

Carlos Tabasso

inforvia@adinet.com.uy

Paradigmas, teorías y modelos de la seguridad y la inseguridad vial

“Cuando no existe un entendimiento de los procesos que causan las pérdidas, no hay posibilidad de una intervención humana efectiva para evitarlas o controlarlas”

W. Haddon

1 - Porqué y para qué este trabajo

El categórico juicio de Haddon transcripto en el acápite constituye la justificación del corte filosófico de este trabajo, mas 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 *¿Porqué 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 mas 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 plétora 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 y, en definitiva, tome su propia decisión, aunque esto no le será nada fácil porque los diversos tipos tienen capacidad para explicar cosas diferentes, pueden conducir al error de varios modos e implican un margen de relatividad puesto irónicamente en evidencia por el matemático George E.P. Box diciendo: “*Esencialmente todos los modelos están equivocados, pero algunos son útiles*” (1987).

2 – Digresión terminológico-semántica

Abstrayendo sus respectivos idiomas, entre los teóricos de la seguridad existe un virtual acuerdo sobre que, en algún momento, deberá desterrarse de este campo disciplinario el vocablo *accidente*, v. gr. Rumar, Huang, Montoro y Dextre. La principal razón de ello es: “*la connotación de imprevisibilidad y aleatoriedad implícita en el término, lo cual se asocia con sucesos totalmente impredecibles*” (Ruiz Perez, 2011), vale decir que su semántica ha dejado de coincidir con el concepto actual, pero el problema parecería consistir en encontrar términos que lo sustituyan.

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, contradiciendo 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*.

Por las razones expuestas, en este trabajo se emplea el vocablo *siniestro* y sus derivados con el significado que le asigna el Diccionario de la Real Academia Española de *"Infeliz, funesto o aciago"* pues refiere al carácter adverso y afligente del hecho, estando libre de las connotaciones de involuntariedad, impredecibilidad e inevitabilidad que vuelven inapropiado el uso de *accidente*. También se utiliza aquí el término sinónimo *infortunio*, definido por el mismo diccionario como *"Hecho o acaecimiento desgraciado, cuyo empleo es tradicional en el derecho de seguros. Es interesante observar que en italiano y español la semiótica y la semántica de esta locución son idénticas, al punto que el vocablo correspondiente a *accidentología* es el itálico *"infortunística"*.*

Sin perjuicio de lo anterior, en la siguiente exposición se usará *accidente* exclusivamente para denotar los hechos realmente impredecibles e inevitables y, por una elemental razón de respeto intelectual, en las citas textuales de los autores que lo hayan utilizado.

3 – Paradigmas de la siniestralidad primitivos

El término paradigma (etimológicamente: ejemplo a imitar) se emplea en este trabajo con el significado definido por Kuhn (1971) de: *"Una constelación de logros – conceptos, valores, técnicas, etc. – compartidos por una comunidad científica y usados por ésta para definir problemas y soluciones legítimos"*, o, dicho de un modo mas simple: es la forma en que, en cierta época, los hombres de ciencia conciben ciertos hechos, fenómenos o procesos, p. ej. de acuerdo al antiguo paradigma geocéntrico de Tolomeo la Tierra era el centro del universo, luego el paradigma heliocéntrico de Copérnico la sustituyó por el Sol hasta que los descubrimientos astronómicos de los Ss. XIX y XX ubicaron a ambos astros en el humilde rincón de la Vía Láctea que les corresponde. Por lo tanto, el paradigma no es una verdad absoluta sino que cambia –

y tiene que cambiar- cuando el fenómeno mismo o el progreso de la disciplina científica que lo trata experimentan cambios radicales, en cuyo caso debe ser sustituido por uno nuevo.

En su devenir como especie los seres humanos a menudo se vieron dañados por diversos eventos aciagos de carácter individual o colectivo producidos inesperadamente por factores visibles, p. ej., terremotos y huracanes, o invisibles como las epidemias, algunos cargados de tal potencia destructiva que aniquilaron grupos enteros de población, como ocurrió en Pompeya sepultada por el Vesubio en el S. I dC y en numerosas ciudades europeas vaciadas por la Peste Negra del S. XIV.

La mentalidad pre-racional arcaica encontró el primer paradigma explicativo de tales sucesos en la ira de entidades metafísicas: los *dioses o espíritus que castigaban o se vengaban de los hombres*, lo que volvía inútil cualquier intento de eludir las fuerzas desatadas en su contra, dando así origen a innumerables mitos y, quizá, a las mismas religiones. Un residuo de esta visión suprahumana subsiste todavía en el nombre de la institución jurídica anglosajona del “*Act of God*”, el “Acto de Dios”, cuya definición moderna es: “*Acto ocasionado por un inesperado desastre natural grave*” (Society for Risk Analysis, 2010).

El desarrollo del pensamiento racional, y con él de una visión científica de la naturaleza, cambió el paradigma: los dioses iracundos y vengativos fueron reemplazados por una abstracción laica y antojadiza: *el azar*, también llamado *casualidad, acaso y suerte*. El problema que planteaba esta noción radicaba en que todo suceso dañoso imprevisto, que no fuera resultado de una acción humana intencional, era considerado accidente y, por tanto, capricho del azar, de la pura e inescrutable casualidad. Este fue el criterio del jurado de enjuiciamiento que se pronunció en el caso de Bridget Driscoll, la primera víctima mundial del tránsito motorizado, atropellada en el Crystal Palace de Londres el 17 de agosto de 1896 por un automóvil que circulaba a 4 Km/h, cuyo veredicto fue: “*Muerte accidental*”, al cual el Dr. Percy Morrison, médico forense interviniente en la investigación, acotó: “*Una cosa como esta no debe volver a suceder jamás*”.

Los paradigmas anteriores constituían solo explicaciones de los sucesos aciagos, estando ausente cualquier pretensión de intervenir de algún modo para evitarlos, salvo orar o hacer penitencias, sacrificios u ofrendas para aplacar a los dioses o conjurar el azar por alguna vía mágica; cuando se verificaba una investigación era con el único fin de establecer si en la causación había intervenido algún individuo con el

fin de imputarle un delito u obligarlo a reparar económicamente el daño causado.

Con la economía industrial surgida en Inglaterra entre fines del S. XVIII y principios del XIX emergió un fenómeno inédito en la historia: la relación simbiótica entre seres humanos y maquinarias, lo que originó los sistemas llamados *sociotécnicos* por componerse de una parte humana y otra técnico-mecánica interdependiendo e interactuando acopladas. Estos sistemas trajeron consigo otros tipos de adversidades, en especial los siniestros laborales, v. gr., muertes y lesiones por manipulación de equipos, explosiones de calderas, descarrilamientos de trenes y nuevas enfermedades generadas por las condiciones del trabajo, v. gr., el saturnismo.

Las innovaciones de la Segunda Revolución Industrial del último tercio del S. XIX ampliaron la nómina de infortunios con nuevas formas, p. ej., electrocuciones e intoxicaciones químicas. Empero, el mayor aporte a las desdichas humanas de la era de la tecnología resultó ser el vehículo automotor por su inacabable siniestralidad pandémica inaugurada por la mencionada tragedia de Bridget Driscoll seguida por la del Ingeniero. Edwin Sewell quien, el 25 de febrero de 1899 en Harrow, Londres, al perder el control de su Daimler y colisionar contra un muro, se convirtió en el primer *chauffeur* caído del mundo. En este período surgió otro paradigma, mas bien una cínica justificación fatalista, sintetizable en una frase que gozó de un largo e inmerecido éxito: “*Los siniestros son el precio del progreso*”, sin reparar que suelen ser los inocentes quienes pagan el progreso de otros, a menudo con sus propias vidas.

Para explicar los infortunios emergentes en los sistemas hombre-máquina, en la misma época comenzó a abrirse paso otro paradigma de tipo monocausal que se ha vuelto clásico por su tenaz pervivencia: sea por error, fatiga, embriaguez, imprudencia, negligencia, impericia o incumplimiento de leyes, normas técnicas, órdenes o protocolos: “*La causa –o la culpa- de los siniestros reside en la conducta defectuosa del factor humano*”. A pesar de la enorme difusión de este concepto engañosamente sesgado, se hizo rápidamente evidente que no alcanzaba para explicar los siniestros acaecidos en los sistemas sociotécnicos donde el elemento personal confluye con factores ambientales, sociales, organizativos, tecnológicos, jurídicos y de diseño.

En el S. XX, las catástrofes industriales, aéreas, petroquímicas y, mas recientemente, las nucleares, aeroespaciales y ecológicas, volvieron notoria la inutilidad de los viejos paradigmas para generar medidas de

contención de las ingentes pérdidas humanas y económicas que la plaga de los siniestros producía, lo que condujo a estudiar el problema científicamente para encontrar las claves de la predecibilidad y, por ende, de la posibilidad de evitar o mitigar el daño en potencia. En el decenio de los años 30 del siglo pasado, enmarcada en diversos paradigmas que se sucedieron en el tiempo, se inició una especie de veloz carrera entre diferentes modelos y teorías que intentaron comprender y anticipar los infortunios acaecidos en una realidad cada vez más compleja en la que la siniestralidad vial ocupó siempre un lugar por demás relevante y nunca decreciente.

4 – Los paradigmas particulares 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.

SINTESIS 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	Estrategia de las 3E Detección de la	Medidas combinadas para reducir los	Creación de redes Evaluación de

	Patrullas escolares	propensión al siniestro	riesgos	costos
Efectos	Incremento gradual de los vehículos y del riesgo de lesión	Rápido aumento del riesgo de lesión y reducción de los riesgos viales	Ciclos sucesivos de reducción de los riesgos viales y de lesiones	Reducción continua de los siniestros graves
Fuente: OCDE, 1997				

Seguidamente se analizará cada paradigma en forma pormenorizada

- 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 si 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.

- 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 causación 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 mas abajo.

- 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 participantes. 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 las ratio Costo/Beneficio y Costo/Eficacia de las medidas preventivas.

- Cuarto paradigma (1980/85...)

