incrementar el costo del transporte de productos agrícolas, que también es parte de la economía de la región, y los ingresos indirectos generados por la los pequeños y medianos productores de la región es menor, por lo que también reduce la calidad de vida.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General. Realizar un análisis de los resultados obtenidos en la matriz de colisión de los departamentos que conforman el nodo nororiente de Colombia.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Evaluar el cumplimiento de las normas que regulan los procesos de educación en seguridad vial en la los departamentos del nororiente colombiano.
- Plantear como estrategia principal la implementación de la Cátedra de Educación y Seguridad Vial en la Universidad Francisco de Paula Santander, como apoyo al sistema de educación nacional y regional.
- Procurar Usuarios más seguros en las vías de tránsito implementando programas integrales para un mejor uso de las vías y el comportamiento del usuario.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación Espacial. La propuesta de implementación de este trabajo se adelantará en los departamentos Norte de Santander, Santander, Boyacá y Arauca.



Figura 1. Ubicación Espacial del proyecto.

Fuente: Imagen Google maps

1.5.2 Delimitación Temporal. El estudio se llevará a cabo dentro de cuatro meses iniciando con la presentación del anteproyecto y culminando con la ejecución del proyecto.

1.5.3 Delimitación Conceptual. Se tendrán en cuenta conceptos como:

- Punto crítico
- Accidente
- Colisión
- Vías

1.6 Justificación

El categórico juicio de Haddon transcripto en el acápite constituye la justificación del corte filosófico de este trabajo, más precisamente, epistemológico, pues trata del conocimiento,

específicamente de la percepción, el pensamiento y la comprensión de la seguridad vial y de su sangriento estado opuesto. Trascendiendo su apariencia especulativa, el tema posee una importancia práctica incalculable porque la percepción precisa y el pensamiento adecuado a la realidad posibilitan responder dos preguntas vitales: ¿Como ocurrió esta calamidad? y ¿Por qué ocurrió?, las cuales conducen a la interrogante mayor: ¿Que hacer para que no vuelva a ocurrir? Las contestaciones correctas dependen de la mirada de los hechos duros a través de los anteojos de un modelo o teoría que haga posible comprenderlos y explicarlos (Huang, 2007).

Contraponiéndose a tal importancia, la elección de alguna de dichas herramientas intelectuales es muy difícil en dos sentidos: desde el punto de vista cuantitativo, en la materia hoy no parece haber ninguna teoría dominante –excepto la de sistemas- pero hay disponibles alrededor de cien modelos de causación, entre los cuales se cuentan, quizá quince, concebidos especialmente para describir y explicar los infortunios viales. Cualitativamente, la elección es un problema más arduo todavía debido a que cada modelo implica un modo de ver propio, un ángulo y un campo visual que pueden ir desde un suceso concreto hasta la siniestralidad total de cierta sociedad, sin perjuicio de un grupo que permite predecir el futuro con garantías de gran exactitud.

Tal copia explica que en el siguiente texto no se pueda encontrar la exposición de todos los modelos existentes, ni siquiera la de algunos muy difundidos. La limitada pretensión del autor ha sido trazar los perfiles generales del instrumento, mostrar su utilidad y analizar someramente algunos ejemplos representativos para que el lector adquiriera una visión general del trascendente tema.

2. Marco Referencial

2.1 Antecedentes del Estudio

2.1.1 Antecedentes Internacionales. De acuerdo con el significado que podría llamarse clásico, las únicas hipótesis de uso correcto del término son aquellas en que los hechos adversos son, conjuntamente, impredecibles e inevitables. Pero el estado actual del conocimiento científico y tecnológico permite casi desterrar la noción de impredecibilidad aunque no siempre la de inevitabilidad, p. ej., los fenómenos sísmicos y climáticos aunque hoy son prácticamente predecibles, siguen siendo inevitables, en cambio, empleando modelos estocásticos los siniestros de tránsito son anticipables con un apreciable grado de exactitud y, por lo tanto, pueden ser evitados en considerable medida adoptando estrategias y medidas apropiadas.

Asumiendo dicha posición de rechazo, el National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA de EUA, en 1997 proclamó como lema institucional: “Las colisiones no son accidentes”, (Crashes aren’t accidents), y eliminó completamente el vocablo en todos sus estudios e intervenciones empleando en su lugar “choque”, “incidente” y “lesión”. Siguiendo el mismo criterio y conforme a sus propios precedentes, la Organización Mundial de la Salud en su informe del 2004 sobre la siniestralidad vial, se manifestó en contra de la equívoca palabra expresando: “En particular el término «accidente» puede dar la impresión de inevitabilidad e impredecibilidad, es decir, de suceso imposible de controlar. Pero los choques causados por el tránsito son, por el contrario, sucesos que cabe someter a un análisis racional y a acciones correctoras”. Ya en 1961 la misma organización había lanzado un llamativo mensaje: "El accidente no es accidental", reiterado en el lema del 2004 con la variante: "La seguridad vial no es accidental" para destacar que no reside en el azar sino en factores controlables. Sin embargo,

contradiendo sus propias críticas, la OMS ni propuso términos sustitutivos, ni dejó de emplear el criticado, al igual que lo siguen haciendo la mayoría de los especialistas que lo critican, seguramente presionados por el empleo secular, bien que inconveniente de accidente.

Se presenta la ejecución del inventario vial georreferenciado de la región Piura el cual fue ejecutado el año 2009 a través la oficina de gestión vial del Gobierno Regional Piura y una breve descripción de los criterios que se adoptaron para elaborar los documentos que sirvieron de base para este inventario. Con esto se logra conocer las características físicas y de estado de la red vial, observándose la problemática existente en la carencia de una política firme del mantenimiento vial, así como de una falta de integración tanto a nivel regional como nacional en la administración de pavimentos. Este trabajo representa un paso importante para iniciar la gestión vial regional la cual debe ser retomada por las autoridades para el manejo adecuado los recursos del Estado.

2.1.2 Antecedentes Nacionales. El inventario y estudio técnico inicial de la autopista Río Magdalena, hace parte de los trabajos para las vías objeto de la concesión “Autopista Río Magdalena 2”, que tienen una longitud total estimada origen destino de 144 kilómetros y su recorrido discurre íntegramente en el departamento de Antioquia.

El objetivo de esta concesión es conectar el sur occidente y centro occidente del país de forma directa con el Puerto de Cartagena y el norte del país, así también el nordeste de Antioquia con la concesión de Ruta del Sol a través de Puerto Berrío, proyectando que se convierta en uno de los corredores viales más importantes del país.

El proyecto hace parte de esta concesión y principalmente aportan a los estudios de mejoramiento de la calzada actual del tramo Alto de Dolores-Puerto Berrío.

Se presentan los principales aspectos técnicos fundamentales para la elaboración de los inventarios viales. De esta manera se sustenta la ubicación general, el alcance, la metodología, los elementos y atributos analizados. Inventarios de señalización y dispositivos de control.

Adicionalmente, se estima que existen 12.251 km vías de particulares (privadas) en la red terciaria." CONPES 3857. 1 Documento CONPES (CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL) 3857, lineamientos de política para la gestión de la red terciaria. Estas carreteras que pertenecen a la red vial terciaria representan más del 70 por ciento de toda la red vial del país, estando en muy malas condiciones. Así lo demuestra un estudio de Fedesarrollo que presento al Congreso Nacional de Infraestructura exponiendo que de los 150.000 kilómetros de caminos regionales más del 80 por ciento se encuentra en regular o simplemente mal estado. En el año 2017 el Índice Global de Competitividad (IGC) explica que nuestro país ocupa el puesto 61 de 138 países con desarrollo de vías terciarias, exponiendo que uno de los principales problemas es la calidad de la infraestructura pues a pesar de las inversiones que se han generado en este sector, los esfuerzos son insuficientes dejando al país en el medio de esta lista. Uno de los problemas más frecuentes en los gobiernos para atender las necesidades de estas vías aparte del presupuesto es la falta de un inventario en la red terciaria de estas vías de baja calidad, la calidad de información que se tiene respecto a este tipo de vías en concreto es un poco incierta debido a que el Ministerio de Transporte y el DNP muestran algunos datos sin soporte de sus respectivos cálculos y teniendo grandes diferencias entre cada entidad aunque el INVIAS se encargara de la actualización de los datos pero únicamente las vías que se encuentran a su cargo dejando las demás vías sin ninguna información específica. (Tito Yepes, 2013) Según la ley 1228 de 2008 en su Artículo 10, creó el SISTEMA INTEGRAL NACIONAL DE INFORMACIÓN DE CARRETERAS "SINC", sistema en el cual los departamentos, municipios y distritos especiales

deben registrar las carreteras existentes dependiendo de su categoría, ubicación y especificaciones, el administrador del sistema SINC delegado por la ley es el Ministerio de Transporte quien es el responsable de brindar las herramientas necesarias para su funcionamiento. En principio se tenía la resolución 1860 de mayo del 2013 del Ministerio del Transporte En donde adopta la metodología para el reporte de la información en el SINC luego se reformo algunos artículos para extender los plazos de entrega y simplificación de los aspectos estructurales de las capas y características geográficas de la información llagando a la norma actual, resolución 1321 30 de abril del 2018. Estos registros o actividades que se deben cargar al sistema han sido en muchas ocasiones aplazados por los departamentos y municipios por varios motivos, generando que los esfuerzos del gobierno por tener al día esta información sean malgastados, originando incertidumbre en conocer con exactitud la red de vías con sus necesidades y especificaciones en cada vía haciendo que los métodos para levantar la información sean un obstáculo para la implementación de un sistema de gestión vial. (COLOMBIA, 2016) Es muy importante destacar que si se realiza una buena captura y organización de la información de los inventarios que tiene cada departamento y cada municipio al gobierno nacional, con respecto a la infraestructura vial terciaria para este caso en particular, permitirá realizar proyectos obras y planes a corto, mediano y largo plazo que darán respuestas a las necesidades de cada población impactando de manera positivo a toda una comunidad, además de esto es importante entender el escenario en el que se encuentra Colombia, Boyacá y específicamente el municipio en donde está enfocado este trabajo Iza las posibilidades que tiene el ingeniero Civil y demás profesionales relacionados para actuar en ellas.

2.2 Marco Teórico

En Colombia la gestión vial está a cargo de la nación, los departamentos y los municipios. Cada uno de estos niveles administrativos tiene a su cargo una malla vial que va descendiendo en calidad y categoría en la medida que se pasa del primer nivel al tercero, pero que en longitud se incrementa en sentido inverso (sin embargo, no es raro encontrar que algunas carreteras nacionales tienen menores especificaciones geométricas que algunas carreteras departamentales y, a su vez, que algunos caminos vecinales tengan mejores especificaciones que algunas carreteras departamentales).

Actualmente se estima que el Sistema Nacional de Carretera tiene una longitud de 215.988 km, de los cuales 17.382 (8 %) hacen parte de la llamada Red de Primer Orden, gestionada por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) y la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). La Red Vial de Segundo Orden suma 44.399 km (21 %) y la Red de Tercer Orden, o Veredal, cuenta con 154.207 km (71 %) –incluidos cerca de 12.500 km de caminos privados–, los cuales están bajo la gestión de los departamentos, los distritos, los municipios e INVÍAS.

Red vial Primaria.

Está constituida por las carreteras que unen las principales ciudades entre sí, con los puertos marítimos, fronteras terrestres y otros nodos de intercambio modal. Esta red es básica para la integración y competitividad del país (pues une a las áreas de producción con las de consumo) y, en su mayor parte, está constituida por vías de doble calzada y carreteras bidireccionales pavimentadas y con especificaciones geométricas adecuadas. En esta red se tienen los mayores movimientos de pasajeros y carga en el país, particularmente en los corredores de comercio exterior. El planeamiento de esta red está definido por el Plan Maestro de Transporte Intermodal.

Red vial Secundaria.

Compuesta por carreteras de calzada bidireccional, con o sin pavimento. Durante largo tiempo hubo desconocimiento sobre las características de esta red, pero gracias a la realización del Plan Vial Regional (PVR), adelantado por el Ministerio de Transporte (MT), actualmente se tiene una idea más clara sobre su longitud y estado. Se sabe, por ejemplo, que cerca de 8.000 km están pavimentados y que los volúmenes de tránsito son, por lo general, inferiores a 500 vehículos por día.

En el año 1961 las carreteras departamentales tenían una longitud de 14.851 km y, de acuerdo con varios estudios realizados en esa época, su estado era precario, tanto en lo que se refiere a sus especificaciones geométricas, como al estado de la superficie.

Esta red fue creciendo, tanto por la adición de nuevos tramos, como por la transferencia de algunas vías de la Nación a los departamentos y el compromiso que existía en el sentido de que éstos debían encargarse del mantenimiento de las carreteras construidas por el Fondo Nacional de Caminos Vecinales (FNCV), el Instituto Colombiano de Reforma Agraria (INCORA), el programa de Desarrollo Rural Integrado (DRI) y otras entidades, aunque en realidad pocas veces lo hicieron.

Con la expedición de la Ley 105 de 1993, se estableció que las vías primarias deberían pertenecer a la nación y aquellas de carácter secundario deberían ser responsabilidad de los departamentos. Estos, a su vez, deberían replicar el ejercicio y ceder el control de las vías terciarias (incluidos los caminos vecinales) a los municipios. Para esta transferencia, la ley creó el Fondo de Cofinanciación de Vías, por medio del cual se entregaría a los departamentos o

municipios una suma fija para el mantenimiento de las vías asignadas. Pese al esfuerzo realizado, pocas vías fueron transferidas y siguen bajo la gestión nacional.

Consciente de las debilidades existentes en la gestión de la malla vial Secundaria, en el año 2008 el Gobierno Nacional tomó la iniciativa de adelantar el Plan Vial Regional (PVR) (CONPES 3478, 2008), con el objeto de apoyar a los departamentos para enfrentar su debilidad financiera e institucional y la ausencia de políticas de sostenibilidad y buen uso de las vías. Dicho programa incluía en cada departamento la realización de un inventario de longitudes, especificaciones geométricas y estado de las superficies viales, el cual debería servir de base para la elaboración de un Plan Vial Departamental, de acuerdo con criterios y lineamientos establecidos por el Ministerio de Transporte. Pese a que en los distintos departamentos se realizaron los inventarios viales, se identificaron proyectos y se definieron prioridades de inversión, los inventarios no han sido actualizados y muchos proyectos están sin ejecutar. Unos pocos han sido incluidos en programas de Contrato-Plan donde se busca unir esfuerzos entre la Nación y los departamentos en la ejecución de obras de pavimentación, rehabilitación y construcción de nuevas vías.

Según el inventario realizado por el PVR, la Red Vial Departamental tiene una longitud de 44.399 km de los cuales el 48,2 % corresponde a vías en afirmado; 24 % a vías pavimentadas, y 28 % a vías destapadas (en tierra). Solo el 31 % de las vías pavimentadas se encuentran en buen estado.

Red vial Terciaria.

Que cumple una función de interconexión entre las veredas, las cabeceras municipales y las carreteras departamentales. Muchas de estas vías son angostas y tienen fuertes pendientes, y solo

cerca de 1.400 km están pavimentados. En esta red los volúmenes de tránsito son, en promedio, inferiores a 30 vehículos por día.

Esta malla vial se encuentra bajo la gestión de INVIAS, los departamentos y los municipios, y tiene una longitud de 27.577 km, que representa el 18 % del total y corresponde a la red no transferida del antiguo Fondo Nacional de Caminos Vecinales. La red a cargo de los departamentos suma 13.959 km lo que equivale al 9 %, mientras que la red a cargo de los municipios alcanza los 100.419 km y representa el 65 % del total. Existe también una red privada de caminos que ha sido construida para fines específicos, como pueden ser el acceso a proyectos de exploración y explotación petrolera. Esta red privada de caminos se estima en 12.251 km, o sea el 8 %. Estas cifras no incluyen los caminos construidos ilegalmente por grupos al margen de la ley ni tampoco aquellos que soportan las actividades de la minería ilegal.

En la conformación de esta malla vial han participado distintas entidades gubernamentales, empresas privadas, e incluso los ciudadanos, estos últimos en forma individual o bajo diferentes modalidades de organización ciudadana, como las Juntas de Acción Comunal. Los pequeños caminos son las obras que verdaderamente llegan al campesino, apoyan la producción y comercialización de sus productos y facilitan su acceso a los servicios básicos, pero muchas de estas son simples trochas.

Claramente existe una diferencia notable entre aquellas áreas con y sin acceso vial. No en vano, distintos estudios destacan una relación directa entre pobreza, ruralidad y aislamiento geográfico”. Los caminos incluidos en esta red son los que llegan a los más lejanos extremos de la geografía nacional, en apoyo de los campesinos y comunidades aisladas.

Hasta 1960 la gestión de los caminos vecinales a nivel nacional estuvo orientada por el Ministerio de Obras Públicas, y a nivel regional por los departamentos y municipios. En todos los casos, sin mayor coordinación o planificación, aunque siempre hubo conciencia de la importancia de este tipo de vías, ya fuese para colonización, acceso a comunidades en áreas aisladas, o para comunicación intra e intermunicipal.