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.

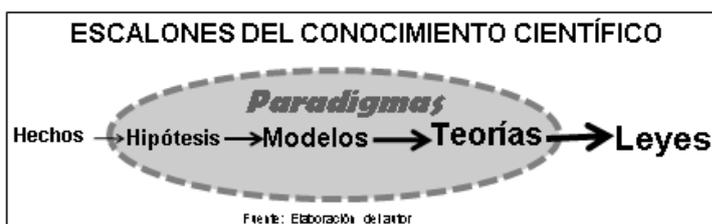
Puede verse que con cada paradigma el alcance de la seguridad se fue extendiendo, pero los primeros no fueron completamente reemplazados por los últimos porque estos fueron construidos con aquellos. El proceso de aprendizaje evolucionó en el enfoque de la prevención de siniestros transitando desde el 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.

A continuación se desarrollará el tema de los modelos y las teorías y de su relación con los paradigmas analizados supra.

5 – Nociones generales de modelo y teoría

Las teorías y los modelos constituyen requerimientos básicos de la



ciencia y de la tecnología por tratarse de instrumentos epistémicos que posibilitan describir y comprender los

fenómenos, intervenir sobre ellos y transmitir el conocimiento. En la

construcción del saber científico constituyen etapas intermedias entre los hechos objetivos y las leyes indisputables que los gobiernan según se ilustra gráficamente en el diagrama adjunto.

Para ahorrarse equívocos debe advertirse que en el discurso político y económico se ha popularizado el término *modelo* -hasta el grado del abuso- con una significación deontológica-valorativa, o sea, no lo que “es”, sino lo que “debe” o “debería ser” según ciertos postulados doctrinarios o ideológicos que se consideran, o, positivamente, como dignos de ser adoptados, o, negativamente, como reprobables o equivocados: p. ej. “*modelo asistencialista*”, “*modelo autárquico*”, “*modelo marxista (o fascista)*”, etc. De acuerdo con este concepto el modelo es un ente de orden ideal, teórico o utópico, una concepción intelectual sin correlato necesario en la realidad objetiva, dicho de otro modo: es un diseño preconcebido según el cual se procurará conformar o transformar la realidad a su semejanza, p. ej., establecer un estado militarista, una sociedad sin clases o una economía sin regulaciones.

A diferencia del concepto anterior, la epistemología científica entiende por modelo una construcción conceptual consistente en la abstracción selectiva de un fenómeno, sistema o proceso, vale decir una reproducción inteligible, reproducible y comunicable de una parte acotada de la realidad, de lo que objetivamente “es”, expresada mediante un sistema de símbolos que, indiferentemente, pueden ser matemáticos, gráficos, lingüísticos, matriciales, icónicos e incluso físicos (v. gr., la *maquette* de un edificio). Según este concepto el modelo tiene sus raíces profundamente hundidas en la realidad desde que constituye la representación simplificada de una parte la misma, de lo que realmente existe y ocurre en el mundo fenoménico de lo empíricamente verificable. Por tanto, en la óptica científica el modelo surge de la realidad pues no es, ni puede ser, otra cosa que su retrato simplificado por medios simbólicos.

El modelo se construye para ordenar observaciones, correlacionarlas, explicarlas, abordar la solución de problemas y operar de punto de partida de estudios e investigaciones ulteriores; su objeto es facilitar la comprensión de un cierto hecho, proceso o fenómeno explicitando las relaciones que existen en el plano objetivo. Cualquier fenómeno, sistema o proceso puede ser representado por más de un modelo, lo que depende de los objetivos del modelizador y de su habilidad para identificar y representar las relaciones, funciones e interacciones relevantes; el ejemplo perfecto es la modelización de la relación materia-energía expresada por la célebre ecuación einsteniana que constituyó la

base de importantes avances prácticos como las plantas nucleares de generación eléctrica, pero también de las bombas que arrasaron Hiroshima y Nagasaki en 1945. Otros ejemplos: la

Ejemplo de un modelo (matemático) famoso

$$E = mc^2$$

fórmula química H²O es un vulgarizado modelo del agua, las cartas geográficas son modelos de territorios y varios diagramas insertos en este mismo trabajo son modelos gráficos de la causalidad y desarrollo de los siniestros.

La modelización cumple funciones teóricas y prácticas pues, además de organizar, profundizar y comunicar el conocimiento, posibilita crear métodos y estrategias para intervenir sobre los fenómenos a fin de modificarlos, neutralizarlos o utilizarlos, p. ej., idear la terapéutica de una enfermedad, solucionar problemas de producción, diseñar estrategias, abatir la siniestralidad, etc.

Se ha argumentado que los modelos deberían estar sustentados en una teoría previa pero, aunque esto pueda verse como el desiderátum, lo contrario es lo común dado que suelen ser el antecedente, el punto de partida de una evolución que puede culminar en la articulación de una teoría propiamente dicha según se explicará seguidamente.

Con relación al modelo, la teoría constituye un escalón relativamente superior del conocimiento científico dado que se define como un constructo coherente de conceptos, definiciones y proposiciones articulados entre si que explican en forma sistemática e idealmente completa una parte relativamente amplia de la realidad, su naturaleza, estructura, tiempos, parámetros, variables, funciones, interacciones, causas y consecuencias. La prueba por antonomasia de la validez de una teoría es la capacidad que posea para predecir la ocurrencia y el comportamiento de los fenómenos que trata, en cuyo caso debe ser ubicada en el camino de erigirse en ley científica; si bien no todas llegan a este estatus supremo del conocimiento, de hecho han logrado alcanzarlo p. ej., las teorías de la evolución de Darwin, del electromagnetismo de Maxwell y de la relatividad de Einstein.

Entre el modelo y la teoría media una frontera muy borrosa debido a que, por ser solo de grado y no de naturaleza, la diferencia es muy difícil de establecer, p. ej. la explosión cósmica que originó el universo -el *Big-Bang*- es entendida por un círculo de científicos como una teoría y por otro como un simple modelo. Por lo demás, algunos de estos evolucionan hasta convertirse en teorías por el enriquecimiento que le

aportan la generalización, la sistematización, la demostración dada por los hechos y, sobre todo, la capacidad de predicción que poseen, v. gr., la existencia de las ondas de radiofrecuencia fue predicha por Maxwell en 1873 como un corolario de su teoría del electromagnetismo, pero se probó empíricamente por Hertz en 1887, en tanto que Marconi creó en 1901 la primera tecnología de uso práctico: el telégrafo inalámbrico.

La creciente complejidad del sistema de transporte en general y de la seguridad vial en particular aumentan continuamente la necesidad de emplear ambas herramientas conceptuales en orden a estudiar, explicar, predecir y solucionar los abundantes problemas de este campo porque facilitan todas las fases del proceso de investigación, a saber: 1) la elección de los problemas a investigar; 2) la acumulación y generalización de los resultados; 3) la predicción de la evolución futura; 4) la elección y diseño de contramedidas; 5) la investigación pluridisciplinaria; 5) la cooperación interprofesional, y, 6) la educación.

6 – 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 porqué 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 expresan 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 porqué 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).

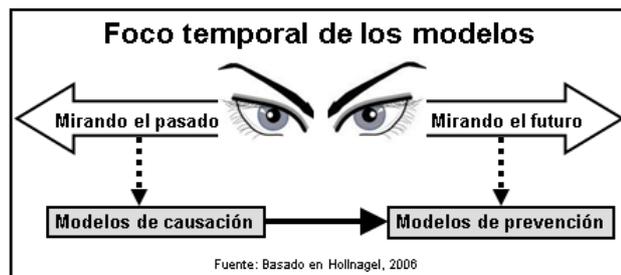
Para resumir la relevancia del fundamental instrumento vale la pena transcribir textualmente las siguientes palabras de Huang (2007): *“Los modelos son importantes en la prevención de accidentes, porque proporcionan un tipo de "modelo mental" y una herramienta de comunicación para las personas involucradas 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.

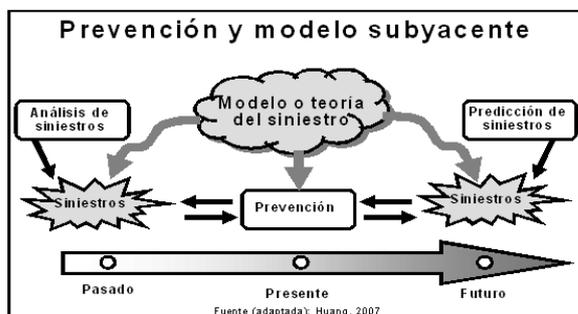
Cabe acotar que uno de los principales problemas de este campo radica en un paralogsimo de falsa oposici3n sealado por Camp3n (2009) consistente en que: “Unos modelos apuestan por una perspectiva psicol3gica de comprensi3n de las acciones u omisiones de las personas implicadas en el siniestro –el conductor, el peat3n o el usuario-, pero olvidando el componente f3sico-dinámico del mismo; otros, en cambio, desde la ingenier3a o la criminalística pretenden reconstruir el siniestro con magníficos y complejos modelos f3sico-matemáticos, pero dejando de lado completamente al ser humano en su análisis”.

7 – Modelos de causaci3n y modelos de prevenci3n

En materia de seguridad, tanto en general como vial en particular, existen dos grandes grupos de modelos: los de *causaci3n* de siniestros y los de *prevenci3n* de los mismos. En realidad no hay oposici3n 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 prop3sito 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 pa3ses del mundo pertenecen a esta última categor3a.



Es obvio señalar que los modelos de prevenci3n deben estar fundados en modelos de causaci3n previos pues el conocimiento de cómo los siniestros se gestan y desarrollan constituye el punto de partida necesario para

diseñar estrategias y contramedidas con garant3as de eficacia, según se ilustra gráficamente en el diagrama adjunto.

8 – 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, 4^a 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 ¿Que?*”, 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 como 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 mas 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 porqué 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 mas 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.

9 - 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, mas de cien (ver una lista parcial en la nota finalⁱ) 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 en razón de 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.