Desde su creación, en 1960, el FNCV tuvo como objetivo atender y coordinar la construcción, conservación y el mejoramiento de caminos regionales y vías locales, logrando grandes avances en la conformación de la malla vial terciaria. Aunque se utilizaban manuales y especificaciones de diseño, estos no estaban adecuados a las condiciones especiales de las vías con bajos volúmenes de tránsito.

El decreto extraordinario 77 de 1987, consignado en la Ley 12 de 1986, estableció la transferencia de recursos del IVA a los municipios, y obligó al FNCV a disminuir su tamaño y ejecutar solamente obras que fueran cofinanciadas por los municipios. En 1993, la Ley 105 fijó una política de descentralización y cofinanciamiento vial y se inició el proceso de Cuando se decretó su supresión, la Red terciaria a cargo del FNCV llegaba a más de 32.000 km, una longitud superior a la correspondiente a la red primaria a cargo del Ministerio de Obras Públicas. En cumplimiento de la Ley 105 del 93 se trató de transferir las vías que la conformaban a los municipios, pero esto solo se pudo realizar parcialmente y las vías no transferidas pasaron a constituir lo que se conoce como la Red Terciaria, actualmente a cargo de INVIAS.

Circulación vial.

La circulación vial se representa como un sistema formado por tres factores que se interrelacionan entre sí: El usuario o factor humano, el vehículo o factor mecánico y la carretera

y su entorno (entendiendo el entorno como los factores que rodean a la carretera: factores climatológicos, factores medioambientales, etc.). Cuando sucede un accidente de tráfico se considera que se ha producido una anomalía en uno o en varios de los factores de dicho sistema. Con el fin de valorizar la importancia relativa de los tres factores que están presentes en los accidentes de circulación vial, equipos multidisciplinares han realizado diversas investigaciones de accidentes. Entre todas ellas, cabe mencionar los resultados obtenidos en dos investigaciones realizadas en el Reino Unido y en los Estados Unidos de Norteamérica. Los resultados de estas dos investigaciones se muestran en la tabla nº1. Al analizar las estimaciones de la tabla nº1 se llega a la deducción de que en aproximadamente más de un 90% de los accidentes aparece implicado un error en la atención, en la toma de decisiones y en la respuesta del ser humano. Por lo tanto, a menudo, la opinión de los profesionales relacionados con el campo de la seguridad vial está orientada en el sentido de luchar contra los accidentes de circulación vial principalmente a través de la enseñanza, la información y la vigilancia policial sobre el cumplimiento de las normas de tráfico. Es decir, aquellas medidas que se relacionan con el factor humano. A pesar de la indudable trascendencia que todas estas medidas tienen sobre la buena práctica de la conducción, una conclusión de este tipo oculta el verdadero origen de los accidentes, que está fuertemente arraigado en el actual funcionamiento del sistema de tráfico por carretera. Sistema que, por cierto, deja demasiado hueco para el error humano. El tráfico moderno enfrenta al usuario de la carretera con una serie de escenarios viarios y circulatorios totalmente imprevisibles. El actual sistema hace que, en numerosas ocasiones, los usuarios difícilmente sean capaces de reconocer los peligros potenciales y, además, exige que éstos tengan un elevado grado de experiencia que les permita evitar situaciones conflictivas.

Tabla 1.
Comparativo de accidentalidad en Reino Unido y USA.

	CONTRIBUCIÓN	Estudio del Reino Unido	Estudio de USA
Factor único	Carretera y entorno	2.5%	3.25%
	Usuario	0,65%	57.25%
	Vehículo	2.5%	2.25%
Factor doble	Carretera, entorno y usuario	0,24	27.5%
	Usuario y vehículo	4.5%	6.25%
	Carretera, entorno y vehículo	0.25%	1.5%
Factor triple	Los tres factores	1.25%	0,02%

Fuente: Sistemas de gestión de la seguridad de la circulación vial, Pérez, 2000.

Con respecto a dichos resultados, cabe decir que no es sorprendente la elevada participación del factor humano, a fin de cuentas, quizás se debería esperar que el usuario esté involucrado en un 100% de los accidentes. Esto es así porque cuando el accidente sea imputable a los factores de la carretera o del vehículo, casi siempre existirá una acción alternativa por parte del elemento humano que, de haberse producido, evitaría el accidente. En cualquier caso, desde un punto de vista mucho más amplio, las personas siempre están involucradas en el proyecto, construcción, conservación y, explotación, de los vehículos y carreteras.

Estas investigaciones están basadas en la premisa de que si una o varias características distintivas (de la carretera y su entorno) no hubieran estado presentes en el desenlace del accidente de tráfico, éste hubiera sido totalmente diferente. Esto origina algunos problemas de interpretación. Por ejemplo, un accidente de *choque frontal* producido en una carretera convencional con pavimento seco y, además, bien iluminada posiblemente sería completamente imputado al factor humano debido a un error producido en la conducción. Pero, por contra, se podría argumentar que el accidente no hubiera ocurrido si el acontecimiento se hubiera producido, por ejemplo, en una carretera con calzadas separadas. Por consiguiente, cuando se achacan los accidentes al factor humano casi siempre se tienen disponibles, sobre la carretera y

suentorno, una serie factible de actuaciones de ingeniería que, de haberse ejecutado previamente, hubieran producido desenlaces completamente disímiles.

Los factores obtenidos en este tipo de investigaciones multidisciplinarias, que sin duda delimitan la causalidad que acompaña al accidente de tráfico, casi nunca apuntan una dirección a tener en cuenta para la adopción de actuaciones de seguridad vial efectivas desde un punto de vista de rentabilidad económica. Precisamente, cuando se consideran actuaciones de mejora de la seguridad vial, hay que tener en cuenta que las más efectivas ni mucho menos tienen por qué estar directamente relacionadas con la “*causa*” principal del accidente. Esto es particularmente cierto en los accidentes donde el usuario de la carretera comete un desacierto al interpretar el entorno de esta. En otras palabras, en muchas ocasiones en las que la causa principal se atribuye a la falta de habilidad del conductor; es decir, a la falla humana, las actuaciones de mejora de la seguridad de la circulación vial tienen una mayor rentabilidad y, también, son más fáciles de llevar a cabo que el adiestramiento del conductor para que obtenga el suficiente grado de preparación. Además, hay que tener en cuenta que, aunque no se puedan evitar los accidentes, todavía, mediante actuaciones paliativas, existe un considerable potencial en la reducción de la gravedad de estos.

La mejoría de las características físicas y del diseño geométrico de las carreteras, el perfeccionamiento en el control y regulación de las variables del tráfico afectarán a la probabilidad de acaecimiento de los accidentes o a la gravedad de estos, de tal manera que la diferenciación entre la carretera o los factores humanos como una *causa* nunca resulta útil. Solamente existe una cadena causal en la cual la carretera, su entorno y su equipamiento (las marcas viales, señalización horizontal, balizamiento, etc.) influyen en lo que hacen los conductores de los vehículos.

Entre todos los factores que conforman el sistema de circulación vial, el factor humano, por ser el más complejo, es el más difícil de modificar, por consiguiente, las características humanas deberían ser las variables dependientes en la construcción del sistema. En efecto, el ser humano tiene diversas limitaciones básicas que deberían considerarse en el diseño geométrico de la carretera, de la superficie del pavimento, señalización horizontal y vertical, semáforos, iluminación, vehículos, etc. Es por ello por lo que se debe aplicar el principio de que el ser humano debe constituir la norma de referencia. El sistema de tráfico por carretera debe estar dotado de: una infraestructura adaptada a las limitaciones de la capacidad humana mediante un proyecto adecuado, vehículos dotados con equipos que permitan simplificar tareas y que estén contruidos de tal modo que protejan la vulnerabilidad del ser humano de la manera más efectiva posible.

Desde el punto de vista de la ingeniería de seguridad vial, la cuestión importante a tener en cuenta con respecto a lo dicho anteriormente es que, debido a que el hombre es la clave de la cuestión, el ingeniero de tráfico debe tener conocimiento del factor humano y, por lo tanto, concebir las actuaciones de mejora de la seguridad de modo que produzcan sobre el comportamiento humano una influencia positiva. Necesariamente, es positivo enfatizar que, aunque en teoría los factores relacionados con la carretera afectan aproximadamente a solamente un 30% de los accidentes, las actuaciones sobre la vía pueden contribuir a la mejora de la seguridad vial en un porcentaje mucho mayor que ese 30%, ya que estas medidas actúan, en muchos casos, mejorando, influenciando y corrigiendo el comportamiento del factor dominante; es decir, el usuario de la carretera.

Particularidades de la seguridad vial.

Durante el siglo XX el pensamiento sobre la seguridad vial evolucionó siguiendo cuatro paradigmas propios, es decir cuatro concepciones generales de la misma, de sus problemas y de sus soluciones. De cada forma de enfocar, percibir y pensar el fenómeno resultaron distintas metodologías de investigación, varios modelos de causación y de prevención y ciertas contramedidas específicas. Sobre este tema la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico –OCDE- publicó en 1997 un documento cuya síntesis se expone a continuación por su importancia para entender el desarrollo del pensamiento sobre la seguridad vial y como se llegó a las concepciones actuales.

Tabla 2.

Síntesis de los paradigmas de la seguridad vial.

SÍNTESIS DE LOS PARADIGMAS DE LA SEGURIDAD VIAL				
ASPECTO	PARADIGMA I	PARADIGMA II	PARADIGMA III	PARADIGMA IV
Periodo	1900 - 1935/35	1935/35 - 1965/70	1965/70 - 1980/85	1980/85 - ¿?...?
Descripción	Dominio de los vehículos	Dominio de las situaciones de tránsito	Gestión del sistema de tránsito	Gestión del sistema de transporte
Idea principal y foco	Uso de los vehículos motorizados como carruajes	Adaptación del hombre al manejo de las situaciones de tránsito	Eliminación de los riesgos del sistema	Consideración de la exposición al riesgo. Regulación del sistema de transporte
Principales disciplinas involucradas	Aplicación de la ley (<i>Enforcement</i>)	Ingenierías vial y automotriz	Ingenierías Medicina del tránsito. Estadística avanzada	Tecnología avanzada. Análisis de sistemas Sociología Comunicación
Términos usados para los eventos indeseables	Colisión	Accidente	Victima	Costo Sufrimiento
Ideas sobre la inseguridad	Problema de transición Etapa de ajuste	Problema individual de falta de ética o de habilidades	Defectos del sistema de tránsito	Exposición al riesgo
Contramedidas típicas	Inspección técnica de los vehículos Patrullas escolares	Estrategia de las 3E Detección de la propensión al siniestro	Medidas combinadas para reducir los riesgos	Creación de redes Evaluación de costos
Efectos	Incremento gradual de los vehículos y del	Rápido aumento del riesgo de lesión y	Ciclos sucesivos de reducción de los	Reducción continua de los siniestros

Fuente: OCDE, 1997

1) Primer paradigma (1900-1925/35)

Según la visión preconizada por este paradigma, el “Dominio de los vehículos motorizados” constituía la cuestión medular de la seguridad vial; consecuentemente, su objetivo era controlar el uso de los automotores en sí mismos del mismo modo que se hacía anteriormente con los carruajes tirados por animales. Por tanto, el concepto y las contramedidas de seguridad estuvieron basados principalmente en la experiencia acumulada en el empleo de ingenios de tracción a sangre. Empero, durante el periodo no hubo verdadera investigación científica, sino una descripción de lo que ocurría en la realidad a través del estudio estadístico de los datos de siniestros viales.

En la práctica esta visión dio lugar a un conjunto de ajustes del vehículo y del conductor; los esfuerzos por la seguridad se enfocaron en el “qué” componentes mecánicos necesitaban ser regulados con contramedidas en el corto plazo y “cuales” regulaciones se necesitaban desarrollar en el largo plazo.

2) Segundo paradigma (1925/35-1965/70)

El problema fundamental de este paradigma se centró en el “Control de las situaciones de tránsito” desplazando así la mirada desde los vehículos hacia sus conductores, tratando de comprender especialmente porqué estos cometen errores, lo que se convirtió en el objetivo principal de las investigaciones sobre seguridad vial.

A diferencia de la etapa anterior, en esta se realizaron estudios sistemáticos en los cuales participaron múltiples disciplinas científicas desde sus propios campos de conocimiento (p. ej. ingeniería/s, medicina, psicología, sociología, etc.). Consecuentemente, las contramedidas de

seguridad se generaron basándose en descripciones del problema desde los diversos componentes del sistema: el vehículo, el conductor, la infraestructura vial y el ambiente. Un avance particularmente importante de esta época fue el surgimiento del concepto de “Factores Humanos”, entendido como la contribución de la naturaleza humana en el desarrollo de una disfunción o fallo técnico en el manejo de las máquinas en general y de los vehículos en particular. En este sentido durante la época tuvo gran influencia la Teoría de la Propensión a los Siniestros que dio lugar al sistema de licencia de puntos (el primero en 1947 en Connecticut, EUA) y a las técnicas para corregir a los conductores problemáticos desarrolladas por la corriente teórica estadounidense denominada “Driver Improvement”.

Como fruto de este paradigma, también se formuló la famosa estrategia de prevención de las “3E” (por su sigla en inglés: Engineering, Education, Enforcement) que Arias Paz tradujo como “Frente de las tres I” por “Ingeniería, Instrucción e Inspección”, popularizada en Latinoamérica por el ingeniero mexicano Rafael Cal y Mayor mediante la metáfora del “Templo de la Seguridad Vial” sustentado por tres columnas: “Aplicación de la ley, Educación e Ingeniería”.

Asimismo, en este periodo surgió, en el campo de la siniestralidad laboral, la primera concepción general sistemática explicativa de la acusación de los siniestros: el modelo de Heinrich llamado del Efecto dominó que constituyó el origen de la prolífica familia de los modelos secuenciales que se expondrán más abajo.

3) Tercer paradigma (1965/70-1980/85)

El problema nuclear de este paradigma consistió en el “Manejo (gestión) del sistema de tránsito” entendido este como la circulación terrestre peatonal-vehicular, para lo cual se consideró prioritaria la remoción de los riesgos del sistema, especialmente los de lesión de los

partícipes. Dado que en los periodos previos se había concebido una gran cantidad de conceptos y contramedidas enfocados al vehículo y a los errores del conductor, en este la principal cuestión radicó en como priorizar entre los mismos, lo que llevó a desarrollar la prevención mediante proyectos específicos en el contexto de un manejo sistemático de la seguridad vial.

Entre otras consecuencias destacables del sólido enfoque científico propio de este paradigma se cuentan el desarrollo de modelos matemáticos para la predicción de los siniestros viales y el cálculo de la ratio Costo/Beneficio y Costo/Eficacia de las medidas preventivas.

4) Cuarto paradigma (1980/2022...)

El blanco enfocado por este paradigma es la “Gestión del sistema de transporte”, es decir, como manejar el transporte considerado integralmente como un sistema global complejo comprensivo de todos los modos de movilidad y transportación. El concepto de prevención en este periodo es, no solo reducir el riesgo de lesión sino, y, sobre todo, minimizar proactivamente la exposición al mismo; por ende, las contramedidas de prevención apuntan a como dirigir el sistema a menores niveles, formas y modos de riesgo.

Puede verse que con cada paradigma el alcance de la seguridad se fue extendiendo, pero los primeros no fueron completamente reemplazados por los últimos porque estos fueron construidos con aquellos. El proceso de aprendizaje evolucionó en el enfoque de la prevención de siniestros transitando desde el problema de la identificación de las causas y la generación de contramedidas a la priorización de estas.

Obviamente, también los modelos de causación fueron correlativos a la visión de cada paradigma. El primero y el segundo, con sus focos puestos en la mecánica del vehículo y en los

errores del conductor dieron lugar a los modelos secuenciales. En la época del tercer paradigma, cuando el alcance de la prevención se extendió considerando el tránsito como una organización compleja, surgieron los modelos epidemiológicos y en el periodo del cuarto, el alcance volvió a extenderse tratando de alcanzar la totalidad del transporte entendido como un sistema sociotécnico global.

2.3 Marco Legal

El Consejo Superior Universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander, estableció el Estatuto Estudiantil el día 26 de agosto de 1996 mediante el acuerdo No. 065, donde Artículo 38. Ningún estudiante podrá graduarse con promedio ponderado acumulado inferior a tres, uno (3.1).

Parágrafo: El Estudiante que haya aprobado el 80% de los créditos de su plan de estudios, podrá matricular adicionalmente proyectos académicos en áreas de investigación, aprobación del 30 Comité Curricular del plan de estudios respectivo, con el fin de mejorar su promedio ponderado acumulado, o de iniciar su proyecto de grado.

El proyecto se enmarca desde la Constitución Política de Colombia de 1991, la cual en su artículo 1º menciona que: “Colombia es un Estado Social de Derecho, fundado en el respeto de la dignidad humana, en el trabajo y la solidaridad de las personas que lo integran, y en la prevalencia del interés general”.

De igual forma, el artículo 2 de la misma establece en su segundo inciso que “Las autoridades de la República están instituidas para proteger a todas las personas residentes en Colombia, en su

vida, honra, bienes, creencias, y demás derechos y libertades, y para asegurar el cumplimiento de los deberes sociales del Estado y de los particulares”.