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		

Seguidamente se expondrán en forma sintética algunas concepciones puntuales agrupadas por su respectiva familia.

9.1 – 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 si 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: “¿Como 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.

9.1.1 - 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, mas 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.

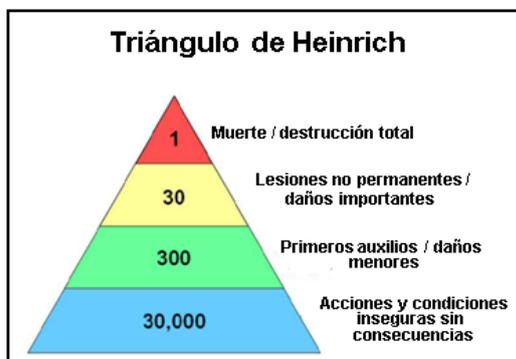
En muchos países es constatable el predominio de este modelo ultrasimplificador en los informes policiales de siniestros de tránsito lo cual, deplorablemente, falsea las estadísticas en lo que refiere a la causalidad de la siniestrogénesis; ello generalmente debe ser imputado a la pobreza o deficiencia 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 mas plausible, por ejemplo: la “niebla asesina”, la “maniobra imprudente”, la “probable alcoholización del conductor”, “el desacato a la señal Ceda el Paso”, etc.

9.1.2 - 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,

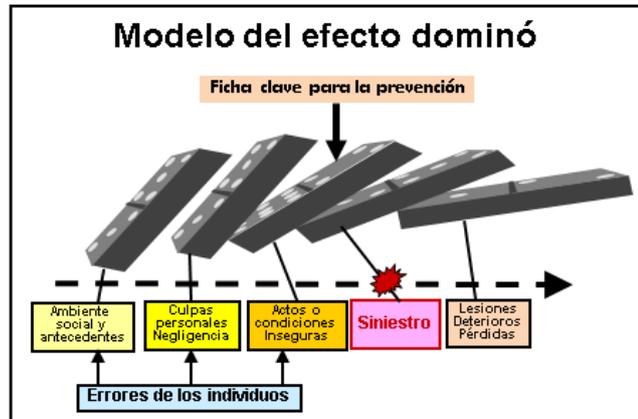


que por cada siniestro gravísimo (muertes, lesiones permanentes y/o destrucción total de efectos) se producían 30 de menor gravedad (lesiones no permanentes o daños materiales), 300 leves sin consecuencias significativas y unas 30.000 acciones o condiciones inseguras sin siniestro, pero con la

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 del dominó ordenadas en columna que, al desequilibrarse la primera derriba a la segunda, esta 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.

9.1.3 - Modelo de evolución del siniestro vial

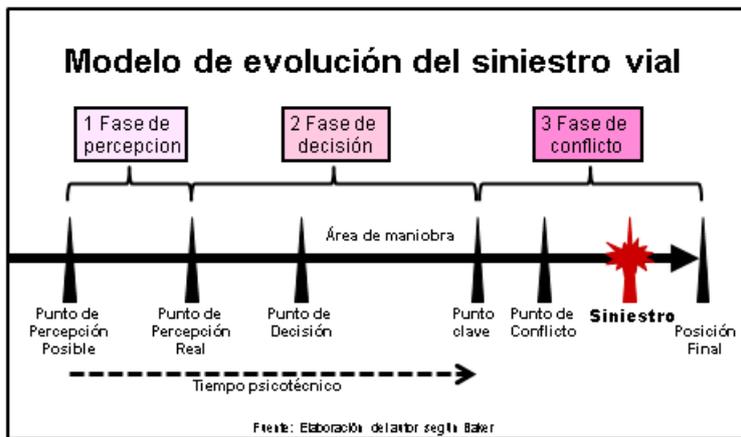
En la década del 50 al 60 del siglo pasado, el ingeniero J.S. Baker, profesor del Instituto de Tráfico de la *Northwestern University* de EUA, en su libro "*Traffic Accidents Investigation Manual*" desarrolló un modelo para el análisis de: "*Las interacciones de los factores Hombre-Vehículo-Vía-Normativa 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 del mismo 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 consume porque algo o alguien logran evitarlo. Esta noción clave identificada por Baker se incorporó definitivamente a la ingeniería, donde dió 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.

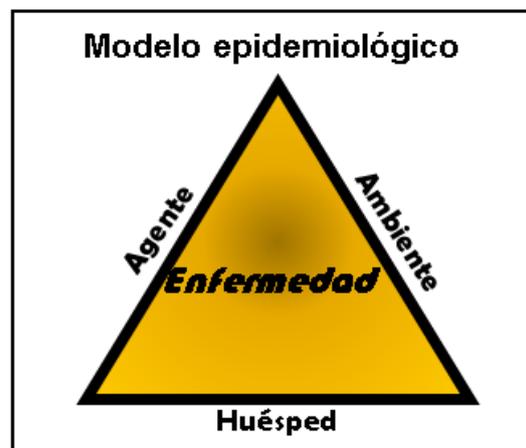
9.2 – Familia de modelos epidemiológicos (organizacionales o de salud pública)

La necesidad de instrumentos conceptuales mas 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 mas 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 mas de una cadena de eventos conducente al resultado adverso.

El gráfico adjunto -conocido como *Triángulo* -o *Triada*- *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 mas 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 mas 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, mas 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 mas altos con objeto de identificar causas para idear e implementar estrategias y contramedidas.

Las debilidades mas 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).

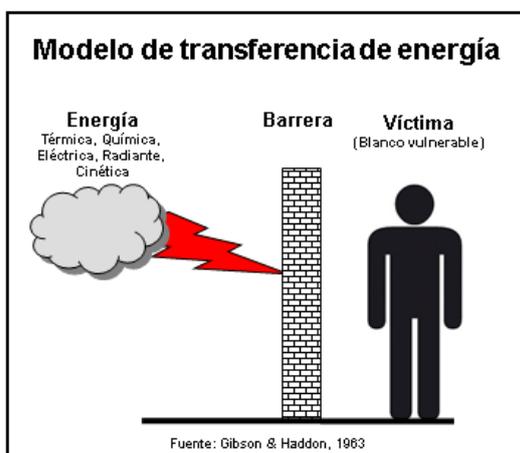
Es muy importante señalar que la Organización Mundial de la Salud en su crucial informe sobre la siniestralidad vial del año 2004 recomendó la adopción del modelo epidemiológico –enriquecido por la matriz de Haddon que se verá mas abajo-, aunque en la misma oportunidad también recomendó indistintamente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

9.2.1- 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 mas débil es la limitada capacidad del cuerpo humano para tolerar grandes cantidades de energía. Este concepto explica que el modelo apunte mas 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:

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1 - Prevenir la creación de agentes potencialmente causantes de lesiones 2 - Reducir la cantidad del agente 3 - Prevenir la liberación de energía por el agente potencialmente causante de lesiones 4 - Modificar la liberación del agente o de la energía producida por este 5 - Separar al agente de la víctima en el tiempo y el espacio 6 - Separar al agente de la víctima mediante barreras físicas 7 - Modificar las cualidades básicas del agente 8 - Aumentar la resistencia de la víctima 9 - Reducir la injuria física causada y/o sus consecuencias 10 - Estabilizar, reparar y rehabilitar a la víctima cuando es lesionada |
|---|

El segundo aporte de Haddon –el mas 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.

MATRIZ DE HADDON		Factores		
		Ser humano	Vehículo y equipo	Ambiente
Fase				
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)	Uso de dispositivos de sujeción	Dispositivos de sujeción para los ocupantes Otros dispositivos de seguridad

	el siniestro ocurre)			
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.

9.2.2 – Modelo de falla simultánea (“del queso suizo”)

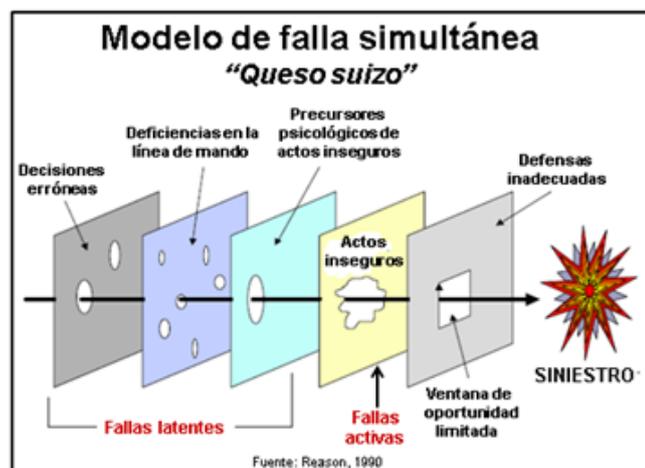
En su obra *“Human error”* (1990), el psicólogo inglés J. Reason, reformuló la concepción epidemiológica dándole, al igual que Haddon, un sesgo muy fuerte hacia el enfoque sistémico mediante un modelo llamado *de falla simultánea*, mas conocido por la expresión metafórica *“del queso suizo”* por analogía 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 causación 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

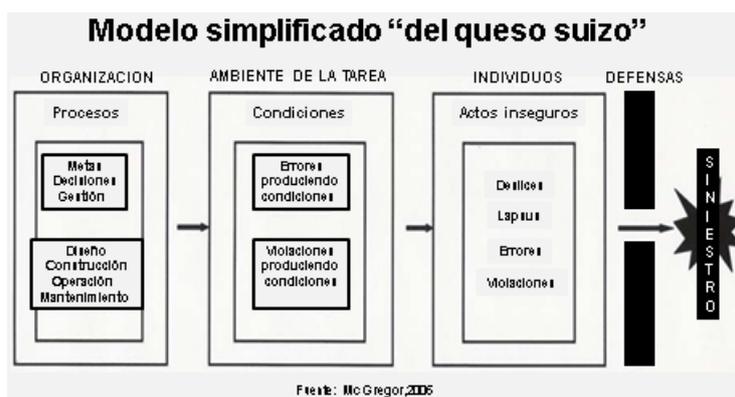


en estado de latencia por cierto tiempo, volviéndose aparentes cuando se combinan con fallas activas y disparadores locales venciendo las defensas del sistema; expresado con una analogía didáctica: actúan escondidas como las minas militares terrestres y acuáticas.

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 si 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 si 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: 1 - *Prevenir los errores mediante el diseño de sistemas que compensen las debilidades y fallas humanas predecibles*; 2 - *Volver los errores visibles para interceptarlos*; 3 - *Mitigar los errores cuando ocurren mediante el diseño de medidas adecuadas*.

La contribución mas 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.

9.3 – 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.

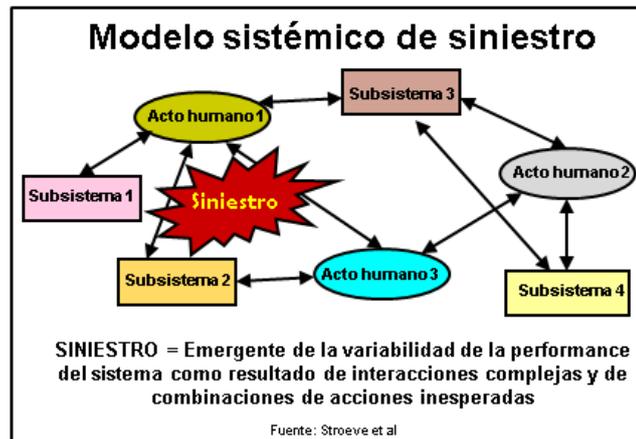
La concepción constituye una reacción al paradigma de pensamiento cartesiano-reduccionista dominante por cuatro siglos, cuya herramienta por antonomasia es el *análisis*, consistente en: *“Dividir cada una de las dificultades en tantas parcelas cuanto sea posible y necesario para resolverlas mejor”* (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 dió 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*



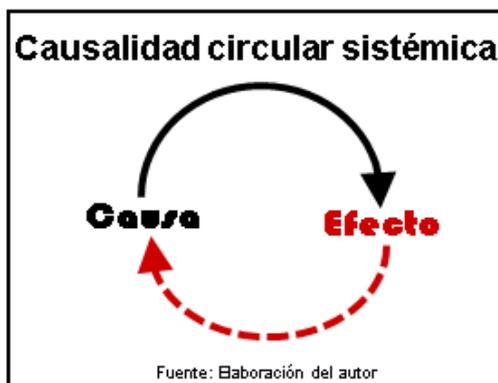
de Accidente y Procesos, STAMP (Leveson), *Modelo de Accidente de Resonancia Funcional* (Hollnagel) y el *Modelo de Siniestro Normal* (Perrow) que se explicará mas abajo. Como ejemplo del profundo cambio cabe citar las categóricas palabras de la organización europea EUROCONTROL al fundamentar su modelo 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

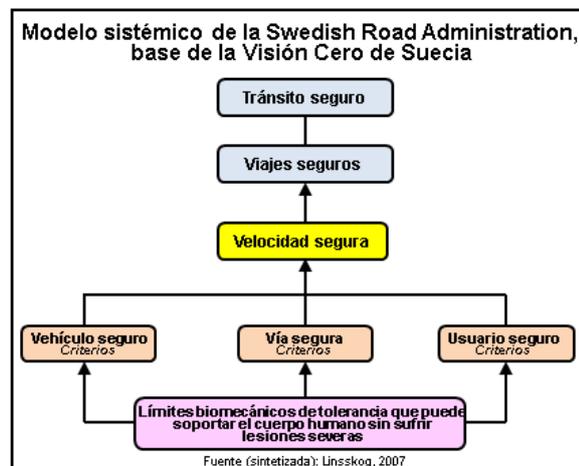
ende, los siniestros son tratados como el resultado de procesos que involucran interacciones entre personas, estructuras sociales, organizaciones, actividades de ingeniería, componentes físicos y, eventualmente, sistemas de *software* (Leveson, 2004).

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 está 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, mas 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 mas 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.

9.3.1 - 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 No. 4 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 mas 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 los 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 como 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 siniestrógenas 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 mas 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.

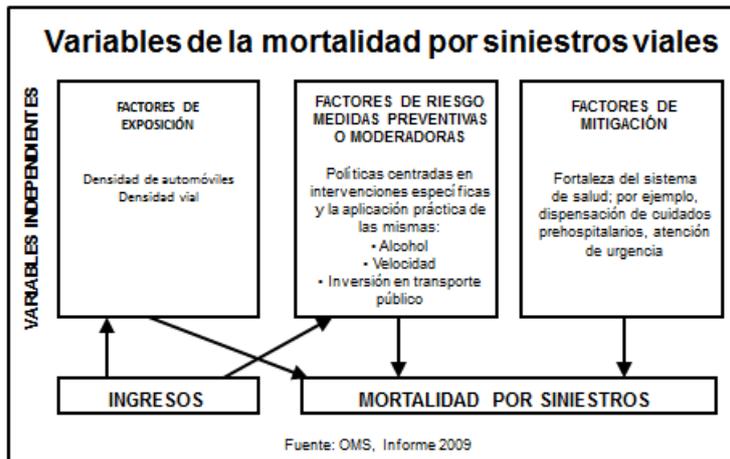
9.4 – Familia de modelos predictivos

Para explicar didácticamente la forma de operar y la utilísima función que cumplen los modelos de este grupo puede decirse que: *analizando lo que ocurrió en el pasado permiten saber lo que sucederá en el futuro.*

La principal característica singularizante de esta familia radica en que su objeto es aislar factores comunes presentes en grupos de siniestros ya ocurridos para lo cual recurre a las comparaciones estadísticas. Esto quiere decir que no se apunta a identificar causas en el sentido usual de mecanismos causa-efecto, sino *factores de riesgo*, o sea *variables* (entendiendo por tales cualquier característica o cualidad susceptible de asumir diferentes valores) que aparecen sistemáticamente asociadas a los siniestros producidos en diversos ámbitos temporales, espaciales, situacionales, personales, sociales y consecuenciales de ocurrencia, algunos de los cuales se enumeran a continuación:

- La sociedad como organización global o sectores de la misma
- Categorías de usuarios: p. ej. jóvenes, ancianos, peatones, conductores profesionales, motociclistas, etc.
- Tipos de vehículos involucrados: p. ej., buses, utilitarios, transportes pesados, bicis motorizados, etc.
- Ámbitos geográficos: p. ej., áreas urbanas, suburbanas y rurales, agrícolas, industriales, etc.
- Tipos de vías: p. ej., caminos rurales, calles urbanas, encrucijadas, autopistas, travesías, etc.
- Periodos de tiempo: p. ej., estacionalidades, noche-día, horas-punta de actividad, épocas de vacaciones.
- Patrones mecánicos: p. ej., volcamientos, salidas de pista, atropellos, colisiones frontales o laterales, etc.
- Resultados materiales: p. ej., daños de vehículos, acondicionamientos viales, etc.
- Asociaciones con ciertos factores distorsionantes, p. ej., consumo de alcohol u otras drogas, síndromes de fatiga, patologías psicofísicas de los conductores, actos interferentes, v. gr., manipulación de equipos (p. ej., radio, empleo de teléfono celular), etc.
- Resultados personales: p. ej., número de muertos, tipos de lesiones: v. gr., craneales, medulares, etc. El diagrama adjunto muestra las principales variables asociadas a la mortalidad de los siniestros viales según la OMS.

La cantidad y la naturaleza de las posibles variables a incluir en un modelo de esta clase depende de lo que pretendan saber los investigadores, planificadores o decisores, por vía de ejemplo: ¿ Que factores de riesgo se asocian a los siniestros viales solitarios (sin conflicto con otro usuario) ?, ¿ Cual es la tendencia de los siniestros mortales o con heridos graves por omitir el cinturón de seguridad ?,



¿ Es o no un factor de siniestralidad eficiente la presencia de obstáculos rígidos próximos a las calzadas de circulación?, ¿ Que incidencia alcanzarán en cierto plazo las lesiones medulares por siniestros de los

usuarios de la franja etaria de 17 a 35 años y como se explica ?.

La segunda característica surge de lo expuesto: por su propia naturaleza este tipo de modelos solo es aplicable a conjuntos mas o menos amplios de siniestros, siendo su empleo imposible para el análisis de casos individuales.

La tercera característica fundamental de estos modelos es que recurren a los principios y métodos de la disciplina de la Econometría lo que permite definirlos como: *“Formulaciones matemáticas que describen la relación entre el nivel de seguridad de las vías existentes (p. ej., choques, víctimas, heridos, fallecidos, etc) y las variables que explican dicho nivel, p. ej., acondicionamiento de las vías, volúmenes de tráfico, etc”* (Eenink et al, 2005).

El empleo de métodos econométricos para predecir los siniestros viales es viable porque estos constituyen uno de los pocos ejemplos de un fenómeno estocástico, es decir, objetivamente aleatorio -dependiente del azar- pero cuyo comportamiento global es anticipable dentro de límites acotados. Otros ejemplos se pueden encontrar en las ciencias naturales p. ej. en la Teoría Cuántica, según la cual el comportamiento de cada partícula elemental aislada (nivel microscópico o desagregado) es inexplicable e imprevisible, pero el comportamiento de un conjunto de partículas (nivel macroscópico o agregado) se conduce de manera previsible. Dicho de otro modo: a nivel individual los siniestros viales son absolutamente impredecibles en el sentido que no hay modo de saber, p. ej., si al hipotético Señor X le ocurrirá o no un infortunio ni, menos, cuando y donde le ocurriría. No obstante, observando los siniestros a nivel de conjunto, el análisis econométrico permite constatar que se comportan con una regularidad estable, como si obedecieran a una ley física. En palabras de Fridstrom (1999): *“La aparente paradoja se resuelve mediante un enfoque teórico bipartido,*

según el cual la variabilidad total de la accidentalidad se descompone en una parte casual dependiente del azar (objetivamente aleatoria) y otra parte causal (sistemática)”. Esta propiedad ha permitido trasladar los modelos probabilísticos de regresión empleados en los estudios econométricos como herramienta estándar de análisis de la siniestralidad vial.