Es decir que las autoridades de tránsito son las que realizan las actividades de control de las carreteras para el cumplimiento de las normativas reglamentadas en la circulación de las vías. El respeto por estas normas permite que se salvaguarden la vida y los bienes de quienes por ellas circulan, es decir que deben velar no solamente porque los ciudadanos cumplan con las normas de tránsito, sino que también deben velar porque las vías se encuentren en un excelente estado, con sus respectivas demarcaciones, señalizaciones y semáforos.

El artículo 24 de la precitada Constitución plantea: “todo colombiano puede circular libremente por el territorio nacional, con las limitaciones que establezca la Ley” y, en su Artículo 79 dicta que “todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano, y es deber del Estado protegerlo”. En este sentido, el Estado colombiano, y especialmente los alcaldes, gobernadores y autoridades de tránsito, deben brindar a los usuarios de las vías seguridad y éstos a su vez respetar las normas y reglamentación estipulada para su protección.

Ley 1503 del 29 de diciembre del 2011. La cual tiene por objeto definir lineamientos sobre “(...) formación de hábitos, comportamientos y conductas seguros en la vía y, en consecuencia, la formación de criterios autónomos, solidarios y prudentes para la toma de decisiones en situaciones de desplazamiento o de uso de la vía pública” y en la cual define la importancia de la seguridad vial. Ley 769 de 2002. Mediante el cual se expide el Código Nacional de Tránsito tiene como objetivo: “(...) la seguridad de los usuarios, calidad, oportunidad, cubrimiento, libertad de acceso, plena identificación, libre circulación, educación y descentralización”.

3. Análisis de Matriz de Colisión

3.1 Norte de Santander

Tabla 3.

Matriz de colisión Norte de Santander

Usuario de la vía	Motocicleta	No aplica	Objeto fijo	Sin información	Transporte de carga	Transporte de pasajeros	Transporte individual	Total	% Total
Peatón	0	0	0	1	0	1	2	4	14,29%
Usuario de bicicleta conductor	0	0	0	0	1	0	1	2	7,14%
Usuario de moto conductor	3	1	2	2	4	2	2	16	57,14%
Usuario de moto pasajero	0	0	0	0	1	0	0	1	3,57%
Usuario de vehículo individual conductor	0	1	1	0	1	0	0	3	10,71%
Usuario de vehículo individual pasajero	0	2	0	0	0	0	0	2	7,14%
Usuario de vehículo de transporte publico	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
Total								28	100,00%

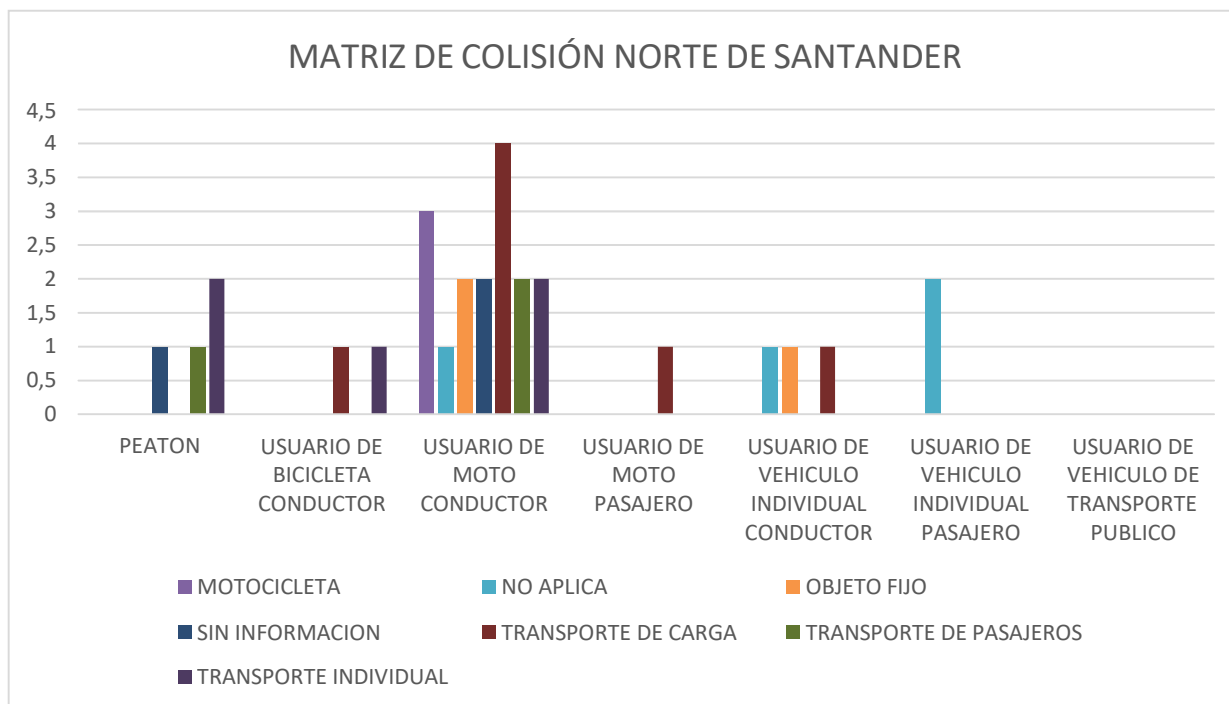


Figura 2. Matriz de colisión Norte de Santander.

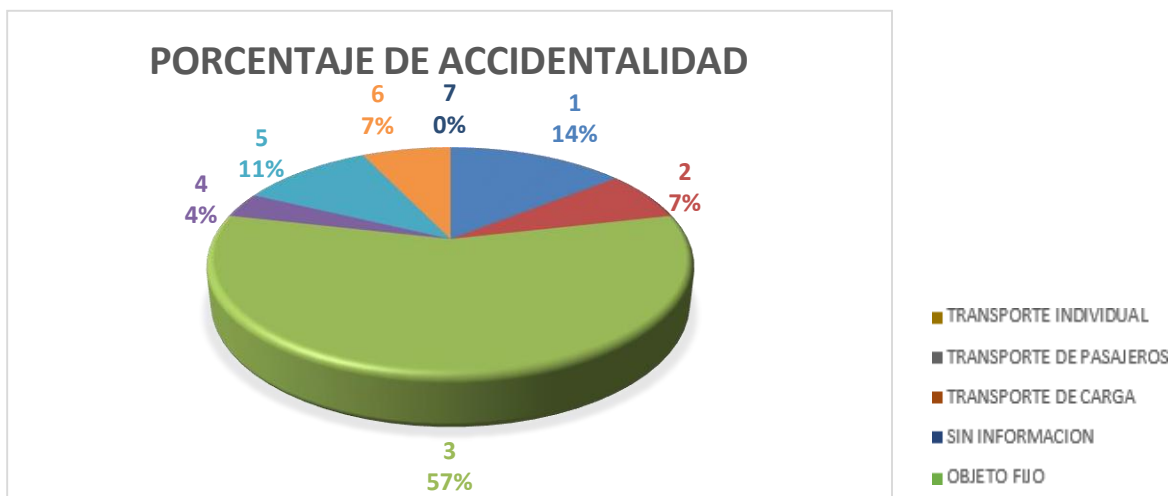


Figura 3. Porcentaje de accidentalidad Norte de Santander.

Observamos que estadísticamente en la matriz de colisión se tiene una fatalidad del peatón en accidentes con transporte de pasajeros y transporte individual del 14.29%, encontramos que usuario de bicicleta conductor, colisionando con transporte de carga y transporte individual un porcentaje de 7,14%, usuario de moto conductor colisionando con motocicleta, objeto fijo,

transporte de carga y transporte de pasajeros con el 57,14% de fatalidad en accidentes presentados, tenemos que usuario de moto pasajero colisionando con transporte de carga tiene un porcentaje de 3,57%, usuario de vehículo individual conductor colisionando con objeto fijo y transporte de carga tiene un porcentaje de 10,71%, las estadísticas de colisión de usuario de vehículo individual pasajero con no aplica es del 7,14%, por ultimo tenemos en la matriz de colisión que no se presentaron accidentes que involucren el servicio público.

3.2 Santander

Tabla 4.

Matriz de colisión Santander.

Usuario de la vía	Motocicleta	No aplica	Objeto fijo	Otros	Sin información	Transporte de carga	Transporte individual	Total	% total
Peatón	4	0	0	1	6	3	5	19	22,62%
Usuario de bicicleta conductor	2	0	0	0	0	1	0	3	3,57%
Usuario de moto conductor	4	3	8	0	0	4	5	24	28,57%
Usuario de moto pasajero	0	0	2	0	0	2	0	4	4,76%
Usuario de vehículo individual pasajero	0	4	1	0	0	0	0	5	5,95%
Usuario t. Carga conductor	0	0	1	0	0	0	0	1	1,19%
Total								56	66,67%

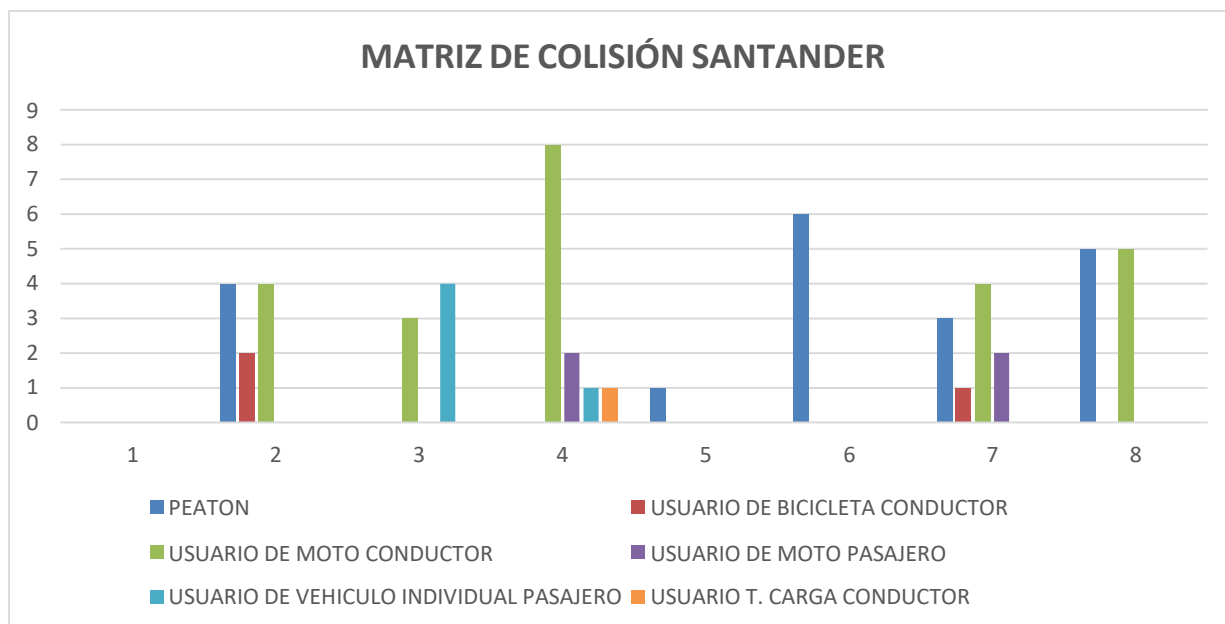


Figura 4. Matriz de colisión Santander.

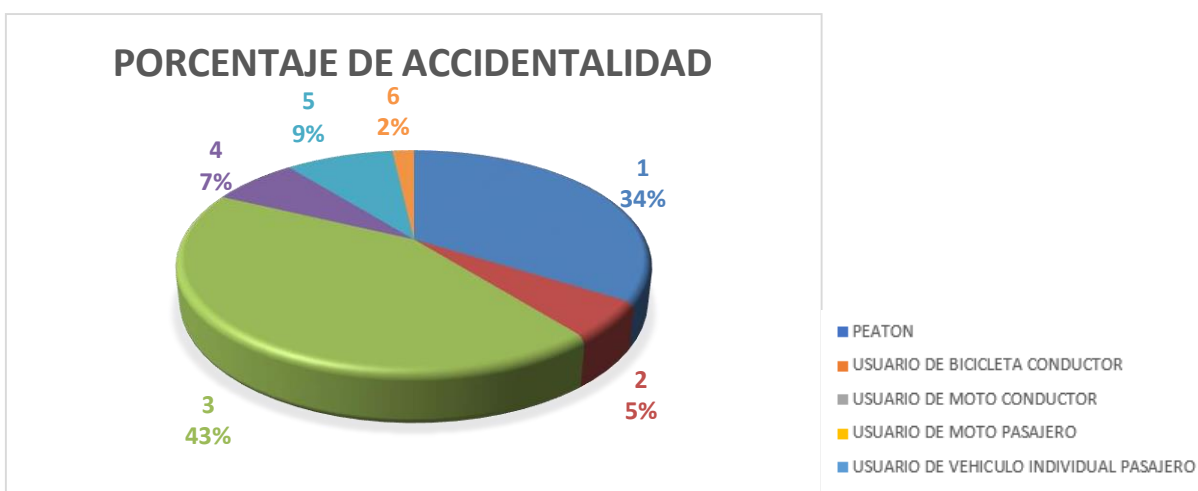


Figura 5. Porcentaje de accidentalidad Santander.

Observamos que estadísticamente en la matriz de colisión se tiene una fatalidad del peatón en accidentes con motocicleta, otros, sin información, transporte de carga y transporte individual del 22,62%, encontramos que usuario de bicicleta conductor, colisionando con motocicleta y transporte de carga un porcentaje de 3,57%, usuario de moto conductor colisionando con motocicleta, no aplica, objeto fijo, transporte de carga y transporte individual con el 28,57% de

fatalidad en accidentes presentados, tenemos que usuario de moto pasajero colisionando con objeto fijo y transporte de carga tiene un porcentaje de 4,76%, usuario de vehículo individual pasajero colisionando con no aplica y objeto fijo tiene un porcentaje de 5,95%, por último, las estadísticas de colisión de usuario de transporte carga conductor con objeto fijo es del 1,19%.

3.3 Arauca

Tabla 5.

Matriz de colisión Arauca.

Usuario de la vía	Motocicleta	No aplica	Objeto fijo	Sin información	Transporte de carga	Transporte de pasajeros	Transporte individual	Total	% total
Usuario de bicicleta	0	0	0	1	0	0	0	1	3,85%
Usuario de moto conductor	2	4	0	0	1	1	2	10	38,46%
Usuario de moto pasajero	0	1	0	0	0	0	1	2	7,69%
Total								13	50,00%

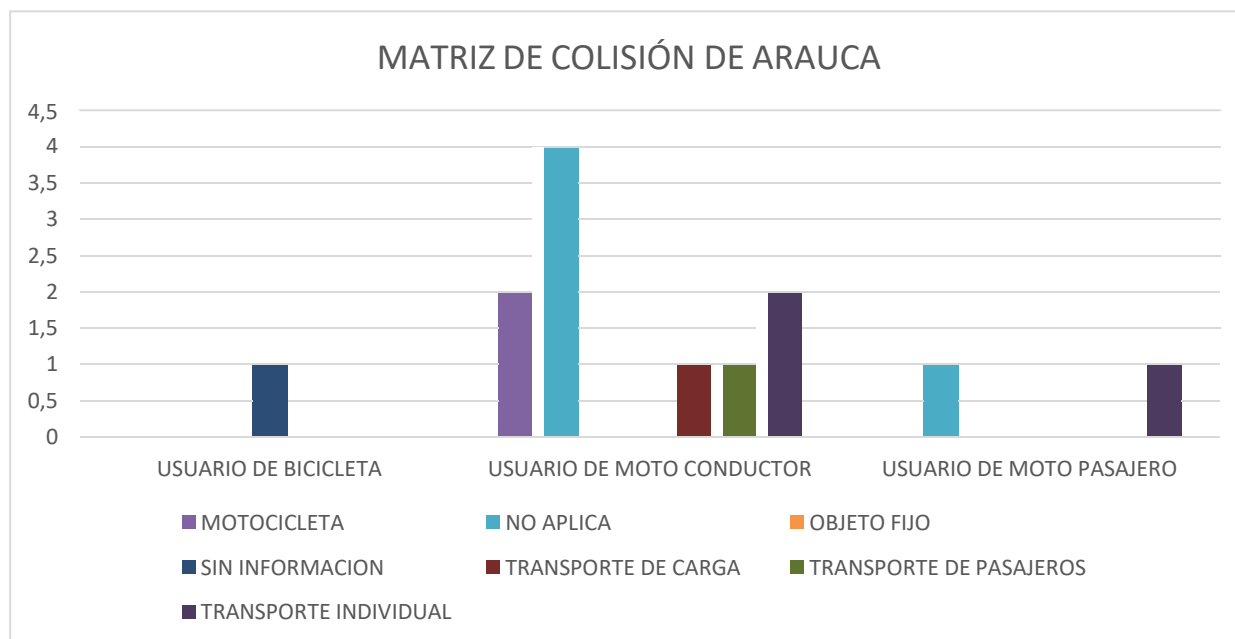


Figura 6. Matriz de colisión Arauca.