El mecanismo subyacente de dicha estabilidad y de la variabilidad sistemática que puede observarse, por ejemplo, entre diferentes épocas del año, regiones del territorio, tipos de vehículos, estratos etarios, etc, puede ser comprendido como un proceso causal de acuerdo al cual el número esperado de siniestros, o sea su frecuencia a largo plazo, es una función de ciertas variables explicativas. Una vez que se sabe cómo se explica, este valor esperado es controlable porque se puede actuar proactivamente sobre el mismo para evitar en el futuro la ocurrencia de un importante número de infortunios. La descomposición -dentro de un modelo de regresión- en una parte conocida (sistemática) y otra parte estocástica (aleatoria e inobservable), permite tratarlos con un enfoque econométrico, el cual puede verse aún más apropiado para su estudio que para cualquier problema económico dado que el modelizador puede utilizar métodos estadísticos particularmente pertinentes y acertados. Por lo tanto, aunque individualmente los siniestros de tránsito son impredecibles, en grandes números se pueden predecir, y, por ende, se pueden evitar si se toman las medidas apropiadas.

La gran fortaleza de esta familia modélica ha sido destacada por la OCDE (1997) expresando: *“La modelación econométrica es una fuente clave de conocimientos en varias disciplinas científicas, especialmente en aquellas en las que los experimentos controlados son difíciles o caros de realizar (...). Puede ser vista como el sustituto de un experimento perfectamente controlado, siendo aplicable en todos los casos donde es imposible modificar una variable independiente a la vez mientras se mantienen constantes las otras influencias. La mayor parte de la investigación de los siniestros (viales) cae en esta categoría”.*

Otra fortaleza de gran importancia radica en que, por su propia naturaleza, esta familia de modelos permite detectar tendencias, esto es, como están evolucionando en el tiempo determinados fenómenos, si están creciendo, estabilizándose, decreciendo o modificándose, lo que los vuelve imprescindibles para establecer prioridades, diseñar políticas y planificar contramedidas de mediano y largo plazo.

La debilidad fundamental de esta familia reside en que la exactitud de los resultados del modelo empleado depende por entero de la cantidad y precisión de los datos fácticos reportados por los sectores de la sociedad que, por sus funciones, están directamente vinculados a los siniestros viales, los cuales generalmente son los siguientes:

- Autoridades policiales y judiciales
- Instituciones de asistencia médica públicas y privadas
- Registros de defunciones
- Empresas aseguradoras
- Organismos competentes de planificación y gestión vial, particularmente los “observatorios de la siniestralidad”

A mas de las anteriores, otras instituciones públicas y privadas también registran información relevante para incluir en este tipo de modelos, p. ej., registros del estado civil, entes gubernamentales con competencias censales sobre la población general, registros de vehículos y de sus propietarios, registros de puntos de demérito (en aquellos países que adoptaron el sistema), empresas proveedoras de combustibles, talleres de reparación de automotores, organismos de control del transporte público, etc.

INFORMACION MÍNIMA QUE UNA BASE DE DATOS DE SINIESTROS VIALES DEBE REGISTRAR

- ✓ **Donde** ocurrieron
- ✓ **Cuando** ocurrieron
- ✓ **Quienes** estuvieron involucrados
- ✓ **Qué** resultó de los siniestros
- ✓ **Qué** condiciones ambientales existían
- ✓ **Como** ocurrieron
- ✓ **Porqué** ocurrieron

Fuente (adaptada): Baguley, 2001

Para emplear un modelo de esta clase, cualquiera sea, es inobviable disponer de colecciones amplias y uniformemente sistematizadas de datos de la siniestralidad vial que sean objetivos, detallados y consistentes dado que del análisis de los mismos surgen las variables y magnitudes que se requieren para obtener resultados confiables. Los cuadros adjuntos, tomados ambos de Baguley (2001), muestran, uno la información mínima que una base de datos de siniestros viales debe registrar y el otro la información aconsejable.

INFORMACION RECOMENDADA PARA UNA BASE DE DATOS DE SINIESTROS VIALES			
CIRCUNSTANCIAS	TIPO DE VÍA	AMBIENTE	UBICACIÓN
Datos del/los policías intervinientes	Clase e identificación	Iluminación	Mapa de referencia
Hora, día, mes, año	Tipo de calzada	Iluminación de la vía	Coordenadas X-Y
Lugar, calles, punto kilométrico	Ancho de calzada	Superficie de la vía, condición: seca, húmeda, baches	Postes kilométricos
Número de vehículos participantes	Número de carriles	Dispositivos de control	Croquis
	Tipo de intersección		Descripción verbal del siniestro
	Acondicionamientos existentes (barreras,		

Grado de severidad	banquinas, etc) Altimetría	Geometría: recta, curva, etc Zonas de obras	
DETALLES DEL/LOS VEHÍCULOS Tipo/s de vehículo/s Modelos, años Maniobra/s realizada/s Descripción de los daños sufridos Largo de las huellas		DETALLES DEL/LOS CONDUCTORES Edad Sexo Licencia o falta Cinturón / casco Sospecha de alcohol / drogas	
DETALLES DE LA/S LESIONES Víctimas, número, sexo Descripción de tipo y severidad de las lesiones		CONDICIÓN DE LAS VÍCTIMAS Peatón en la acera Peatón en movimiento Pasajero a bordo de vehículo Alumno escolar	
Fuente (adaptada): Baguley, 2001			

Las precondiciones referidas explican que en los países en desarrollo sea raramente posible utilizar modelos de esta familia debido a diversas deficiencias por demás comunes, p. ej., inexistencia de servicios de recolección de datos, ineficiencia, dispersión o descoordinación de los que existen; ignorancia técnica de los funcionarios; carencia de metodologías rigurosas; falta de protocolos uniformes de recolección; altos índices de subregistro; inconsistencia, incompletitud y subjetividad de los datos relevados.

Indisolublemente relacionado con el anterior, el segundo problema radica en que los *investigadores directos de los siniestros* -normalmente las autoridades policiales-, si no están técnicamente capacitados, en sus informes asumen criterios vagos, prejuiciosos y arbitrarios falseando así la vital información necesaria para despejar las dos interrogantes fundamentales: *¿Cómo y porqué ocurrieron los siniestros?*, o sea, la mecánica y la causalidad plausibles, lo que impide responder correctamente la otra pregunta clave: *¿Que medidas tomar para que no se repitan?*

Tales factores negativos desembocan en la falsedad de las predicciones obtenidas del modelo utilizado y, por ende, en la incertidumbre sobre las dimensiones del problema de la inseguridad vial, de sus peculiaridades y de sus consecuencias lo cual vuelve imposible articular estrategias, establecer metas y planes realistas al tiempo de caer en estrepitosos fracasos y derrochar estérilmente recursos escasos. De hecho, sin buenos datos y su aprovechamiento mediante modelos predictivos probados, cualquier sociedad estará literalmente perdida en lo que refiere al masivo flagelo de la siniestralidad vial y de sus graves impactos socioeconómicos de todo orden.

Seguidamente se expondrán, en forma sintética, algunos de los modelos de esta familia.

9.4.1 - Modelo de Smeed

El primer científico que tuvo la idea de articular un modelo predictivo relacionando el número de muertos por siniestros de tránsito con los datos de otras estadísticas nacionales fue R.J. Smeed, investigador británico perteneciente al *Transport and Road Research Laboratory* (TRRL) de Gran Bretaña.

En 1938, basándose en el análisis de una muestra transversal de 20 países, Smeed identificó una relación exponencial inversa entre las defunciones por vehículo y el número de vehículos per cápita. En 1949, otro estudio transversal de datos de 46 países confirmó dicha relación y también reveló otras muy importantes entre el número de muertos en siniestros de tránsito, el nivel de riqueza nacional, la densidad vehicular, el número de habitantes por cama de hospital y la cantidad de habitantes por médico. La formulación general del modelo de Smeed es la siguiente:

$$D = .0003(np^2)^{\frac{1}{3}}$$

o, expresada per cápita:

$$\frac{D}{p} = .0003 \times \sqrt[3]{\frac{n}{p}}$$

donde **D** es la cifra anual de muertes en el tránsito, **n** el número de vehículos registrados y **p** la población total.

La ecuación permite predecir que, al duplicarse la tasa de motorización de un país (el número de vehículos per cápita), se producirá un incremento de 26% en la tasa de mortalidad por habitante y una disminución de 37% en la tasa de mortalidad por vehículo.

El modelo fue reformulado varias veces evolucionando paulatinamente hacia una teoría general de la siniestralidad vial que Smeed resumió en su célebre afirmación: “*El número de accidentes mortales de un país corresponde al número que el país está dispuesto a tolerar*”. Su teorización se extendió mundialmente sin dejar de provocar grandes polémicas, llegándose a definir como: “*El índice de la facilidad de*

accidentarse de un pueblo si no aplica ninguna medida paliativa”, lo cual, desgraciadamente, está en plena vigencia para muchos países de África, América Latina y Asia.

9.4.2 - Modelo DRAG

En 1984 el investigador canadiense M. Gaudry dio a conocer un sofisticado modelo predictivo de la siniestralidad vial denominado DRAG, abreviatura de “*Demande Routière des Accidents et de leur Gravité*”, el cual emplea 40 variables clasificadas en 7 categorías que influyen en la producción de siniestros y víctimas. Entre las variables de mayor influencia se incluyen el consumo global de combustible, los límites de velocidad legalmente establecidos, las tarifas del transporte público, la obligatoriedad del casco motociclista y del cinturón de seguridad y la normativa legal sobre la asociación del alcohol y otras drogas con la conducción de vehículos.

Una característica fundamental del DRAG es el desarrollo de una estructura multi-capa que integra las tres dimensiones principales de la inseguridad: *exposición, frecuencia y severidad*, cada una de las cuales es objeto de una ecuación propia que considera la influencia de las variables mencionadas anteriormente (Izquierdo, 2008).

Para estimar ciertas propiedades y relaciones de las variables independientes que resultan muy difíciles de capturar, el DRAG se caracteriza por el empleo de la llamada *Transformación de Box-Cox*. Este recurso matemático hace que como herramienta sea muy útil para el estudio de la siniestralidad vial, ya que muchas veces el modelizador no tiene modo de saber a priori como deben especificarse ciertas funciones de comportamiento o de riesgo.

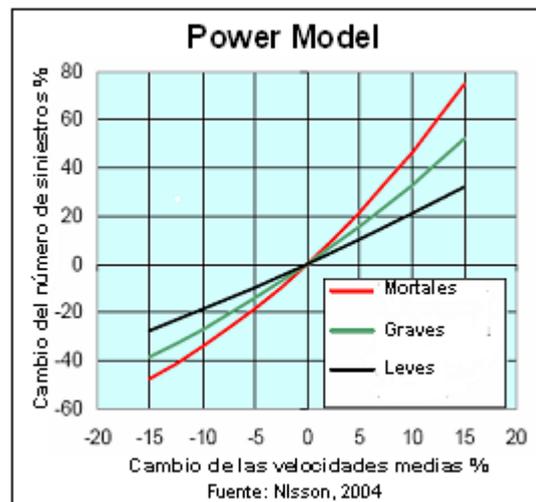
El DRAG se ha ramificado constituyendo en la actualidad una verdadera sub-familia modélica derivada del original, cuyos componentes son adaptaciones especiales para ciertos países o regiones donde se les da un nombre distinto, p. ej. SAAQ (Quebec), SNUS (Alemania), DRAG-Stockholm (Suecia), TAG (Francia), TRAVAL (California), TRULS (Noruega) y DRAG-España (España).

9.4.3 - Modelo de cambios de velocidad

Considerando las tres dimensiones del problema de la seguridad vial: exposición, riesgo y consecuencias, G. Nilsson, en su tesis doctoral presentada a la Universidad sueca de Lund en el 2004, articuló un

modelo predictivo conocido como “*Power Model*”. Este se centra en el factor velocidad promedio del tránsito, el cual le permite describir la situación de seguridad de acuerdo con esta variable a fin de servir de herramienta para estimar predictivamente los efectos de los cambios aislados así como otras importantes relaciones concernientes a los cambios en el riesgo de siniestro y sus consecuencias destructivas. Dicho de otro modo: el cambio de la energía cinética es usado por el Power Model para explicar el cambio en el riesgo y en las consecuencias, o sea, en el número de fallecidos y de lesionados dado que ambas dimensiones tienen una fuerte relación con el cuadrado de los cambios de velocidad relativa.

El modelo permite predecir los efectos de los cambios de velocidad promedio de la circulación sobre la seguridad y puede ser empleado para aislar el efecto de los cambios de la misma en relación con otras medidas o cambios. Asimismo, tiene una fuerte relación con la energía cinética pues las fuerzas del tránsito estrictamente no dependen de la velocidad en sí misma sino de sus variaciones, es decir, de las aceleraciones y deceleraciones de los vehículos debido a que, de hecho, las colisiones y atropellos no constituyen sino un subconjunto de inesperadas deceleraciones tan importantes como la velocidad o sea que, la probabilidad de lesiones o muertes entre los usuarios involucrados es tan alta como las deceleraciones.



Como ejemplo práctico de la aplicación del modelo se puede predecir que un aumento de 5 % de las velocidades medias entraña un alza de alrededor de +10 % en el número total de siniestros con lesionados y de +20 % de siniestros mortales; inversamente, un descenso de 5 % de la velocidad promedial produce generalmente una baja de -10 % en el número de siniestros con lesionados y de -20 % de mortales.

El modelo fue evaluado y refinado por Elvik (2004), estableciendo que los cambios en el número de lesiones causadas por siniestros resultantes del cambio de la velocidad promedio puede ser descritos con la siguiente ecuación:

$$\left[\frac{\text{Siniestros (antes)}}{\text{Siniestros (después)}} = \frac{\text{Velocidad (antes)}}{\text{Velocidad (después)}} \right]^{2.0}$$

Para obtener el número esperado de usuarios con lesiones graves es necesario emplear el exponente 3.0 y para los fallecidos 4.5.

Una prueba práctica de la validez y la utilidad del modelo es que actualmente se emplea en varios países desarrollados como herramienta estándar de análisis y planificación, v. gr., España, Dinamarca, Noruega y Suecia.

9.4.4 - Modelo RIPCORDER-ISEREST

Según se expresó en el documento final del proyecto de la Unión Europea denominado RIPCORDER-ISEREST, la modelización econométrica más moderna de predicción de los siniestros viales sería la siguiente (Eenink et al, 2008):

$$E(\lambda) = \alpha Q_{MA}^{\beta} Q_{MI}^{\beta} e^{\sum \gamma_i x_i}$$

Donde el número estimado esperado de siniestros **E (λ)**, es una función del volumen de tráfico **Q** y de un conjunto de factores de riesgo, **x_i (i = 1, 2, 3, ..., n)**. El efecto del volumen sobre los siniestros es modelado en términos de una elasticidad que es una potencia **β**, a la cual el volumen de tráfico es incrementado. Los efectos de varios factores de riesgo que influyen la probabilidad de siniestros, a una cierta exposición dada, es modelada como una función exponencial, que es como **e** (la base de los logaritmos naturales) incrementada a la suma del producto de coeficientes **γ_i**, y los valores de variables **x_i** que denotan factores de riesgo.

Como puede verse, las variables consideradas son el volumen de tránsito y los factores de riesgo.

9.4.5 - Modelo cuantitativo de AASHTO

La entidad federal estadounidense *American Association of State Highway and Transportation Officials*, AASHTO, publicó en el 2010 la primera edición de su propio Manual de Seguridad Vial (*Highway Safety Manual, HSM*) en el cual propuso un modelo que es considerado como el nuevo paradigma de la predicción de siniestros viales.

El paradigma anterior era de naturaleza puramente descriptiva basándose en los datos históricos de la frecuencia de las colisiones, de la tasa de las mismas y de los daños a la propiedad. En cambio, el paradigma propuesto es de naturaleza cuantitativa pues predice el número esperado de colisiones



en función de las características geométricas y operativas de las vías, las condiciones existentes y las futuras condiciones proyectadas así como los diseños alternativos que se proyectan aplicar. La comparación entre ambas concepciones puede verse en el cuadro adjunto.

Mediante ecuaciones de regresión el modelo predice el número promedio de colisiones por año para un sector vial determinado, v. gr., una intersección o un segmento de vía como una función del volumen de tráfico, la cual típicamente no es una relación lineal. Incluso permite cuantificar el cambio esperado de las colisiones producidas en un sitio dado por la implementación de un tratamiento de ingeniería particular de contramedidas puntuales de reducción de los factores de colisión (CRF) p. ej., instalación de rotondas o señales de tráfico en una intersección controlada por señal de "Pare", uso de radios 240 pies para curvas horizontales en lugar de radios de 180 pies, instalación de líneas centrales de carril en calzadas de dos carriles de carreteras rurales, etc.

Por lo que el autor de este trabajo ha podido averiguar, parecería que en Latinoamérica este modelo todavía no ha sido empleado porque, en general, sus técnicos le objetan que aquí es impracticable por haber sido diseñado para una realidad socioeconómica, cultural y tecnológica radicalmente diferente.

10 - Una ayuda adicional para investigar y priorizar: la jerarquización de los problemas de seguridad vial de Rumar

En un importante documento publicado en 1999 por el Consejo Europeo de Seguridad del Transporte, el Prof. K. Rumar descompuso la problemática de la inseguridad vial en tres niveles jerarquizados de enfoque:

- 1er enfoque – Problemas de inseguridad vial obvios que aparecen incluso en un análisis superficial.
- 2º enfoque – Problemas de inseguridad vial que se revelan en análisis mas profundos.
- 3er enfoque – Problemas de inseguridad vial casi totalmente ocultos.

El móvil que determinó al autor para formular la jerarquización, textualmente radicó en que: *“En forma general se puede constatar que las acciones de seguridad vial se suelen centrar en los problemas inscritos en el primer enfoque en detrimento de los problemas del segundo enfoque y, sobre todo, de los del tercer enfoque”*. Bien leídas, estas palabras significan que muchas veces el problema-madre de todos los demás radica en que la problemática real no es percibida o que se priorice lo relativamente menos importante, errores muy comunes ambos que suelen desembocar en lo que sentenció Senge: *“Los problemas de hoy derivan de las soluciones de ayer”* (1994).

Es de observar que la clasificación no constituye un método, pero si es una útil guía basada en la riquísima experiencia de un reconocido experto de nivel mundial cuyo gran valor reside en que provee, tanto a los teóricos como a los prácticos de la seguridad vial, de criterios claros para priorizar los problemas, así como para identificar algunos que, no siendo evidentes en absoluto, tienen una perversa eficacia sobre la siniestralidad. Ante la típicamente crónica escasez de recursos financieros y materiales que suelen padecer los organismos oficiales competentes, establecer un orden de prioridad racional y alcanzable es una cuestión vital para evitar el derroche de recursos al tiempo de aumentar la eficacia en términos de abatimiento de muertes, lesiones y pérdidas materiales.

Se previene que el particular estilo de la siguiente exposición se origina en que se trata de una traducción prácticamente textual del documento original en idioma francés, salvo algunas adaptaciones o pequeños agregados introducidos para facilitar la comprensión del lector.

- 1er. enfoque de los problemas de inseguridad vial

Se incluyen en este enfoque los problemas *patentes y aparentes* que se *ponen directamente en evidencia por el método empleado para explotar las estadísticas de siniestros y lesiones*.