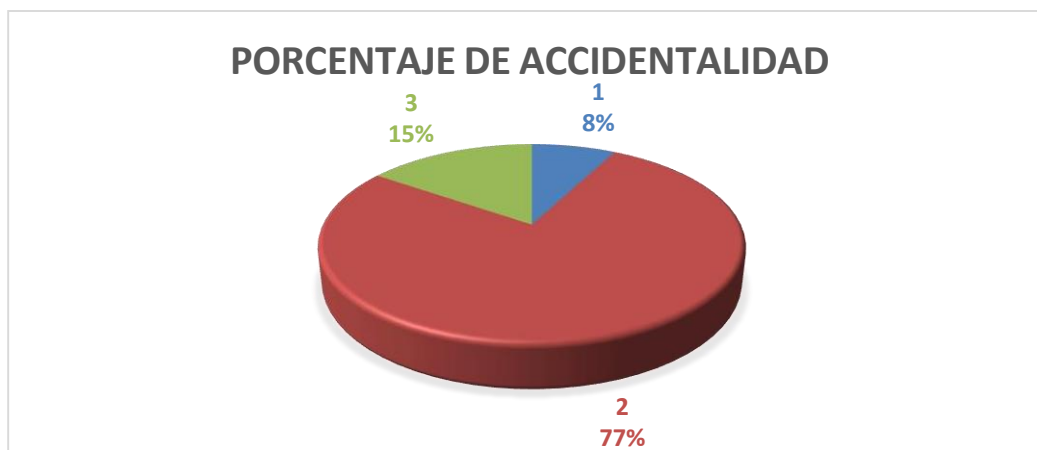


Figura 7. Porcentaje de accidentalidad Arauca.

Observamos que estadísticamente en la matriz de colisión se tiene una fatalidad del usuario de bicicleta en accidentes sin información, del 3,85%, encontramos que usuario de moto conductor, colisionando con motocicleta, no aplica, transporte de carga, transporte de pasajeros y transporte individual con un porcentaje de 38,46%, usuario de moto pasajero colisionando con no aplica y transporte individual con el 7,69% de fatalidad en accidentes presentados.

3.4 Boyacá

Tabla 6.

Matriz de colisión Boyacá.

Usuario de la vía	Motocicleta	No aplica	Objeto fijo	Sin información	Transporte de carga	Transporte individual	Total	% total
Peatón	0	0	0	17	1	2	20	28,57%
Usuario de bicicleta conductor	0	0	1	0	1	1	3	4,29%
Usuario de moto conductor	0	1	1	0	3	2	7	10,00%
Usuario de moto pasajero	0	0	0	0	1	1	2	2,86%
Usuario de vehículo individual pasajero	0	0	0	0	1	0	1	1,43%
Usuario transporte de carga pasajero	0	1	0	0	0	0	1	1,43%
Usuario transporte pasajero	0	0	1	0	0	0	1	1,43%
Total							35	50,00%

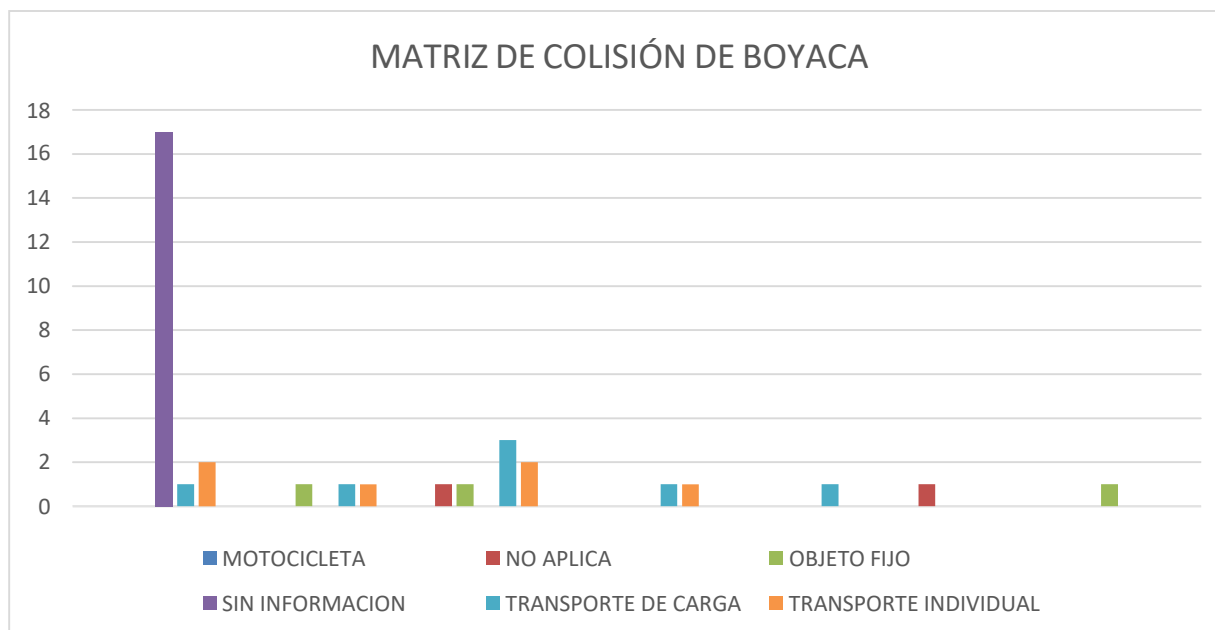


Figura 8. Matriz de colisión Boyacá.

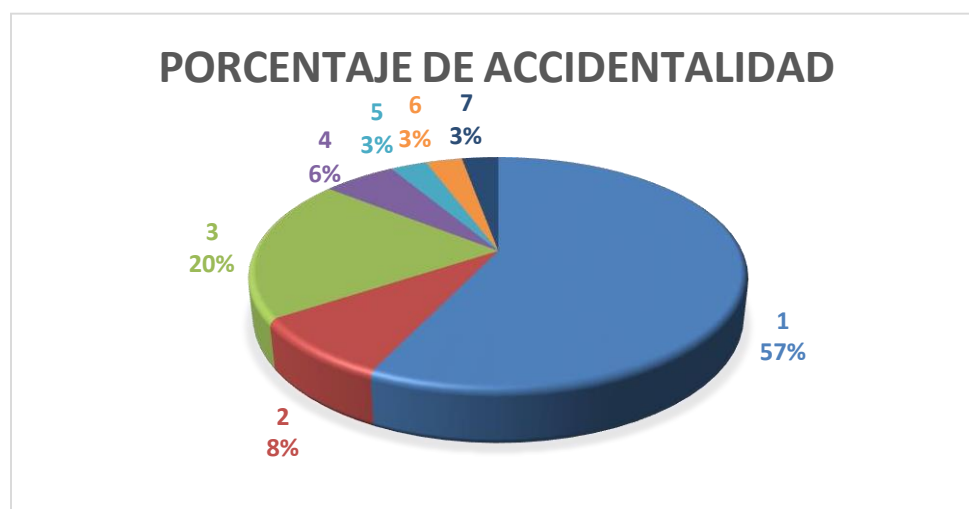


Figura 9. Porcentaje de accidentalidad Boyacá.

Observamos que estadísticamente en la matriz de colisión se tiene una fatalidad del peatón en accidentes sin información, transporte de carga y transporte individual del 28,57%, encontramos que usuario de bicicleta conductor, colisionando con objeto fijo, transporte de carga y transporte individual un porcentaje de 4,29%, usuario de moto conductor colisionando con no aplica, objeto fijo, transporte de carga y transporte individual con el 10,00% de fatalidad en accidentes

presentados, tenemos que usuario de moto pasajero colisionando con transporte de carga y transporte individual tiene un porcentaje de 2,86%, usuario de vehículo individual pasajero colisionando con transporte de carga tiene un porcentaje de 1,43%, las estadísticas de colisión de usuario de transporte carga pasajero con no aplica es del 1,43%, por ultimo tenemos en la matriz de colisión usuario de transporte pasajero con el 1,43% de fatalidad.

4. Modelos de causación de siniestros: Relevancia conceptual y operativa

Dando por aceptado que el paradigma actual de la seguridad vial apunta al sistema global de transporte, es muy difícil dilucidar si al respecto hoy predomina alguna teoría propiamente dicha como las que en su momento gozaron de un importante grado de aceptación entre los especialistas. Entre otras, Macias (2009) enumera las siguientes: Teoría del azar puro (Greenwood y Woods, 1919), Teoría de la Propensión al Siniestro (Arbour y Kerrich, 1951), Teoría de las Metas Libertad-Atención (Kerr 1957), Teoría del Riesgo Cero (Naatanen y Sumala, 1974, Montoro, 2005), Teoría de la Acción Razonada y del Comportamiento Planeado (Ajzen, 1975), Teoría de la Amenaza-Evitación (Fuller, 1984) y Teoría de la Homeostasis del Riesgo (Wilde, 1988). No obstante, existen importantes teorías más generales que, por lo mismo, pueden incluir la seguridad vial, como sucede particularmente con la Teoría de Sistemas postulada inicialmente por Von Bertalanffy en la década del 40 al 50 y con un riquísimo desarrollo posterior, cuya consistencia y poder descriptivo la hacen útilmente aplicable al campo de la seguridad según se verá infra. Como antes quedó dicho, contrariamente a las teorías, puede decirse que en esta materia sobreabundan los modelos cuya gran utilidad, por las funciones que cumplen, se explicará a continuación.

El prestigioso teórico contemporáneo de la seguridad Erik Hollnagel expresó: “Sólo se puede prevenir el accidente si es descrito y comprendido de forma correcta” (2009); precisamente, la comprensión se obtiene visualizando los hechos a través del cristal de un modelo, el cual ha sido caracterizado por Huang (2007) como: “Una representación conceptual abstracta de la ocurrencia y desarrollo de un accidente. Describe cómo y por qué los accidentes suceden, define las interacciones y causas posibles y esto dirige la recolección de datos para el análisis, así como la selección de las contramedidas”. Este mismo autor expresó: “La piedra fundamental del trabajo

de prevención es el modelo de accidente usado para el análisis y la formulación de contramedidas. Por lo tanto, el primer paso hacia el cambio es establecer cuál es el modelo de accidente que se emplea”. Un concepto prácticamente idéntico expresa las siguientes palabras de Qureshi (2007): “Los modelos proveen una conceptualización de las características del accidente, la cual típicamente muestra la relación entre las causas y los efectos. Explican por qué los accidentes ocurren y son usados como técnicas para la evaluación del riesgo durante el desempeño del sistema y post hoc para el análisis del accidente y el estudio de las causas de la ocurrencia”. Por lo tanto: “Proporcionan los medios para entender los fenómenos y registrar ese conocimiento para poder comunicarlo a los demás” (Leveson, 2004).

Para resumir la relevancia del fundamental instrumento vale la pena transcribir textualmente las siguientes palabras de Huang (2007): “Los modelos son importantes en la prevención de accidentes, porque proporcionan un tipo de "modelo mental" y una herramienta de comunicación para las personas involucradas en el trabajo de prevención. El modelo contiene un patrón común que especifica las causas de los accidentes, y los vínculos entre causas y consecuencias. Cuando los investigadores de accidentes recopilan datos y buscan las causas, lo hacen en relación con este patrón. También hay una correlación entre el accidente, los datos recogidos y las contramedidas generadas. Por ejemplo, si el modelo de accidente dice que las acciones erróneas del operador son las causas más frecuentes de los accidentes, el enfoque de los investigadores apuntará a las acciones erróneas de los operadores. Además, seguro que encontrarán una o más de tales acciones porque "saben" que deben existir (de lo contrario el accidente no podría haber ocurrido, ¿no?). Una vez que encuentran una serie de acciones erróneas, se toman medidas para evitar que se produzcan otra vez”.

Empero, los modelos no solo son necesarios en la investigación y en el trabajo práctico de seguridad, sino también para la comprensión de los políticos y los gestores quienes son, en definitiva, los que fijan los objetivos, establecen las políticas, trazan las estrategias y financian e implementan las medidas concretas.

Cabe acotar que uno de los principales problemas de este campo radica en un paralogismo de falsa oposición señalado por Compón (2009) consistente en que: “Unos modelos apuestan por una perspectiva psicológica de comprensión de las acciones u omisiones de las personas implicadas en el siniestro –el conductor, el peatón o el usuario-, pero olvidando el componente físico-dinámico del mismo; otros, en cambio, desde la ingeniería o la criminalística pretenden reconstruir el siniestro con magníficos y complejos modelos fisicomatemáticos, pero dejando de lado completamente al ser humano en su análisis”.

4.1 Modelos de causación y Modelos de prevención

En materia de seguridad, tanto en general como vial en particular, existen dos grandes grupos de modelos: los de causación de siniestros y los de prevención de estos. En realidad no hay oposición entre ellos sino que se trata solo de puntos de vista que apuntan en direcciones temporales distintas: uno hacia el pasado, para describir los siniestros ya ocurridos con el objeto de comprenderlos e identificar sus factores genéticos, y el otro hacia el futuro, con el propósito de actuar proactivamente para evitar que se produzcan mediante estrategias y medidas diseñadas para que no vuelvan a ocurrir. De hecho, los numerosos planes y programas de seguridad vial que desarrollan los diversos países del mundo pertenecen a esta última categoría.

Es obvio señalar que los modelos de prevención deben estar fundados en modelos de causación previos pues el conocimiento de cómo los siniestros se gestan y desarrollan constituye

el punto de partida necesario para diseñar estrategias y contramedidas con garantías de eficacia, según se ilustra gráficamente en el diagrama adjunto.

4.2 Modelos de causación y Métodos de investigación

Es necesario despejar una confusión bastante generalizada consistente en considerar que los modelos de siniestro y los métodos para su investigación son una y misma cosa. En un esclarecedor artículo Katsakiori y colaboradores (2008) señalaron la diferencia que media entre ambos expresando: “Los métodos de investigación de accidentes, en contraste con los modelos de causación, son muy específicos. Son herramientas prácticas, diseñadas con el propósito de ayudar a un usuario específico (el investigador) para llevar a cabo una tarea específica (investigación y análisis) en un entorno determinado”.

Expresado lo mismo en otros términos: según se explicó supra, los modelos de causación son representaciones simplificadas de la realidad cuyo objeto es establecer las causas de los siniestros, explicar los mecanismos de producción y describir los factores y escenarios de ocurrencia; en cambio, los métodos de investigación, en el significado literal de: “Procedimiento que se sigue en las ciencias para hallar la verdad y enseñarla” (Diccionario de la Real Academia Española, 4ª acepción), constituyen herramientas conceptuales diseñadas con el objeto de guiar a los investigadores en forma sistemática para cumplir su tarea de descubrimiento y análisis. A título de ejemplo, en el cuadro adjunto se muestra el método de investigación llamado “Los Tres ¿Qué?”, adoptado por las fuerzas armadas de EUA, el cual permite entender que no se trata ni de la descripción de los siniestros ni de su mecánica, sino solamente de los pasos que deben darse para investigarlos o, dicho con otras palabras: las preguntas que debe responder ordenadamente el investigador para poder determinar cómo y porqué ocurrieron a fin estar en condiciones de

proponer las medidas necesarias para que no vuelvan ocurrir. Otro método de la misma especie, clásico por su difusión universal, es el denominado Kipling o 5W+1H que, simplemente, se articula en seis preguntas (preguntas de investigación) que, en inglés, son: What (que), When (cuando), Where (donde), Who (quien), How (como) y Why (porqué). Las respuestas a estas interrogantes se obtienen empleando los diferentes medios que se sintetizan a continuación:

- ¿ Que, cuando, donde, quien ? : Datos objetivos recogidos de la realidad
- ¿ Como ? : Estudios, reconstrucciones y análisis
- ¿ Porqué ? : Hipótesis, modelos y teorías

Con un enfoque más general, básicamente el mismo concepto surge del diagrama adjunto de Sklet (2010) donde se resumen las etapas de la investigación de siniestros.

El método de investigación no tiene por qué estar necesariamente vinculado a un modelo de causación específico dado que se trata de un instrumento formal y neutral que se limita a establecer los pasos ordenados de la secuencia investigativa. No obstante, existen algunos métodos de investigación concebidos específicamente de acuerdo a un cierto modelo de causación, p. ej. el método conocido como TRIPOD se basa en la concepción epidemiológica de Reason por lo que se orienta prioritariamente a identificar los factores organizacionales de la secuencia causal (condiciones latentes), las condiciones locales, los actos inseguros individuales o de equipo (fallas activas) y las fallas de las barreras defensivas.

Sin perjuicio de la notoria diferencia, de acuerdo con sus propias características individuales los diversos modelos de causación conllevan o inducen una cierta metodología de investigación pues, como dice Huang en cita textual anterior: “(...) el modelo adoptado dirige la recolección de datos para el análisis, así como la selección de las contramedidas” (2004), p. ej., un investigador

partidario de un modelo secuencial se orientará prioritariamente hacia los hechos más inmediatos al siniestro ocurridos en el nivel de operación donde los comportamientos humanos tienen suma relevancia; otro investigador con un enfoque epidemiológico, sin despreciar las causas proximales, dirigirá en principio su mirada hacia los altos niveles de la organización donde se gestan las causas latentes; en tanto, el investigador sistémico primariamente tratará de visualizar la globalidad del sistema y su dinámica e identificar sus emergencias.

De lo anterior se infiere que un mismo modelo de causación puede servir de base a varios métodos de investigación diferentes; viceversa, los datos obtenidos mediante cualquier método de investigación pueden ser analizados enfocándolos desde las visiones de distintos modelos.

4.3 Clasificaciones de los Modelos

Respecto a la siniestralidad en general hay disponible una gran cantidad de modelos de causación cuyas características particulares permiten agruparlos en varias clasificaciones, por ejemplo, la de Kjellén (1984) que se muestra a continuación:

- Modelos de causa-consecuencia
- Modelos de proceso
- Modelos de energía
- Modelos de árbol lógico
- Modelos de información humana y procesos
- Modelos de administración

En lo que respecta a modelos puntuales se puede decir que en la actualidad se verifica una verdadera hiperinflación pues existen, estimativamente, más de cien (ver una lista parcial en la

nota fina) entre los cuales se incluyen varios diseñados para actividades específicas, v. gr., siniestralidad aérea, nuclear, ferroviaria, vial, etc. Entre estos últimos son de destacar los siguientes ejemplos: Modelo de evolución del siniestro vial, Modelo de predicción de colisiones de motocicletas en intersecciones no-señalizadas, Análisis modal de fallos y efectos en la seguridad vial (AMFESV); Estudio de Causas de Colisión de Grandes Camiones (LTCCS), Metodología de Análisis de Error de Confiabilidad del Conductor (DREAM); Método de Secuenciación de Eventos (METRAS) y Modelo Secuencial de Eventos de un Siniestro (MOSES). Es importante advertir que un considerable número de modelos se encuentra legalmente protegido por derechos de autor por lo que su empleo requiere la autorización de los propietarios.

Por razones pedagógicas en este trabajo se adopta una clasificación sencilla basada en la de Hollnagel (2003), quien ordenó el gran cúmulo de modelos en los tres grupos –o “familias”- iniciales de la siguiente lista, haciendo constar que el cuarto grupo se ha agregado por el autor de este trabajo debido a su reconocida utilidad para la selección de objetivos, articulación de estrategias y planificación de medidas.

- Modelos secuenciales
- Modelos epidemiológicos
- Modelos sistémicos
- Modelos predictivos

Por considerarlo pedagógicamente provechoso se agrega un cuadro de donde se muestra una síntesis de las características esenciales de cada grupo modélico.

Tabla 7.

Conceptos esenciales de las familias de modelos.

CONCEPTOS ESENCIALES DE LAS FAMILIAS DE MODELOS		
FAMILIA	PRINCIPIOS DE LA INVESTIGACION	PRINCIPIOS DE LA PREVENCIÓN
Secuencial	El operador y/o la falla de la maquina o componentes	Mejoramiento del operador y de la fiabilidad de la maquina o componentes
Epidemiológica	Falta o debilidad de barreras	Instalación y fortalecimiento de barreras
Sistémica	Pérdida del control del sistema	Apoyos para el mantenimiento del control del sistema
Predictiva	Identificación de factores de riesgo comunes a conjuntos significativos de siniestros	Actuación proactiva para modificar la incidencia de los factores de riesgo identificados

Fuente (ampliada por el autor): Huang, 2007

4.4 Familia de Modelos Secuenciales

Los modelos secuenciales -también llamados de cadena- se denominan así porque describen el siniestro como el resultado final de una secuencia de hechos producidos en un orden específico, es decir, como el final lógicamente necesario de una sucesión de eventos vinculados entre sí por una relación de causa a efecto, p. ej. A produce B, que produce C, que produce D (el siniestro mismo). La idea esencial radica en que el siniestro es producto de varios factores eficientes enlazados linealmente -v. gr., fallas de componentes, características de diseño, errores humanos o eventos relacionados con alguna forma de energía- en los que ninguno de ellos tiene valor nulo, sino que cada uno aporta algo a la verificación del resultado final adverso.

La segunda característica de la familia secuencial es que se centra en el nivel de operación, es decir en los actos, errores o fallas proximales, vale decir, en los sucesos desarrollados inmediatamente antes del siniestro o durante el mismo -v. gr., acciones u omisiones del conductor del vehículo, falla de los controles de un reactor nuclear, etc-, por lo que el objetivo

principal de la investigación es identificar la llamada causa raíz -también llamada causa basal-, consistente en aquel hecho o acto que dispara la secuencia fáctica culminante en el daño.

Debido a que este grupo modélico conceptualiza la secuencia del hecho dañoso como una cadena lineal de relaciones causa-efecto, para la descripción y el análisis se vuelve particularmente apropiado utilizar los llamados métodos de árbol (también llamados de ingeniería reversa) que conciben el siniestro como el último evento de una serie de perturbaciones de los componentes. Por ende, la secuencia se reconstruye siguiendo la causalidad de un evento con relación al inmediato, lo que puede ser realizado en dos direcciones: retrospectivamente -análisis de siniestros- o prospectivamente -predicción de siniestros-.

La familia secuencial puede ser dividida en tres subgrupos: el primero postula una causa simple productora de un efecto simple (monocausales, monoefecto), el segundo, causas múltiples con un efecto simple (pluricausales, monoefecto), y, el tercero, causas múltiples con efectos múltiples (pluricausales, pluriefecto). Otra variante -combinable con la anterior- consiste en que algunos modelos, como el de Heinrich, consideran una cadena única de eventos, mientras que otros toman en cuenta secuencias múltiples -simultáneas o no- que convergen en el siniestro en forma de jerarquías de árboles y redes de eventos. Asimismo, varios subgrupos importantes postulan la jerarquización de las causas según su grado de influencia en el resultado final adverso distinguiendo, p. ej., entre causas directas e indirectas, causas proximales y distantes o causas latentes y activas.

El corolario lógico y práctico de la concepción secuencial radica en que, si por algún medio se logra interrumpir la secuencia de la cadena causal, se vuelve posible evitar que el infortunio

ocurra, o sea que la estrategia fundamental para resolver los problemas es actuar proactivamente sobre las relaciones causa-efecto potenciales.

La principal fortaleza de los modelos secuenciales reside en su poder descriptivo pues contestan la pregunta: “¿Cómo ocurrió?”. Ello los vuelve particularmente útiles, en sistemas relativamente simples, para describir de modo sistemático la sucesión de hechos que obedecen a fallas de componentes físicos, debilidad de las defensas y/o errores humanos. Esta característica determina que se utilicen en forma predominante en materia criminalístico-forense para establecer las responsabilidades jurídicas de los sujetos involucrados en los eventos, v. gr. las que resultan de los siniestros de tránsito y de trabajo.

La mayor debilidad imputada a esta familia es que carece de un concepto consistente de causa lo que hace que la búsqueda de esta se detenga en un punto arbitrario que, como tal, es subjetivo y, por ende, puede variar de un investigador a otro. Otra objeción importante es que no conducen a encontrar relaciones y condiciones en el sistema y, la última, que vuelven muy difícil encontrar causas y efectos relacionados cuando los hechos están muy separados en términos de tiempo y espacio. Estas debilidades determinan que posean una capacidad muy limitada para explicar la causalidad de los siniestros acaecidos en sistemas sociotécnicos complejos como los que comenzaron a desarrollarse a mediados del S. XX (Hollnagel, 2004).

Seguidamente se expondrán en forma sintética tres modelos puntuales representativos de la concepción secuencial.

Modelo secuencial de la causa única (o prevalente).

Según esta visión -tan antigua como a-científica- el siniestro resulta de una secuencia sumamente simple conformada por dos eventos: uno que opera como causa única y otro que consiste en la verificación del hecho adverso con un daño inherente, por ende, si aquella hubiera sido prevista, se podría haber evitado que este sucediera.

En dicho contexto la causa que predomina, o, subjetivamente, parece predominar, se reputa raíz, conduciendo al investigador a buscarla e identificarla con el fin de prevenir en el futuro el resultado indeseable. El inconveniente es que el afán por encontrarla lleva a desconsiderar los demás factores que de algún modo pudieron haber contribuido al resultado pues, salvo casos excepcionales, el criterio para identificar la causa raíz entre los demás factores contribuyentes es subjetivo y, como tal, arbitrario; una vez que aquella se encontró –o, más bien, se creyó encontrar- la investigación se detiene sin otra ulterioridad.

El concepto de causa única está limitado por su incapacidad para entender el siniestro como un proceso o secuencia de eventos desarrollada en el tiempo pues otros factores diversos que podrían haber contribuido no son identificados o son despreciados debido a que la causa supuestamente “real” se considera obvia y visible; por otra parte, las causas subyacentes son raramente determinadas.

En muchos países es constatable el predominio de este modelo ultrasimplificador en los informes policiales de siniestros de tránsito lo cual, deplorablemente, falsea las estadísticas en lo que refiere a la causalidad de la siniestrogénesis; ello generalmente debe ser imputado a la pobreza o deficiencia de la formación técnica de los funcionarios.

Cotidianamente puede verse la aplicación vulgar de este modelo en los medios de prensa atribuyendo apresuradamente la “culpa” de los siniestros -a pocas horas de ocurridos- al factor que, por los periodistas -o los policías-, se considera como más plausible, por ejemplo: la “niebla asesina”, la “maniobra imprudente”, la “probable alcoholización del conductor”, “el desacato a la señal Ceda el Paso”, etc.

Modelo del efecto dominó.

El primer modelo consistente de la siniestralidad -en todas sus formas- fue desarrollado H.W. Heinrich en su obra fundamental “Accident prevention” (1931, actualizado por Bird y Loftus en 1976), llamado del “Efecto dominó” por analogía con el comportamiento mecánico de las fichas de este juego ordenadas en cierta forma.

La concepción surgió del estudio pormenorizado de 75.000 siniestros cubiertos por la empresa aseguradora Travellers Insurance Company de la que Heinrich era director. El análisis puntual de la gran cantidad de casos reales llevó al investigador a dos conclusiones: en primer término, que por cada siniestro gravísimo (muertes, lesiones permanentes y/o destrucción total de efectos) se producían 30 de menor gravedad (lesiones no permanentes o daños materiales), 300 leves sin consecuencias significativas y unas 30.000 acciones o condiciones inseguras sin siniestro, pero con la potencialidad de desembocar en el mismo, lo cual modelizó gráficamente con una pirámide estratificada (ver la ilustración adjunta). En segundo lugar, con respecto a la causalidad estimó que el 88% de los siniestros se originaba en actos inseguros, 10% en condiciones inseguras y 2% en situaciones fortuitas totalmente imprevisibles (accidentes propiamente dichos). Otra conclusión de Heinrich -poco citada- se expresa en una especie de regla predictiva validada por la experiencia empírica: la reiteración de incidentes sin daños y de pequeños

siniestros sin consecuencias significativas, constituye el indudable anuncio (o síntoma) de futuros siniestros graves.

Explicando la mecánica siniestral Heinrich la describió como una secuencia de eventos discretos desenvuelta en un cierto orden temporal en el que intervienen cinco factores específicos donde cada uno actúa como causa del siguiente de manera análoga a las fichas de dominó ordenadas en columna que, al desequilibrarse la primera derriba a la segunda, ésta a la siguiente y así hasta caer todas. En este contexto el evento iniciador de la secuencia es considerado como la causa raíz, es decir la que dispara el proceso, sin la cual el siniestro no habría acaecido. Cada ficha representa un factor siniestrogénico diferente actuando según el orden siguiente:

1. Ambiente social y antecedentes del individuo
2. Fallo del individuo (imprudencia, negligencia, impericia)
3. Acto inseguro unido a un riesgo mecánico o físico
4. Siniestro propiamente dicho
5. Resultado adverso (muertes, lesiones, daños materiales)

El corolario del modelo es que, del mismo modo que quitando una ficha de la columna se evita la caída de las demás, la eliminación, modificación o neutralización de alguno de los factores de la secuencia evitaría la verificación del infortunio y el daño resultante, considerándose por Heinrich esencial retirar la tercera ficha -actos inseguros- para que el evento adverso no suceda. Otros investigadores, no obstante ser partidarios de la concepción, postularon que la causa raíz radicaba en otras fichas, especialmente en la segunda.

La exposición anterior muestra claramente que este modelo es determinístico y monocausal porque el resultado final es entendido como la consecuencia necesaria de un evento inicial único

y específico: la causa raíz, representada por la caída de la primera ficha, si bien la tercera es la que actúa como disparador inmediato.

En la actualidad, y pese a que se continúa empleando en forma muy extendida, injustamente este modelo no suele ser considerado como propiamente científico, pero es innegable que el análisis racional de la amplia base empírica en que se sustentó y su lógica interna lo convirtieron en el fecundo punto de partida de las investigaciones sobre la siniestralidad que se suscita en todos los campos de las actividades humanas.

Modelo de evolución del siniestro vial.

En la década del 50 al 60 del siglo pasado, el ingeniero J.S. Baker, profesor del Instituto de Tráfico de la Northwestern University de EUA, en su libro “Traffic Accidents Investigation Manual” desarrolló un modelo para el análisis de: “Las interacciones de los factores Hombre-Vehículo- Vía-Normativa e investigar sobre la causa del fallo humano con el fin de establecer la participación exacta de cada uno de ellos en el accidente y, de este modo, obtener conocimientos para prevenir la repetición en el futuro” (Baker, 1970).

La primera característica del modelo es que fue construido específicamente para la conceptualización y análisis de los siniestros viales por lo que no es aplicable a los de naturaleza diferente, si bien eventualmente podría ser adaptado.

La segunda característica radica en que se centra en el sistema, al cual Baker denomina abreviadamente HVE (Human-Vehicle-Environnement), postulando que la comprensión del siniestro vial reside esencialmente en el estudio de las interacciones entre los componentes de

este como base para explicar las disfunciones; por lo tanto, considera más importantes las interacciones e interdependencias entre los elementos que la estructura formal de estos.

La tercera característica reside en que, para explicar los siniestros viales el modelo incluye las variables propiamente antrópicas: percepción, reacción y decisión del conductor- conjugadas con las normativas y los aspectos físicos del hecho gobernados por la mecánica newtoniana - cinemática y dinámica de los vehículos y sus interacciones con la vía y el ambiente-; en otras palabras: toma en cuenta la influencia de los factores humanos, ambientales y jurídicos y su incidencia en el desenvolvimiento de las leyes físicas determinísticas.

La mecánica del siniestro se describe por el modelo como un proceso que, desde el punto de vista del operador humano, se desenvuelve en tres fases temporales: Fase de percepción, Fase de decisión y Fase de conflicto, dividiéndose estas a su vez en puntos espaciales específicos:

Punto de percepción posible, Punto de percepción real, Punto de decisión, Punto clave, Punto de conflicto, Siniestro propiamente dicho y Posición final. El análisis sistemático de lo ocurrido –o no ocurrido- en cada fase y punto permite inferir conclusiones relevantes para reconstruir el hecho e identificar la causalidad, p. ej., la ausencia de huellas de neumáticos en el pavimento indica que no hubo maniobra de frenado de emergencia lo cual permite deducir que algún factor –que habrá de investigarse- impidió que el conductor frenara, como podría haber sido impericia, desatención, pérdida de conciencia, síndrome de ebriedad, falla del sistema de frenos, etc.

La primera objeción al modelo es que se enfoca principalmente en el final del proceso del siniestro es decir en la investigación de la mecánica del mismo, esto es: “Cómo sucedió”, aunque ello ha permitido aproximarse considerablemente a su origen, o sea al “Porqué sucedió”.

La segunda objeción es de orden epistemológico: “No resuelve el problema del objeto de la investigación debido a que no permite distinguir las causas con claridad ni articularlas coherentemente porque le falta una fundamentación teórica conforme a un paradigma científico que proporcione la coherencia conceptual imprescindible” (Xumini, 2004).

La primera fortaleza del modelo radica en que ha revelado una notable utilidad práctica pues, bajo la condición de recoger evidencias objetivas suficientes (v. gr., posición final de los móviles y cuerpos involucrados, restos materiales, planimetría y altimetría del lugar, señalización existente, condiciones meteorológicas imperantes, estado de la vía y del vehículo, declaraciones de testigos, etc), vuelve posible reconstruir y explicar el desarrollo de los siniestros viales con un altísimo grado de exactitud por lo que se le considera un genuino enfoque científico debido a su objetividad, su metodología rigurosa y su exhaustividad.

La segunda fortaleza del modelo reside en que, metafóricamente, desplaza la mira apuntada privativamente al factor humano para, incluyéndolo, dirigirla al sistema (en realidad al microsistema básico) lo cual, sin perjuicio de la gran utilidad que presta para el análisis de siniestros individuales, permite integrarlo como un valioso instrumento complementario de los enfoques actuales.

El último mérito es haber introducido el fundamental concepto de conflicto de tránsito, esto es: la situación de peligro inminente que precede al siniestro, también llamada cuasi-siniestro dado que se la entiende como un siniestro incompleto porque se inicia, pero no se consuma porque algo o alguien logran evitarlo. Esta noción clave identificada por Baker se incorporó definitivamente a la ingeniería, donde dio lugar a varias metodologías de investigación y prevención denominadas Técnicas de Conflictos o TCT, siendo la más conocida en

Latinoamérica la llamada “sueca” creada por Hyden y Almqvist quienes la pusieron en práctica en un exitoso proyecto desarrollado en 1993 en Cochabamba, Bolivia.