Muchos de estos problemas, que reciben una prioridad muy alta, son comunes a la mayor parte de los países, y, si bien las prioridades varían

de un país a otro, todos ellos se esfuerzan por minimizarlos. Rumar formuló una lista de 17 problemas directos de prioridad elevada que se potencian e interfieren recíprocamente, entre los cuales, están los siguientes, aclarándose que no están ordenados según su grado de prioridad:

- Velocidades demasiado altas, especialmente en zonas pobladas.
- Consumo de alcohol y estupefacientes demasiado frecuente.
- Seguridad vial insuficiente en zonas urbanas.
- Seguridad de los usuarios infantiles inadecuada.
- Seguridad de los usuarios vulnerables insuficiente.
- Conductores jóvenes demasiado expuestos al riesgo de colisión.
- Demasiadas zonas abiertas a la circulación de automóviles, sobre todo en zonas urbanas.
- Normativas de tránsito inadecuadas.
- Personas ancianas demasiado expuestas al riesgo de siniestro y lesión.
- Defectos de trazado de las vías y de concepción de los automóviles son demasiado a menudo causas de lesiones que podrían ser ahorradas.
- Insuficiente utilización de dispositivos de seguridad pasiva (cinturones de seguridad, cascos, etc).
- Servicios médicos de socorro a las víctimas inadecuados.
- Visibilidad de los usuarios insuficiente durante el día y peor en la noche.
- Riesgo de colisión demasiado elevado por condiciones de visibilidad reducida (oscuridad, niebla y otros).
- Riesgo de colisión demasiado elevado en periodo invernales.
- Desproporcionada presencia de vehículos pesados en colisiones graves.
- Existencia de intersecciones demasiado peligrosas.

En este grupo de problemas, la velocidad es el más frecuente en la mayoría de los países. Parecería que la cuasi-totalidad de los escenarios siniestrógenos se explicaría en dos factores: la velocidad y la conducción en las redes autoviales y no autoviales. Varias razones explican el importante impacto de la velocidad:

- 1 - Influye tanto sobre el riesgo de colisión como sobre las consecuencias.
- 2 - El efecto sobre la inseguridad es exponencial.
- 3 - Los conductores no establecen una relación de peligro entre la velocidad, que es un factor siniestrógeno, y sus diferentes umbrales.

- 4 - Es una variable clave del comportamiento porque la conducción implica una elección individual de sus diferentes umbrales.
- 5 - El descenso produce un efecto inmediato sobre la seguridad.
- 6 - La reducción es una medida poco costosa (e incluso produce ganancias).

El segundo de los grandes problemas de inseguridad vial en un importante número de países es el impacto del consumo de alcohol y estupefacientes sobre el comportamiento de los usuarios.

- 2º enfoque de los problemas de inseguridad vial

Los problemas clasificados en este segundo enfoque *no son tan aparentes, pero surgen de análisis más afinados de los problemas del primer enfoque*; entre estos se citan los siguientes:

- Falta de claridad, lógica y coherencia de las reglas de circulación vial.
- Insuficiencia de la eficacia en la aplicación de las exigencias asociadas a las licencias y a las reglas de circulación.
- Insuficiencia o ausencia de criterios de seguridad vial para los controles de las vías.
- Insuficiencia o ausencia de criterios de seguridad vial para los controles de los vehículos.
- Deficiencia de los procesos de formación de los candidatos al permiso de conducir y criterios inapropiados del examen para su otorgamiento.
- Inadaptación (o ausencia) de la educación de los ciudadanos sobre la circulación vial y su seguridad.
- Los juicios de los tribunales judiciales sobre las infracciones y delitos de tránsito no son adecuados ni están en armonía con los riesgos que los mismos representan.

Un método eficaz para la identificación de los problemas de este segundo nivel parecería ser su correlación con la eficacia reducida de las contramedidas destinadas a luchar contra los problemas del primer enfoque.

- 3er. enfoque de los problemas de inseguridad vial

Se incluyen en este enfoque los problemas *no evidentes u ocultos*, es decir, *aquellos que no surgen del estudio de las estadísticas de accidentes y lesiones*.

Estos problemas se inscriben en un cuadro mas general y no están directamente vinculados a la situación de circulación sino principalmente asociados a los procesos o condiciones subyacentes de la misma, por ejemplo: la organización y el rol de las políticas de seguridad vial, la centralización o el reparto de las responsabilidades de los procesos de decisión y coordinación. Asimismo pueden estar asociados a la sensibilización, a los valores y al conocimiento de las medidas tal como se las representan los ciudadanos, los decisores, los políticos y demás actores en la seguridad vial, incluidos los simples usuarios viales.

Los problemas de este tercer enfoque traban o bloquean las soluciones posibles de los problemas de los enfoques precedentes. Una mejora de estos problemas simplificaría la aplicación de una gran parte de los conocimientos acumulados sobre contramedidas eficaces que, por una razón cualquiera, no han sido puestas en práctica.

La siguiente lista muestra los problemas mas importantes de este tercer nivel de enfoque de la inseguridad vial

- La conciencia de la gravedad de la inseguridad vial y el valor acordado a las acciones de seguridad por los decisores y los usuarios viales son insuficientes.
- El proceso actual de gestión de las acciones de seguridad vial es inadecuado, lento e impreciso. Un proceso rápido y eficaz necesita una gestión de los resultados basada en indicadores de la performance.
- Cuando dicha posibilidad existe, la creación de una visión del porvenir que recoja la adhesión de la mayoría de las personas en el seno de una empresa o de una sociedad, es el método mas eficaz para guiarlas en una buena dirección y favorecer la creatividad y la participación. El programa “Visión Cero” de Suecia proporciona un buen ejemplo asi como el “Sistema de Seguridad Sostenible” de Holanda. Los transportes aéreos, ferroviarios y marítimos han adoptado visiones cero desde hace mucho tiempo sin nombrarlas explícitamente, lo que constituye una razón explicativa de su éxito en las acciones de seguridad que emprenden.
- Los objetivos cuantitativos serian una realización a la altura de tales visiones. La experiencia muestra que los objetivos cuantitativos nacionales, regionales y locales contribuyen al éxito de las reflexiones y de las medidas de seguridad vial.

- Imprecisión y vaguedad del sistema de información y diagnóstico de la seguridad vial. En la mayor parte de los países aquel se basa exclusivamente en los siniestros reportados por la policía. Las lesiones y muertes debidas al transporte son un problema de salud pública. Es necesaria una mejor explotación de las estadísticas hospitalarias para trazar un cuadro realista de las consecuencias de las colisiones sobre la salud.

- En muchos países, las interacciones entre los diferentes actores de la seguridad vial están lejos de ser explícitas. Las responsabilidades y los recursos deberían estar vinculados.

- Las investigaciones conducidas en cada país en materia de seguridad vial son mas o menos profundizadas. Su proceso es complejo, exigente y costoso.

- Se debe asegurar un compromiso mas activo de los consumidores, las comunidades y las empresas en las acciones de seguridad vial. Si este compromiso está bien orquestado, puede jugar un rol decisivo y acelerar los progresos de la seguridad vial.

En este tercer enfoque, los problemas no saltan a la vista como en los otros, sin embargo, las reflexiones de seguridad vial revelan una importancia probablemente mayor por las razones expresadas a continuación:

En primer lugar, los problemas de los dos primeros enfoques provocan inmediatamente debates acerca de sus contramedidas; opuestamente, los problemas del tercer enfoque presentan dificultades en todos los países para su discusión y puesta en práctica.

En segundo término, contrariamente a los problemas de los dos primeros enfoques, ni la opinión pública ni los políticos tienen conciencia de los mismos.

En tercer lugar, los problemas del primer enfoque conciernen, comparativamente, a temas puntuales y los del segundo a temas mas amplios, en cambio, las soluciones de algunos de los problemas del tercer enfoque influyen sobre el propio sistema global de seguridad vial.

Por último, la dimensión de los problemas del primer enfoque es esencialmente nacional, mientras que la dimensión del segundo y, sobre todo, la del tercer enfoque es mas internacional.

Algunos modelos de siniestro empleados actualmente: Accident Anatomy Method (AAM)*; Accident Cause Analysis (SACA); Accident Evolution and Barrier Analysis (AEB)*; Acci-Map; Action Error Analysis (AEA)*; Barrier and Operational Risk Analysis (BORA); Causal Tree Method (CTM)*; Cause-Effect Logic Diagram (CELD)*; Change Evaluation/Analysis (CEA)*; Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM); Events and Causal Factors Analysis (ECFA), Events and Causal Factors Charting (ECFC); Fault Tree Analysis (FTA)*; Functional Resonance Accident Model (FRAM); Generic Error Modeling System (GEMS); Generalized Log-linear Model (GLIM); Hazard and Operability Study (HAZOP)*; Human Error Identification (HEI); Human Factors Analysis and Classification System (HFACS); Human Performance Enhancement System (HPES)*; Human Performance Investigation Process (HPIP); Human Reliability Analysis Event Tree (HRA-ET)*; Human Reliability Assessment (HRA); Management Oversight Risk Tree (MORT); Multiple-Cause, Systems-oriented Incident Investigation (MCSOII)*; Multilinear Events Sequencing (MES)*; Probabilistic Risk Assessment (PRA); Sequentially Timed Events Plotting (STEP)*; Sorted First Order Logic (SOFAL); Systematic Cause Analysis Technique (SCAT)*; Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach (SHERPA); AEB Method; Systems-Theoretic Accident Modeling and Processes (STAMP); Tap Root Incident Investigation System (TAPROOT)*; Technical Condition Safety (TTS); Technique for Human Error Prediction (THERP); Technique of Operations Review (TOR)*; TRIPOD-Delta; Why-Because Analysis (WBA); Norske Statesbaner (NSB); Work Accidents Investigation Technique (WAIT); Health and Safety Executive (HSG245); Control Change Cause Analysis (3CA); Objective and Goal (O & G).

Fuente (ampliada): Sklet, 2002

Nota: Los modelos señalados con asterisco están amparados por derechos de autor por lo que su empleo debe ser autorizado por los propietarios.