La solidez conceptual del modelo del caso le ha valido amplias derivaciones al punto que, sin perjuicio de numerosos desarrollos y variantes, se ha constituido en la base de la disciplina técnico-científica de la Accidentología Vial, adoptada en forma virtualmente universal por las fuerzas policiales, por los tribunales judiciales en los casos criminales y civiles de siniestros de tránsito y por las tres ingenierías: vial, de tránsito y automotriz (en estas con un enfoque clínico-preventivo). Asimismo, sobre la base del modelo se han creado metodologías de reconstrucción de ciertos tipos específicos de siniestros como el método de Searle para atropellos de peatones y diversas técnicas de investigación basadas en las deformaciones estructurales sufridas por los vehículos. Incluso, numerosos programas informáticos de reconstrucción de siniestros viales, p. ej., ARAS 360, CARAT, DEKRA DUR, EDCRASH, KRASH, LARM, NASTRAN, NONSAP, OLDMISS, PC- CRASH, SMAC, SINRAT, etc, de hecho, constituyen transcripciones algorítmicas del modelo de Baker.

Un desarrollo reciente y particularmente interesante inspirado en esta concepción es el Modelo Secuencial de Eventos de un Siniestro, MOSES, creado por el investigador español Andrés Campón uno de cuyos rasgos más salientes radica en su enfoque pluridisciplinario.

4.5 Familia de Modelos Epidemiológicos (organizacionales o de salud pública)

La necesidad de instrumentos conceptuales más potentes para comprender los siniestros condujo a la formulación de los modelos epidemiológicos, también llamados organizacionales y de salud pública, los cuales pueden ser vistos como una extensión de los modelos secuenciales

debido a que la evolución del siniestro todavía es considerada en forma lineal, aunque más amplia (Hollnagel, 2001), según se verá a continuación.

La característica común de esta familia modélica radica en que concibe el complejo causal de los siniestros a través de una analogía con los conceptos desarrollados por las ciencias médicas de infección y propagación de las enfermedades lo cual, a diferencia de los modelos secuenciales, los lleva a extender la investigación de la causalidad -en sentido temporal y espacial- desde el nivel de operación hasta los niveles de diseño, gestión, mantenimiento y toma de decisiones de las organizaciones, lo que hace por dos vías: incluyendo las llamadas fallas latentes y considerando más de una cadena de eventos conducente al resultado adverso.

El gráfico adjunto -conocido como Triángulo -o Tríada- Epidemiológico- modeliza el complejo causal básico de las enfermedades y, por extensión, de los siniestros viales.

Los lados de la figura representan los tres elementos actuantes: el huésped, el agente y el medio ambiente, cada uno de los cuales debe ser estudiado tanto para identificar los factores causales latentes y activos y su interacción así como, en su momento, diseñar las estrategias y contramedidas de prevención. Es importante acotar que, al igual en medicina, para ciertas patologías la representación modélica requiere agregar al vector o intermediario, p. ej., la hembra del mosquito *Aedes Aegypti* opera como huésped intermedio debido que el agente patógeno -el virus del dengue en el ejemplo- solamente puede incubarse y desarrollarse en el organismo del insecto, transmitiéndose al ser humano por su picadura; análogamente, el vehículo automotor es un vector porque su movimiento genera la energía cinética, cuya transferencia al cuerpo humano en los choques es lo que realmente produce las lesiones.

En esencia, la concepción epidemiológica describe el siniestro vial como la coincidencia de fallas latentes y fallas activas favorecida por el ambiente mórbil del tránsito. Aquel es disparado por las fallas activas que son las proximales, las que ocurren inmediatamente antes del siniestro (descritas por los modelos secuenciales), cuyos efectos son instantáneos, p. ej. acciones erróneas del conductor. Pero los modelos epidemiológicos van más allá postulando que las fallas activas son la consecuencia natural de fallas latentes que existen antes de la verificación del hecho adverso, v. gr. aprendizaje deficiente de la conducción por ausencia de normas jurídicas exigentes, falta de controles de los dispositivos de seguridad activa de los vehículos, ineficacia del sistema de señalización, decisiones de gestión irrealistas, ambiguas o contradictorias, normas irracionales, etc.; si las fallas latentes no son detectadas y corregidas permanecen “dormidas” hasta que alguna falla activa las dispara haciendo emerger el siniestro.

Debido a que esta familia modélica considera que las causas más importantes son las fallas latentes, su estrategia fundamental de prevención es establecer defensas -o barreras- que puedan prevenirlas, cuya naturaleza puede ser material, humana, procedural o simbólica, las cuales se definen como: “Medios físicos y/o no- físicos planificados para prevenir, controlar o mitigar eventos no deseados o accidentes” (Sklet, 2006), p. ej. en materia de salud pública la vacunación obligatoria es una barrera, como lo son en seguridad vial las inspecciones técnicas anuales de los vehículos y las auditorias de puntos negros de las vías de tránsito. Obviamente, la estrategia de fortalecimiento de las defensas también procede para las fallas activas mediante elementos como el cinturón de seguridad y el air bag (barreras protectoras de lesiones), las cámaras automáticas de control de velocidad y los sistemas alcoholock que impiden al conductor alcoholizado encender el motor del vehículo.

Coherentemente con su visión, esta familia modélica organiza la prevención en tres niveles:

- Prevención primaria –también llamada activa o proactiva- enfocada a la actuación sobre las causas latentes y activas para evitar que los eventos dañosos ocurran, p. ej., instalación de divisores estructurales infranqueables en las vías para suprimir las colisiones frontales, establecimiento de estándares mínimos de eficiencia obligatorios para los sistemas de frenos, etc.
- Prevención secundaria –también llamada pasiva o reactiva- dirigida a mitigar o neutralizar el daño cuando el siniestro ocurre efectivamente, p. ej, cinturón de seguridad, dispositivos de retención infantiles, air-bag, paragolpes anti-empotramiento, casco motociclista, etc.
- Prevención terciaria: que apunta a la conservación de la vida y la integridad de las víctimas mediante traslado, atención médica inmediata y hospitalización de extrema urgencia durante la llamada “Hora de Oro” posterior al siniestro, p. ej., aprendizaje obligatorio de técnicas de reanimación cardiopulmonar, casetas de teléfono de emergencia al borde de las rutas, números tipo 911, alarma radial automática de siniestro, transporte urgente de los lesionados, centros especializados en trauma, etc.

Puede verse que, más allá de la visión clásica de las relaciones causales lineales, el avance aportado por este tipo de modelos radica en la introducción del concepto de factores latentes o, dicho metafóricamente: dormidos, es decir, potencial, pero no necesariamente activables, lo cual les otorga capacidad para describir y conceptualizar la complejidad de muchos tipos de infortunios. Estos son vistos como una combinación de factores complejos, unos manifiestos y otros latentes coexistiendo en el tiempo y el espacio, p. ej., condiciones ambientales adversas, fallas activas (desviaciones de la performance), carencia, falla u obsolescencia de barreras de contención y condiciones latentes (p. ej., errores u omisiones de gestión, decisiones irracionales

de las cúpulas directivas de las organizaciones). Desde una perspectiva jerárquica la búsqueda del investigador se extiende desde las fallas en los bajos niveles del sistema hasta los niveles más altos con objeto de identificar causas para idear e implementar estrategias y contramedidas.

Las debilidades más notorias de los modelos de esta familia radican en que presentan una visión estática de la organización, que son puramente descriptivos y que tienen nula capacidad predictiva. También se les imputa: “No tener en cuenta las interacciones, sino que se basan en "fallos" de arriba a abajo en una escalera de organización" (Dekker, 2006). Además, aunque los superan, todavía siguen los principios de los modelos secuenciales pues muestran la dirección de la causalidad linealmente (Hollnagel, 2004).

Es muy importante señalar que la Organización Mundial de la Salud en su crucial informe sobre la siniestralidad vial del año 2004 recomendó la adopción del modelo epidemiológico enriquecido por la matriz de Haddon que se verá más abajo-, aunque en la misma oportunidad también recomendó indistintamente el modelo sistémico.

Modelo clínico matricial.

Cabe advertir que el siguiente modelo es usualmente entendido como perteneciente a la categoría epidemiológica, no obstante, ello tiene un marcado sesgo sistémico pues incluye elementos y conceptos propios de esta familia modélica.

Contando con su experiencia de profesional médico, administrador de la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) y de 35 años presidiendo el Insurance Institute for Highway Safety, en la década de los 60-70 W. Haddon Jr. desarrolló su modelo para aplicarlo a la prevención de las lesiones causadas por los siniestros de tránsito y, fundamentalmente, lo dotó

de una herramienta metodológica para su análisis y planificar la prevención consistente en una matriz secuencial.

El punto de partida de la concepción fue un modelo de transferencia de energía que explica las lesiones que sufren personas en los siniestros viales como el efecto de la energía cinética -el agente patógeno- transferida a un huésped por un vector -el vehículo automotor- dentro de un ambiente mórbil por su elevado nivel de riesgo. La lesión –o enfermedad traumática- tiene lugar cuando la energía cinética generada por el movimiento del vehículo se transfiere al individuo en cantidades o a tasas que la estructura del organismo humano no puede soportar.

Según Haddon, la causa de fondo de los siniestros viales reside en que el tránsito constituye un sistema hombre-máquina-vía-ambiente mal diseñado, cuyo eslabón más débil es la limitada capacidad del cuerpo humano para tolerar grandes cantidades de energía. Este concepto explica que el modelo apunte más a la prevención de lesiones que a neutralizar las causas de los siniestros que las originan, por lo que se le suele adjetivar como “clínico”. Para evitar los destructivos efectos de la transferencia energética, Haddon inicialmente formuló varias estrategias activas y pasivas que desarrolló en un artículo publicado en 1973 titulado: “Energy damage and the ten countermeasure strategies”, las cuales se exponen en el cuadro adjunto:

El segundo aporte de Haddon –el más conocido- consistió en una herramienta metodológica: la Matriz de Control de Lesiones, estructurada según los tres niveles de la prevención, esto es: prevención primaria (o proactiva), prevención secundaria (o reactiva) y prevención terciaria combinados con las tres fases de la secuencia fáctica de un siniestro –antes, durante y después- correlacionadas, a su vez, con los tres factores epidemiológicos -agente-huésped-ambiente- cuyo conjunto conforma nueve celdas según se muestra en el cuadro adjunto.

Tabla 8.
Matriz de Haddon.

MATRIZ DE HADDON		Factores		
Fase		Ser humano	Vehículo y equipo	Ambiente
Antes del siniestro	Prevención primaria (evitar que el siniestro ocurra)	Información Actitudes Conducción bajo los efectos del alcohol y otras drogas Aplicación de la reglamentación por la policía	Buenas condiciones técnicas Luces Frenos Maniobrabilidad Control de la velocidad	Diseño y trazado de la vía pública Límites de velocidad Vías peatonales
Durante el siniestro	Prevención secundaria (evitar o minimizar las lesiones cuando el siniestro ocurre)	Uso de dispositivos de sujeción	Dispositivos de sujeción para los ocupantes Otros dispositivos de seguridad	Objetos protectores contra choques al lado de la acera
Después del siniestro	Prevención terciaria (conservación de la vida y la integridad)	Primeros auxilios Acceso a la atención médica	Facilidad de acceso al cubículo Riesgo de incendio	Servicios de socorro Congestión
Fuente (adaptada): Global Safety Forum, GRSF, 2010				

En 1980 la matriz fue rediseñada por su creador distinguiendo entre dos tipos de ambiente: social y físico, lo cual modificó la estructura que pasó de 3 x 3 (9 celdas) a 4 x 3 (12 celdas). El ambiente físico incluye las características del escenario en el que el siniestro tiene lugar, mientras que el ambiente social refiere a las normas sociales y legales y a las prácticas culturales imperantes. En 1998 Runyan introdujo en la matriz una tercera dimensión constituida por series de criterios de decisión, p. ej., efectividad, costo económico, libertad, equidad, estigmatización, preferencias, factibilidad y otros.

La utilidad de la herramienta matricial reside en que abarca las dos líneas básicas de la investigación de las lesiones producidas por siniestros viales: por un lado, la ordenación espacial en el entorno físico del hecho, y, por el otro, la ordenación temporal de los sucesos, condiciones y circunstancias del siniestro. De este modo separa los elementos componentes del sistema del tránsito: -persona, vía, vehículo y ambiente-, abordándolos individualmente con el fin de investigarlos y diseñar las intervenciones de prevención pertinentes a cada uno. Sin perjuicio de esto, el modelo hace posible analizar las interdependencias e interacciones de un elemento dado con respecto a otro, p. ej. vía- vehículo, vía-persona, vehículo-ambiente, e incluso las de todos entre sí. La utilidad práctica del modelo reside en que permite obtener los siguientes resultados:

- Ordenar la información recopilada para efectuar el análisis sistemático de los diversos aspectos relativos a la investigación y prevención del problema.
- Identificar claramente los riesgos para diseñar las intervenciones que permitan neutralizarlos o reducirlos
- Proporcionar pautas para establecer las oportunidades de intervención de los diversos implicados en el problema a fin de trazar estrategias y tomar medidas puntuales para reducir los eventos adversos y sus consecuencias

Se ha objetado al modelo que desde su presentación –en los años 70-, varios países desarrollados aplicaron medidas basadas en el mismo y obtuvieron importantes abatimientos en sus cifras de víctimas, pero luego los indicadores se paralizaron en una meseta y las medidas aplicadas en los tiempos siguientes rindieron escasos efectos. Además, durante el mismo período las tasas de los países de bajos y medianos ingresos aumentaron en forma considerable, a veces con la aplicación de medidas implementadas por los países ricos. Esto hizo evidente la existencia

de otros elementos -e incluso de procesos- que no fueron considerados en toda su dimensión y que probablemente tengan tanta o mayor influencia en la producción de los eventos indeseables (Macías, 2009). También se le han imputado otras deficiencias, p. ej. incapacidad para descubrir factores causales muy profundos, fallas al adoptar estrategias basadas en la matriz, gasto estéril en opciones políticas fáciles pero inefectivas, prelación de la movilidad de los vehículos a expensas de la seguridad de los usuarios vulnerables e insuficiente atención al diseño de los sistemas viales.

No obstante las objeciones anteriores, el éxito del modelo de Haddon en la reducción de muertes y lesiones viales obtenido por EUA, Australia y Europa mediante estrategias y contramedidas basadas en el mismo se sigue considerando como una evaluación por demás positiva de sus resultados, lo que determinó a la Organización Mundial de la Salud en su Informe Mundial del año 2004 a recomendar su adopción a nivel planetario en el marco del modelo epidemiológico, si bien también recomendó en paridad el modelo sistémico.

Modelo de falla simultánea (“del queso suizo”)

En su obra “Human error” (1990), el psicólogo inglés J. Reason, reformuló la concepción epidemiológica dándole, al igual que Haddon, un sesgo muy fuerte hacia el enfoque sistémico mediante un modelo llamado de falla simultánea, más conocido por la expresión metafórica “del queso suizo” por analogía gráfica con los numerosos agujeros de la masa de este tipo de alimento.

Partiendo de la premisa: “El error humano no es una causa, es una consecuencia de fallas y problemas más profundos dentro de los sistemas en los que las personas trabajan”, la concepción se originó en la investigación de este fenómeno, sus formas, modos de gestarse, interactuar y

propagarse hasta la concreción en el siniestro, cuyo efecto puede llegar al grado de catástrofe masiva. Pero Reason no se interesó por el error como acto u omisión individual y aislado, sino por su emergencia en el marco de contextos dinámicos complejos: las organizaciones. Estas, simplificada, se conforman, por un lado, por la conjunción organizada de personas y equipos desarrollando interactivamente alguna/s actividad/es para obtener cierto/s fin/es, p. ej. producir bienes o prestar servicios, y, por el otro, internamente se estratifican en, por lo menos, dos niveles jerárquicos: uno –superior- de decisión y mando (blunt end) y el otro –subordinado- de operación de los procesos que se desarrollan para obtener los fines de la organización (sharp end).

En tal contexto sociotécnico, al igual que la concepción epidemiológica pura, el modelo postula que la acusación de los siniestros radica en la coincidencia que se produce entre fallas latentes y fallas activas, pero el origen y las propiedades de unas y otras son diferentes.

Las fallas y condiciones latentes o distantes, metafóricamente llamadas por Reason patógenos residentes, se originan en el nivel superior de las organizaciones (blunt end) y son decurrentes de fallas estructurales, de proyecto, de tecnología, de decisiones de alto nivel desinformadas, ambiguas o contradictorias y de presiones internas y externas. Funcionan en forma oculta o disimulada propagándose en forma invisible por el interior de la organización donde quedan en estado de latencia por cierto tiempo, volviéndose aparentes cuando se combinan con fallas activas y disparadores locales venciendo las defensas del sistema; expresado con una analogía didáctica: actúan escondidas como las minas militares terrestres y acuáticas.

Las fallas activas o proximales se producen en el nivel de operación del personal ubicado al final de la cadena de eventos (sharp end) que desarrolla los procesos en contacto directo con la

tecnología, clasificándose en errores (involuntarios) y violaciones (voluntarias) cuyas consecuencias son percibidas inmediatamente, siendo fácilmente identificables cuando se combinan con fallas latentes porque impactan inmediatamente.

Sin embargo, las fallas activas suelen originarse en las latentes porque las decisiones y políticas ambiguas o irracionales de las cúpulas de mando obligan a los operadores a encontrar vías alternativas para cumplir sus funciones lo que los lleva a actuar de modo inseguro dando así lugar a los siniestros; cuando numerosos operadores desarrollan esta estrategia se crean brechas de seguridad que permanecen latentes en el sistema hasta que se presentan fallas proximales que las activan.

La condición necesaria para que el siniestro ocurra es la coincidencia espaciotemporal de fallas latentes con fallas activas, lo que el modelo ilustra metafóricamente con el alineamiento de los agujeros del queso suizo provocando la apertura de una ventana de oportunidad en las diversas capas de defensas (barreras) que permite concretarse un cierto riesgo, o sea que: “El accidente se produce por la superposición o coincidencia de fallas en diferentes niveles de la organización en un mismo momento” (Reason, 1990). Los vínculos causales entre las condiciones latentes distantes (factores organizacionales) y el resultado del siniestro son complejos y estrechamente acoplados (*tightly coupling*). Puede verse que se trata de una visión holística –o sistémica- pues cada uno de los factores contribuyentes es visto como necesario, pero no suficiente en sí mismo para provocar la ocurrencia del infortunio.

La coincidencia de fallas de ambos tipos puede dar lugar a dos clases de evento adverso: los siniestros individuales, que afectan a una o más personas o equipos o a una parte limitada de la organización y los siniestros organizacionales –sistémicos-, definidos textualmente por Reason

(1990) como: “Eventos comparativamente raros pero frecuentemente catastróficos que ocurren dentro de una tecnología moderna compleja, tales como las plantas nucleares, aviación comercial, industria petroquímica, plantas de procesos químicos, transporte ferroviario y marítimo, bancos y estadios”.

El atributo clave del modelo consiste en que cada uno de los Factores contribuyentes es necesario, pero no suficiente en sí mismo para causar el infortunio pues, en la visión de Reason: "La fuente de sucesos está en el sistema y no en sus partes componentes". Esto significa que los errores activos deben considerarse poco importantes para la prevención porque sus combinaciones posibles son innumerables creándose constantemente nuevas condiciones facilitadoras de siniestros. Por tanto, la prevención debe priorizar la eliminación o minimización de las condiciones latentes para lo cual el autor propone tres estrategias:

- Prevenir los errores mediante el diseño de sistemas que compensen las debilidades y fallas humanas predecibles;
- Volver los errores visibles para interceptarlos:
- Mitigar los errores cuando ocurren mediante el diseño de medidas adecuadas.

La contribución más importante del modelo es que para la prevención de siniestros la vía eficaz no es el estudio de los errores humanos en el sentido de errores activos porque: “No es posible eliminar directamente esos errores porque son consecuencias y no causas” (Reason, 1990). El error siempre va a existir, por lo cual la prevención debe basarse en el abordaje de las características del sistema que aumentan las probabilidades de ocurrencia del mismo; dicho con palabras del mismo Reason: “Usted no puede cambiar la condición humana; pero usted puede cambiar las condiciones en que los humanos actúan (trabajan, conducen vehículos, etc)”.

En la actualidad este modelo goza de amplia aceptación como herramienta estándar de análisis y prevención, habiéndose adoptado por grandes instituciones de asistencia médica y por la industria del transporte aéreo, p, ej., la organización EUROCONTROL, responsable de la seguridad del tráfico del espacio aéreo de la Unión Europea, basándose explícitamente en las ideas de Reason, ha desarrollado su propio modelo denominado Systemic Occurrence Analysis Methodology, - SOAM-, cuyo objeto es la investigación y prevención de los siniestros e incidentes en su jurisdicción. Lo mismo hizo el Transportation Safety Board de Canadá para elaborar su modelo particular llamado Integrated Safety Investigation Methodology, ISIM.

4.6 Familia de Modelos Sistémicos

Es fundamental señalar que el enfoque sistémico surgido a impulso de los precursores trabajos del biólogo austriaco Ludwig Von Bertalanffy (1902-1970), presentado por este como "una nueva forma de pensar", es actualmente considerado por amplios sectores como el nuevo paradigma epistemológico de la ciencia y de la tecnología.

La concepción constituye una reacción al paradigma de pensamiento cartesiano-reduccionista dominante por cuatro siglos, cuya herramienta por antonomasia es el análisis, consistente en: "Dividir cada una de las dificultades en tantas parcelas cuanto sea posible y necesario para resolverlas mejor" (Descartes, Discurso del Método, 1637), o sea, descomponer los hechos, fenómenos o procesos en partes cada vez más pequeñas a fin de estudiarlas separadamente. Si bien este procedimiento intelectual posibilitó enormes avances científicos y tecnológicos, en el S. XX quedó de manifiesto su insuficiencia para comprender la complejidad de los sistemas sociotécnicos, económicos y políticos emergentes lo que llevó a cambiar radicalmente la dirección de la mirada para, sin oponerse al enfoque analítico ni negarlo, apuntar a la globalidad

del fenómeno, vale decir, a la perspectiva holística (del griego holós = todo, entero, total) de acuerdo con la premisa aristotélica que reza: “La totalidad posee propiedades que no pueden encontrarse en ninguna de las partes componentes”.

El giro polar del paradigma dio lugar rápidamente a una epistemología correlativa que desarrolló sus propios postulados, principios y leyes particulares, v. gr., ley de la variedad requerida, principio del reduccionismo excluido, sinergia, isomorfismo, teleología, homeostasis, entropía, retroalimentación, causalidad circular, equifinalidad, recursividad, caja negra, etc, lo cual no es posible desarrollar aquí por obvias razones.

Con singular claridad, Checkland (1993) señaló que, esencialmente, el enfoque de sistemas es: “Una metadisciplina, cuya materia sustancial se puede aplicar virtualmente a cualquier otra disciplina”. Esto explica que se haya constituido en el sustrato medular de varias disciplinas científicas recientes, p. ej., comunicación y cibernética, así como de importantes teorías ampliamente aceptadas surgidas en la segunda mitad del S. XX como las del caos, de redes y de juegos. Una muestra de la explosiva difusión del enfoque es que ha llegado hasta el campo deportivo, donde emergió el concepto de “fútbol sistémico” según puede verse en el sitio de Internet www.futbolsistemico.com.

En materia de seguridad, las mismas insuficiencias que determinaron el viraje general hacia el enfoque sistémico llevaron a constatar que las concepciones secuenciales y epidemiológicas eran impotentes para capturar la dinámica, las interacciones no lineales entre componentes y la circularidad causal que caracterizan a los sistemas sociotécnicos complejos.

El radical cambio de paradigma dio origen a diversos modelos de siniestro que describen la performance en el nivel del sistema, es decir, en la totalidad (holísticamente), sin dejar de

considerar el nivel de los mecanismos específicos de tipo causa-efecto e incluso factores epidemiológicos (Hollnagel, 2004). Algunos modelos puntuales de esta familia son: Marco Jerárquico Sociotécnico (Rasmussen), Modelo Teórico de Sistemas de Accidente y Procesos, STAMP (Leveson), Modelo de Accidente de Resonancia Funcional (Hollnagel) y el Modelo de Siniestro Normal (Perrow) que se explicará más abajo. Como ejemplo del profundo cambio cabe citar las categóricas palabras de la organización europea EUROCONTROL al fundamentar su modelo propio –SOAM- expresando: “Décadas de investigación sobre los factores humanos han demostrado que los accidentes e incidentes en los sistemas complejos no son causados por fallas de los individuos, sino que surgen de la confluencia de factores de sistemas múltiples, cada uno con las articulaciones necesarias y suficientes. La fuente de los sucesos está en el sistema, no en sus partes componentes" (2008).

El gran impacto del enfoque sistémico se manifiesta en un virtual acuerdo general en que los siniestros en los sistemas sociotécnicos de gran complejidad no pueden ser comprendidos por el estudio analítico de sus partes aisladas pues su verdadera esencia reside en las interacciones entre estas y el comportamiento total que emerge de ellas lo cual impone que deban ser considerados holísticamente. Conforme a esta premisa: “Los modelos de este tipo tienen la característica común de visualizar el accidente como un fenómeno emergente originado en redes complejas de relaciones y transacciones dinámicas entre los componentes del sistema que conducen a una degradación de la performance cuyo resultado adverso es un daño indeseado” (Qureshi, 2008). El proceso del siniestro es concebido como una red cuya evolución no es visualizada en forma de cadena ni de árbol, sino de combinación de redes de sucesos interconectados; de aquí que la estrategia preventiva fundamental consista en asegurar el control del sistema removiendo el riesgo de que se produzcan combinaciones similares.

Los siniestros ocurren cuando la performance del sistema -el resultado de las interacciones entre todos los componentes- no puede cumplir los requerimientos impuestos por su ambiente. En la distinción hecha por Perrow (1984) entre los siniestros causados por fallas de componentes y los causados por interacciones complejas entre componentes, los modelos sistémicos se enfocan a estos últimos. El proceso hacia el desajuste -llamado migración o deriva- y la consiguiente pérdida del control del sistema contiene un cierto número de eventos, cada uno causado por un amplio espectro de factores humanos, organizacionales, técnicos, jurídicos y de diseño.

Otra característica fundamental radica en que, mientras que las causas inferidas por los modelos secuenciales y epidemiológicos funcionan en forma sucesiva, lineal e inmediata, en los modelos sistémicos los hechos o causas que dan lugar al siniestro no necesitan tener relaciones lineales de causalidad en el sentido tradicional pues: “Cuanto más complejo sea un sistema, más alejados estarán la causa y el efecto entre sí, tanto en el espacio como en el tiempo” (Senge, 1994).

Conforme al paradigma, los sistemas no son concebidos como estructuras estáticas, sino como procesos dinámicos que se adaptan y readaptan continuamente manteniendo el equilibrio a través de círculos de retroalimentación de información y control (feedback loops) para alcanzar sus fines y responder a los cambios que se producen en sí mismos y en su ambiente; para mantener la seguridad, el diseño debe incluir restricciones en la conducta para adaptarse a los cambios. Por ende, los siniestros son tratados como el resultado de procesos que involucran interacciones entre personas, estructuras sociales, organizaciones, actividades de ingeniería, componentes físicos y, eventualmente, sistemas de software (Leveson, 2004).

La mayor diferencia con los modelos secuenciales y epidemiológicos es que estos describen el proceso del siniestro como una cadena lineal simple de sucesos vinculados de causa a efecto, mientras que los sistémicos los ven como una red compleja e interconectada de eventos cuya dinámica esta animada por una causalidad circular compleja producida por las interacciones entre personas, máquinas, estructuras, diseño, normas y condiciones ambientales. Tanto el siniestro como la seguridad son propiedades emergentes del sistema resultantes de la interacción entre los componentes de este y de la totalidad con el ambiente. Además, modelan la jerarquía estructural entre los componentes y la migración (o deriva) del sistema mismo hacia las condiciones generadoras de siniestros.

La principal ventaja de los modelos sistémicos es su énfasis en que el análisis debe estar basado en la comprensión de las características funcionales del sistema, más que en la afirmación o hipótesis acerca de la interacción entre estructuras o mecanismos internos como la proporcionada por las representaciones de, por ejemplo, los modelos de caminos de fallas (Muniz, 2003).

La gran fortaleza de esta familia radica en que proporciona una representación dinámica muy cercana a la realidad, además de poseer una gran capacidad para identificar complicadas redes de relaciones e interacciones que escapan completamente a otros tipos de modelos, lo que los vuelve ideales para el estudio de la siniestralidad y de sus soluciones a nivel global. Los modelos de prevención más exitosos de la historia de la seguridad vial son fruto de la aplicación de un enfoque sistémico, v. gr. Vision Zero de Suecia, Start-Up o Seguridad Sostenible de Holanda y Tomorrow's Roads-Safer for Everyone del Reino Unido.

La contrapartida negativa de los beneficios del enfoque reside en que requiere la comprensión previa de la teoría de sistemas, así como emplear herramientas que exigen especialización, v. gr. metodologías específicas como las de “Sistemas duros y blandos” (Checkland), la “Dinámica de Sistemas” (Forrester) y el “Modelo de Sistema Viable” (Stafford Beer). Debido a ello los estudios requieren extensos lapsos y suelen insumir recursos costosos; adicionalmente, los resultados necesitan explicaciones complejas cuya comprensión no está al alcance de cualquiera porque presupone el conocimiento y manejo de los conceptos, leyes, principios e incluso del lenguaje propio de la epistemología sistémica y esto no es en modo alguno común entre los políticos y los gestores, a pesar ser quienes detentan el poder de decidir, financiar y poner en práctica las medidas concretas.

A las dificultades reseñadas en el párrafo anterior en Latinoamérica se agrega la relativamente escasa difusión del pensamiento sistémico lo cual justifica que a continuación se desarrolle la explicación de un solo modelo de esta clase, el de Perrow, seleccionado por ser el más conocido y, posiblemente, el primero de su especie.

Modelo del siniestro normal.

El modelo sistémico del siniestro normal se originó en el nombramiento del sociólogo organizacional Ch. Perrow en carácter de miembro del comité designado por el presidente de EUA para investigar las causas del gravísimo incidente de la planta atómica de generación eléctrica de Three Miles Island ocurrido en marzo de 1979, llamado “El Chernobyl estadounidense”. Las lecciones que el investigador extrajo de la dramática experiencia fueron condensadas en su libro “Normal accidents; Living with high risk technologies” (1984), en el que postuló como causa primaria de este tipo de sucesos la complejidad del sistema y sus

atributos, señalando: “Tal vez el aspecto más original del análisis es que se enfoca en las propiedades del sistema mismo, antes que en los errores de los propietarios, diseñadores y operarios” (1984).

Las diversas concepciones tradicionales comparten la nota común de entender los siniestros como sucesos anormales, esto es, rupturas excepcionales, destructivas e inesperadas del orden cotidiano de las cosas, pero, en la visión de dicho investigador, en los sistemas de alta complejidad se trata hechos normales porque, de muchos modos, es algo que inevitablemente habrá de ocurrir.

La profunda indagación del incidente nuclear referido inspiró a Perrow para construir su modelo al descubrir que se había originado en la repentina aparición de un conjunto de fallas banales en sí mismas que incluso poseían dispositivos redundantes para corregirlas, pero la acumulación desató entre ellas interacciones absolutamente desconocidas debido a que la gran complejidad del sistema había excedido exponencialmente la posibilidad de anticiparlas, lo que derivó en la pérdida del control del reactor; afortunadamente, diríase que “en el último segundo”, se consiguió enfriar el núcleo evitando que se fundiera catastróficamente, pero no pudo impedirse que la costosísima planta fuera condenada con la clausura ad eternum.

No ocurrió lo mismo en la catástrofe soviética de Chernobyl (1986) pues, a las características constructivas de la central originadas en su propósito militar (producción de plutonio), sumó el gatillo disparador de la decisión de máximo nivel burocrático-político de efectuar, en condiciones de riesgo violatorias del “Reglamento de Seguridad Nuclear de la URSS”, una prueba crítica de inercia de la turbina del generador simulando un corte total de energía eléctrica que incluía la desconexión del sistema cibernético de comando. Las interacciones desconocidas

que por ello se suscitaron determinaron que el ilegal simulacro escapara de control pese los desesperados esfuerzos de los técnicos, cuyo desconcierto los indujo a cometer graves errores al tratar de controlar el reactor manualmente, lo cual culminó en la fusión del núcleo produciendo una gigantesca explosión de hidrógeno que, a más de cientos –probablemente miles- de víctimas, contaminó con partículas radioactivas la atmósfera y los suelos de varios países europeos.

La inevitabilidad –o normalidad- postulada por el modelo se origina en la convergencia de dos factores: a) la complejidad interactiva de los sistemas de este tipo (que puede ser de cantidad de elementos, de tecnología o de organización, y a menudo de las tres), y, b) el estrecho acoplamiento interno de los componentes (*tightly coupling*).

Dichos factores hacen que el control sea imposible de asegurar debido a que no hay forma de predecir las innumerables combinaciones de fallas que pueden producirse por lo cual, de vez en cuando, ocurren siniestros imposibles de prevenir lo que justifica llamarlos normales o sistémicos, o sea, inherentes al sistema. La idea central puede sintetizarse diciendo que los siniestros son el resultado de la suma de la complejidad interactiva y de las interacciones no lineales derivadas de un estrecho acoplamiento que las vuelve inesperadas, incomprensibles e imperceptibles a los diseñadores y a los operadores porque tienen el potencial de propagarse entre los subsistemas a través de numerosas rutas imposibles de prever. Entonces se presentan propiedades emergentes desconocidas que conducen al desastre, como sucede en algunos sistemas hipercomplejos construidos por el hombre, v. gr., plantas petroquímicas y atómicas, portaviones y submarinos nucleares (ejemplos de estos últimos son las tragedias del Scorpion y el Tresher estadounidenses y del K-19 y el Kursk soviéticos).

Según que las interacciones entre dos o más fallas puedan o no ser anticipadas, esperadas o comprendidas, se distinguen dos tipos de siniestros: 1) Siniestros por fallas de componentes: involucran una o más fallas de una parte, unidad o subsistema que están vinculados en una secuencia anticipada y: 2) Siniestros del sistema: involucran la interacción no anticipada o no comprendida de antemano de fallas múltiples por causa de la complejidad. Este tipo de interacciones no anticipadas entre componentes (físicos, humanos u organizacionales), implican que, paradójicamente, el sistema entero puede fallar escapando de control como totalidad sin que falle ningún componente individual.

El otro elemento fundamental del modelo es la estrechez del acoplamiento, esto es, el grado de entrelazamiento de las interconexiones e interdependencias entre los componentes del sistema.

Si estos están estrechamente acoplados, la cascada de efectos puede salirse rápidamente de control porque los operadores no son capaces de comprender la situación y llevar a cabo las medidas correctivas necesarias. La complejidad misma del sistema puede derivar en que no se pueda desarrollar la suficiente rapidez para responder a la propagación de perturbaciones, así como los operadores no tener el tiempo o la habilidad para identificar lo que está fallando. Este vínculo puede ser fuerte o débil permitiendo clasificar a los sistemas en: a) Sistemas fuertemente acoplados: sus procesos son críticos porque dependen del tiempo por lo que no pueden esperar o mantenerse hasta ser atendidos; hay secuencias invariantes que son la única forma de llegar a la meta (v. gr., una planta nuclear), muy poco margen para los descuidos y los procesos y suministros deben ser invariados y precisos porque: “(...) la intervención en las partes que fallan o su sustitución son difíciles o imposibles porque las perturbaciones se propagan rápidamente a través del sistema entero dejando confundidos a los operadores” (Perrow, 1999), y: b) Sistemas

ligeramente acoplados: los procesos son menos dependientes del tiempo por lo que toleran eventuales demoras y cambios del orden de las secuencias, lo que permite que puedan surgir fallas sin desestabilización sistémica (p. ej., el montaje de un automóvil).

Un concepto importante del modelo es el referido al tipo de interacciones que pueden darse entre fallas. La existencia de muchos componentes en un sistema no es un gran problema para los diseñadores u operarios si sus interacciones son esperadas u obvias. Perrow (1984) lo explica diciendo: “Lo que distingue estas interacciones complejas es que no son diseñadas en el sistema, nadie pretende que estén vinculadas. Nos confunden ya que actuamos en términos de nuestros propios diseños de un mundo que esperamos que exista, pero el mundo es otro”. Algo intrínseco a los procesos mismos es lo que origina los problemas, sin embargo, la estrategia de la redundancia (dispositivos secundarios acoplados a los primarios que funcionan cuando estos fallan) no es la solución porque tiene dos efectos contraproducentes: por un lado, aumenta la complejidad y, por otro, estimula a los operadores a la asunción de riesgos por la sensación de confianza que inspira.

La idea de la inevitabilidad de los siniestros condujo a Perrow a plantear una dramática disyuntiva: “Tenemos sistemas complejos porque no sabemos cómo producir algo a través de sistemas lineales. Si estos sistemas complejos también tienen potencial catastrófico, entonces debemos considerar maneras alternativas de obtener el producto o abandonarlo totalmente” (1984). Todavía cabe agregar que las nuevas tecnologías, especialmente la cibernética, han conducido a un sustancial aumento de la complejidad interactiva y del estrecho acoplamiento de los componentes. La sustitución de los elementos mecánicos y electromecánicos por software ha suprimido muchas restricciones que limitaban la complejidad de los sistemas de ingeniería y esto hizo surgir un nuevo tipo de vulnerabilidad en los sistemas complejos debido al gran aumento de

las posibles interacciones entre los componentes al punto que: “Nada necesita estar roto o faltar algo para que falle un sistema complejo; de hecho todos los componentes podrían estar trabajando exactamente como fueron diseñados y probados, pero las interacciones inesperadas y la variabilidad normal todavía pueden producir una falla catastrófica” (Leveson, 2002).

Tratando de encontrar una salida al dilema de abandonar o continuar empleando tecnologías complejas siniestrosas en las que hay mucho interés, la ingeniería se ha esforzado por desarrollar métodos de análisis en el marco de la teoría de sistemas que hacen posible predecir hechos nuevos que podrían desembocar en siniestros. Empero, la verdadera solución para eliminar o reducir los riesgos es la simplificación de los sistemas como lo postula Leveson: "Uno de los aspectos más importantes del diseño seguro es su simplicidad. Un diseño simple tiende a minimizar el número de partes, modos funcionales e interfaces" (Leveson, 1995).

Que sepa quien escribe, la siniestralidad vial todavía no ha sido examinada a la luz de este modelo radical lo que no permite pronunciarse acerca de sus fortalezas y debilidades.

Conclusiones

El alto índice de accidentalidad de las carreteras de estos departamentos de la zona nororiente de Colombia respecto del observado en la matriz de colisión de otras zonas del país, constituye un problema de primer orden, problema en el que entremezclan una multitud de factores difícilmente discernibles, agrupados en tres grupos, a saber, el factor humano, el relacionado con el estado de la carretera y su entorno, y el que tiene que ver con el vehículo.

Por ello, es necesario primero el establecimiento de una estrategia conjunta de la que participen todas las administraciones y empresas implicadas, que corte o al menos frene el crecimiento imparable de las estadísticas de accidentalidad; y por otra parte, y como segundo punto, se precisa de una actuación de mejora de la red vial desde el punto de vista de la seguridad vial, identificándose aquellos factores que suelen favorecer el acaecimiento del accidente (sin duda un objetivo difícil de cumplir en su totalidad), con objeto de facilitar el correcto reparto de los siempre escasos recursos disponibles por las administraciones públicas.

Recomendaciones

Es recomendable respetar los límites de velocidad. En el caso Colombia, las leyes de tránsito se rigen por el Reglamento Nacional de Tránsito, el cual en el artículo 162 establece los límites de velocidad que debes mantener tanto en zonas urbanas como en carreteras.

Frente a la ocurrencia de un siniestro, es recomendable en el mejor de los casos no aceptar responsabilidades ni realizar arreglos por cuenta propia sin que cuente con la asesoría de un abogado o representante de la aseguradora. Es importante registrar cualquier nombre o dato que le parezca importante en la definición de causas, responsabilidades o anomalías.

Si no hay lesionados valide que la posición final de los vehículos no haya sido alterada y no los mueva a menos que una autoridad pertinente exija hacerlo. No abandone la seguridad de sus vehículos si cree que hay alguna situación fuera de lo normal o que ponga en riesgo la integridad de los ocupantes.

Para evitar una colisión, es importante tener en cuenta: Respetar los límites de velocidad, no realizar tareas adicionales a la de conducir; respetar las distancias entre vehículos; no asumir que los demás conductores realizan las maniobras adecuadas; señalice y garantice que sus maniobras son visibles; respete las señales de tránsito e indicaciones sobre la vía y priorizar a los peatones.

Referencias Bibliográficas

- Aparicio Izquierdo, F., Bernardos Rodríguez, E., Arenas Ramírez, B. D. V., Gómez Méndez, Á., & Páez Ayuso, F. J. (2008). Análisis de la seguridad vial española: un modelo integrado para la evaluación de los principales factores de influencia. Recuperado de:
https://oa.upm.es/3142/3/INVE_MEM_2008_53333.pdf
- Arias Paz, M. (1995). Manual de automóviles – Ed. Dossat 2000 – Madrid.
- Asociación Española de la Carretera, AEC – Wikivía – Internet: www.wikivia.org
- Baguley C. (2001). The importance of a road accident data system and its utilisation - Presented at International Symposium on Traffic Safety Strengthening and Accident Prevention - Nanjing, China, Nov 28-30.
- Baker J.S. (1970). Manual de investigación de accidentes de tráfico (traducción de la Dirección General de la Jefatura Central de Tráfico de España) - Ed. Gala – Madrid.
- Benner Jr. L. (1985). Rating accidents models and investigation methodologies – National Safety Council & Pergamon Press Ltd. - Journal of Safety Research Vol. 16.
- Botta N.A. (2010). Teorías y modelización de los accidentes – Editorial Red Proteger - 3ª Edición – Rosario.
- Box, G. & Draper, N. (1987). Empirical model-building and response surfaces (Wiley series in probability and statistics) - Wiley, Arizona.
- Cal y Mayor R. (1982). Ingeniería de tránsito - Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A. – Mexico.

- Campón Domínguez, J.A. (s.f.). El modelo secuencial de eventos de un siniestro (MOSES) –
Securitas Vialis Vol. 1, No. 3 - ISSN 1888-9697.
- Chaparro Guevara G. (2008). No linealidad, complejidad y sistemas sociales – Rev.
Antropología y Sociología No. 10, Ene-Dic.
- Checkland P. (1993). Pensamiento de sistemas, práctica de sistemas – Grupo Noriega Editores –
Mexico.
- Dextre, J.C. (2010). Nuevos paradigmas para la seguridad vial – Ponencia a la XVI PANAM –
Lisboa.
- Dextre, J.C. (2010). Seguridad vial; La necesidad de un nuevo marco teórico (Tesis de maestría)
- Universidad Autónoma de Barcelona; Departamento de Geografía – Bellaterra.
- Eenink R., Reurings M., Elvik R., Cardoso J., Wichert S. & Stefan Ch. (2008). Accident
prediction models and road safety impact assessment: Recommendations for using these
tools – RIPCORDER-ISEREST-Deliverable D2, Final.
- Elvik R. & Vaa T. (2004). The handbook of road safety measures – Ed. Elsevier – Amsterdam.
- Fridström L. (1999). Econometric models of road use, accidents and road investment decisions –
Research Council of Norway; Institute of Transport Economics – TOI Report 457/1999 –
Oslo.
- García G., Johanna L. y Rivera J.H. (2009). Formulación matemática de algunos modelos físicos
utilizados en la reconstrucción de un evento de tránsito y las consideraciones para su
implementación – Rev. Scientia et Technica, Vol. XV, No. 43, diciembre.

- Gaudry M. (1984). DRAG, un modèle de la demande routière, des accidents et de leur gravité, appliqué au Québec de 1956-1982 - Université de Montréal - Centre de Recherche sur les Transports - Publication CRT-359 et Cahier No. 8432.
- Gunnarsson S.O. (1996). Traffic accident prevention & reduction review - IATSS Research Vol. 20 No 2.
- Gunnarsson S.O. (2000). Studies in travel behaviour and mobility management need a special scientific discipline: "Mobilistics" - IATSS Research Vol. 24 No 1.
- Haddon W. (1973). Energy damage and the ten countermeasure strategies - The Journal of Trauma 13 (No.4) 321–331.
- Haddon W. (1980). Options for the prevention of motor vehicle crash injury - Israeli Medical Journal 16:45–65.
- Hakkert A.S, Gitelman V. & Vis M.A. (Eds.) (2007). Road safety performance indicators; Theory - EU Project FP6 SafetyNet - Deliverable D3.6.
- Harnen S., Radin Umar R.S., Wong S.V. & Wan Hashim W.I. (2003). Motorcycle crash prediction model for non-signalized intersections - IATSS Research Vol. 27 No 2.
- Harvey M.D. (1985). Models for accident investigation – Alberta Workers Health, Safety and Compensation; Occupational Health and Safety Division – April.
- Herrera Morales C.A. (2005). Aplicación del enfoque sistémico en el diseño de los sistemas de transporte ferroviario de carga – Universidad Nacional Autónoma de México – Rev. Ingeniería, Investigación y Tecnología Vol. VI No. 4 – oct-dic.

- Hollnagel E. (2003). Modelos de accidentes e análises de accidentes - En: Caminhos da análise de acidentes do trabalho - Ministério do Trabalho e Emprego – Brasília.
- Hollnagel E. (2009). Barreras y prevención de accidentes – Ed. Modus Laborandi – Madrid.
- Huang Y.H. (2005). A systemic traffic accident model (thesis) - Linköpings Universitet, Engineering Laboratory – Linköping.
- Huang Y.H. (2007). Having a new pair of glasses: Applying systemic accident models on road safety - Linköpings Universitet.
- Irureta, V.A. (1996). Accidentología vial y pericia – Ed. La Rocca - Buenos Aires.
- Katsakiori P., Sakellaropoulos G. & Manatakis E. (2008). Towards an evaluation of accident investigation methods in terms of their alignment with accident causation models – Elsevier. Recuperado de:
www.sakellaropoulos.gr/Publications/J43_Safety%20Science_2009_47_1007-15.pdf
- Kjellén U. (1984). The deviation concept in occupational accident control, Part I: Definition and classification - Accident Anal Prev 16:289–323.
- Kuhn T.S. (1971). La estructura de las revoluciones científicas – Fondo de Cultura Económica, Breviarios – México.
- Land Transport Safety Authority, New Zealand Police. (1998). Road Safety Research, Policing, Education Conference Proceedings – Wellington, New Zealand, November.
- Le Moigne J.L. (1977). Théorie du système général: Théorie de la modélisation - Collection Les Classiques du Réseau Intelligence de la Complexité – Paris.

- Leveson N. (2004). A new accident model for engineering safer systems - Rev. Safety Science, Vol. 42, N° 4, April.
- Leveson N., Daouk M., Dulac N. & Marais K. Applying STAMP in accident analysis – Internet: www.shemesh.larc.nasa.gov/iria03/p13-leveson.pdf
- Lozano Ruiz J.A. (1996). Modelo teórico para la reconstrucción de accidentes de tráfico por ordenador (Tesis de doctorado) – Universidad Politécnica de Madrid – Madrid.
- Macias G.R. (2009). A complexidade da situação epidemiológica dos acidentes de trânsito (Tesis de doctorado) – Salvador de Bahia.
- Marais K., Dulac N. & Leveson N. Beyond normal accidents and high reliability organizations: The need for an alternative approach to safety in complex systems. Recuperado de: [www.cs.st-andrews.ac.uk/~ifs/Teaching/Socio-techsystems\(LSCITS\)/Reading/BeyondNormal%20AccidentsAndHROs.pdf](http://www.cs.st-andrews.ac.uk/~ifs/Teaching/Socio-techsystems(LSCITS)/Reading/BeyondNormal%20AccidentsAndHROs.pdf)
- Martínez Oropesa C. (2011). Enfoques de modelización de accidentes en sistemas sociotécnicos complejos – Rev. El Hombre y la Maquina No. 37, Julio-Diciembre.
- McGregor A. (2006). Accidents, failures, mistakes and leaky buildings - Paper presented at the National IPENZ Conference – Wellington, New Zealand – March.
- Mendoza Díaz A. (2005). Reflexiones sobre los paradigmas de la seguridad vial y su visión a futuro - Instituto Mexicano del Transporte – Sanfandila, Querétaro.

Muniz de Almeida I. (2006). Abordagem sistêmica de acidentes e sistemas de gestão de saúde e segurança do trabalho – Rev. InterfacEHS Revista de Gestão Integrada em Saúde de Trabalho e Meio Ambiente, Vol. 1, No. 2 – Dezembro.

National Transportation Safety Board, Office of Marine Safety (2009). Improving the quality of accident investigation.

Neira J. y Bosque L. (2004). The word “accident”: no chance, no error, no destiny - Rev. Prehospital and Disaster Medicine Vol.19, No.3, July–September.

Nilsson G. (2004). Traffic safety dimensions and de Power Model to describe the effect of speed on safety (Doctoral thesis) – Lund Institute of Techonolgy, Department of Technology and Society Traffic Engineering – Bulletin 221 – Lund.

Organización de las Naciones Unidad, ONU. Plan mundial para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011–2020.

Organización Mundial de la Salud, OMS. (2004). Informe mundial sobre prevención de los traumatismos causados por el tránsito – Publicación Científica y Técnica No. 599 – Washington DC.

Organización Mundial de la Salud, OMS. (2009). Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial; Es hora de pasar a la acción – Ginebra.

Reason J. (1990). Human error - Cambridge University Press - New York.

Reason J. (2009). La gestión de los grandes riesgos; Principios humanos y organizativos de la seguridad – Ed. Modus Laborandi – Madrid.

Romera Romero J. (2007). Causalidad del error humano en los accidentes laborales (Modelo psicológico del queso suizo) – Rev. Seguridad y Salud en el Trabajo No 42, julio.

Ruiz Pérez M. (2011). ¿Se debe usar el término accidente en el ámbito de la investigación científica? - Rev. Panace@ Vol. XII, No 33.

Sabino C. (1992). El proceso de investigación - Ed. Panamericana - Buenos Aires.

Sanmartín J. (2003). La accidentología: Una actividad necesaria (conferencia) - Universidad Complutense de Madrid, El Escorial, 14-18.

Senge P.M. (1994). La quinta disciplina: el arte y la práctica de las organizaciones que aprenden – Ed. Granica.

Tabasso C. (1997). Derecho del Tránsito; Los Principios - B de F Editorial - Buenos Aires.

Tabasso C. (2000). Ingeniería de Bajo Costo, ¿Revolución o Pura Racionalidad? – Rev. Vial, Obras, Seguridad y Transporte N° 22 – Buenos Aires.