BIBLIOGRAFIA

Arias Paz, M. - Manual de automóviles – Ed. Dossat 2000 – Madrid, 1995

Asociación Española de la Carretera, AEC – Wikivía – Internet: www.wikivia.org

Baguley C. - 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, 2001

Baker J.S. - Manual de investigación de accidentes de tráfico (traducción de la Dirección General de la Jefatura Central de Tráfico de España) - Ed. Gala – Madrid, 1970.

Benner Jr. L. – Rating accidents models and investigation methodologies – National Safety Council & Pergamon Press Ltd. - Journal of Safety Research Vol. 16, 1985

Botta N.A. – Teorías y modelización de los accidentes – Editorial Red Proteger - 3ª Edición - Rosario, 2010 - ISBN 978-987-05-8214-4

Bertalanffy L.v - Teoría general de los Sistemas: Fundamentos, desarrollo, aplicaciones - Fondo de Cultura Económica - USA, 1976

Box, G. & Draper, N. - Empirical model-building and response surfaces (Wiley series in probability and statistics) - Wiley, Arizona, 1987

Cal y Mayor R. - Ingeniería de tránsito - Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A. – México, 1982

Campón Domínguez, J.A. - El modelo secuencial de eventos de un siniestro (MOSES) – Securitas Vialis Vol. 1, No. 3 - ISSN 1888-9697

Chaparro Guevara G. - No linealidad, complejidad y sistemas sociales – Rev. Antropología y Sociología No. 10, Ene-Dic, 2008

Checkland P. – Pensamiento de sistemas, práctica de sistemas – Grupo Noriega Editores – Mexico, 1993

Commission pour la Sécurité Routière Mondiale - Pour des routes sûres; Une nouvelle priorité pour le développement durable - ISBN-1: 978-0-9553198-3-9 - ISBN-10: 0-9553198-3-8

Dekker S.W.A

- Why we need new accident models - Lund University School of Aviation - Technical Report 2005-02
- Ten questions about human error: A new view of human factors and system safety - Lawrence Erlbaum Associates, 2005

Dextre, J.C.

- Nuevos paradigmas para la seguridad vial – Ponencia a la XVI PANAM - Lisboa, 2010
- Seguridad vial; La necesidad de un nuevo marco teórico (Tesis de maestría) - Universidad Autónoma de Barcelona; Departamento de Geografía – Bellaterra, 2010.

Eenink R., Reurings M., Elvik R., Cardoso J., Wichert S. & Stefan Ch. – Accident prediction models and road safety impact assessment: Recommendations for using these tools – RIPCORDER-ISEREST-Deliverable D2, Final - 2008

Elvik R. & Vaa T. - The handbook of road safety measures – Ed. Elsevier - Amsterdam, 2004

Fridström L. – Econometric models of road use, accidents and road investment decisions – Research Council of Norway; Institute of Transport Economics – TOI Report 457/1999 – Oslo, 1999 – ISBN 82-480-0121-0

García G., Johanna L. y Rivera J.H. - 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 2009 - ISSN: 0122-1701

Gaudry M. - 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, 1984

Gunnarsson S.O.

- Traffic accident prevention & reduction review - IATSS Research Vol. 20 No 2, 1996
- Studies in travel behaviour and mobility management need a special scientific discipline: "Mobilistics" - IATSS Research Vol. 24 No 1, 2000

Haddon W.

- Energy damage and the ten countermeasure strategies - The Journal of Trauma 13 (No.4) 321-331 - 1973
- Options for the prevention of motor vehicle crash injury - Israeli Medical Journal 16:45-65, 1980

Hakkert A.S, Gitelman V. & Vis M.A. (Eds.) - Road safety performance indicators; Theory - EU Project FP6 SafetyNet - Deliverable D3.6 - 2007

Harnen S., Radin Umar R.S., Wong S.V. & Wan Hashim W.I. - Motorcycle crash prediction model for non-signalized intersections - IATSS Research Vol. 27 No 2, 2003

Harvey M.D. - Models for accident investigation - Alberta Workers Health, Safety and Compensation; Occupational Health and Safety Division - April, 1985

Herrera Morales C.A. - 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 2005 - ISSN 145-7743

Hollnagel E.

- Modelos de accidentes e análises de accidentes - En: Caminhos da análise de acidentes do trabalho - Ministério do Trabalho e Emprego - Brasília, 2003 -
- Barreras y prevención de accidentes - Ed. Modus Laborandi - Madrid, 2009 - ISBN 978-84-937117-0-2

Huang Y.H.

- A systemic traffic accident model (thesis) - Linköpings Universitet, Engineering Laboratory - Linköping, 2005 - ISBN 91-85299-65-0
- Having a new pair of glasses: Applying systemic accident models on road safety - Linköpings Universitet - Dissertation No. 1051 - Linköping, 2007 - ISSN 0345-7524

Irueta, V.A. - Accidentología vial y pericia - Ed. La Rocca - Buenos Aires - 1996

Izquierdo F.A. - Análisis de la seguridad vial española: Un modelo integrado para la evaluación de los principales factores de influencia - Internet: -
www.institutoivia.com/cisev.../ analisis...aa/Francisco_Aparicio.pdf

Katsakiori P., Sakellaropoulos G. & Manatakis E. - Towards an evaluation of accident investigation methods in terms of their alignment with accident causation models - Elsevier, 2008 - Internet: www.sakellaropoulos.gr/Publications/J43_Safety%20Science_2009_47_1007-15.pdf

Kjellén U. - The deviation concept in occupational accident control, Part I: Definition and classification - Accident Anal Prev 16:289-323, 1984

Kuhn T.S. - La estructura de las revoluciones científicas – Fondo de Cultura Económica, Breviarios – México, 1971

Land Transport Safety Authority, New Zealand Police - Road Safety Research, Policing, Education Conference Proceedings – Wellington, New Zealand, November 1998 - ISBN 0478-20643-7

Le Moigne J.L. - Théorie du système général: Théorie de la modélisation - Collection Les Classiques du Réseau Intelligence de la Complexité – Paris, 1977

Leveson N. - A new accident model for engineering safer systems - Rev. Safety Science, Vol. 42, Nº 4, April 2004

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. – Modelo teórico para la reconstrucción de accidentes de tráfico por ordenador (Tesis de doctorado) – Universidad Politécnica de Madrid – Madrid, 1996

Macias G.R. – A complexidade da situação epidemiológica dos acidentes de trânsito (Tesis de doctorado) – Salvador de Bahia, 2009

Marais K., Dulac N. & Leveson N. - Beyond normal accidents and high reliability organizations: The need for an alternative approach to safety in complex systems - Internet: [www.cs.st-andrews.ac.uk/~ifs/Teaching/Socio-tech/systems\(LSCITS\)/Reading/BeyondNormal%20AccidentsAndHROs.pdf](http://www.cs.st-andrews.ac.uk/~ifs/Teaching/Socio-tech/systems(LSCITS)/Reading/BeyondNormal%20AccidentsAndHROs.pdf) -

Martínez Oropesa C. – Enfoques de modelización de accidentes en sistemas sociotécnicos complejos – Rev. El Hombre y la Máquina No. 37, Julio-Diciembre, 2011

McGregor A. - Accidents, failures, mistakes and leaky buildings - Paper presented at the National IPENZ Conference – Wellington, New Zealand – March, 2006

Mendoza Díaz A. - Reflexiones sobre los paradigmas de la seguridad vial y su visión a futuro - Instituto Mexicano del Transporte – Sanfandila, Querétaro, 2005

Muniz de Almeida I. – 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, 2006 – ISSN 1980-0894

National Transportation Safety Board, Office of Marine Safety – Improving the quality of accident investigation – 2009

Neira J. y Bosque L. - The word “accident”: no chance, no error, no destiny - Rev. Prehospital and Disaster Medicine Vol.19, No.3, July–September 2004 - <http://pdm.medicine.wisc.edu>

Nilsson G. – 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, 2004 – ISSN 1404-272X

Organisation de Coopération et de Développement Economiques, OCDE

– Road transport research: Outlook 2000 - Paris, 1997 - ISBN: 9264154779

– Road transport principles and models - Paris, 1997

Organisation de Coopération et de Développement Economiques, OECD – Conférence Européenne des Ministres des Transports, CEMT

– Road safety principles and models: Review of descriptive, predictive, risk and accident consequence models – OCDE/GD (97)153 – Paris, 1997

Organización Mundial de la Salud, OMS

– Informe mundial sobre prevención de los traumatismos causados por el tránsito – Publicación Científica y Técnica No. 599 – Washington DC, 2004 – ISBN 92 75 31599 X

- Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial; Es hora de pasar a la acción – Ginebra, 2009 – ISBN 978 92 4 356384 8 – Internet: www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2009

Organizacion de las Naciones Unidad, ONU - Plan mundial para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011–2020 - www.who.int/roadsafety/decade_of_action/

Perrow Ch. – Accidentes normales – Ed. Modus Laborandi – Madrid, 2009 – ISBN 978-84-936655-08-6

PIARC – Road accident investigation; Guidelines for road engineers – August 2007

Qureshi Z.H. - A review of accident modelling approaches for complex socio-technical systems – Command, Control, Communications and Intelligence Division; DSTO Defence Science and Technology Organisation - Edinburgh, South Australia, 2008 - DSTO-TR-2094

Reason J.

- Human error - Cambridge University Press - New York, 1990

– La gestión de los grandes riesgos; Principios humanos y organizativos de la seguridad – Ed. Modus Laborandi – Madrid, 2009 – ISBN 978-84-937117-6-4

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

Rooney J.J. & Van den Heuvel L.N. – Root cause analysis for beginners – Rev. Quality Progress – July 2004 – Internet: www.asq.org

Ropohl, G. – Philosophy of socio–technical systems – Rev. Techne, Vol 4, N° 3 - 1999

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

Rumar K.

- Transport safety visions, targets and strategies: Beyond 2000 – European Transport Safety Council – Brussels, 1999

- Transport routier; passé, present et avenir des travaux de la CEMT en matière de sécurité routière – Conférence Européenne des Ministres des Transports - Transports – Bucarest 25-Apr-2002 – CEMT/CM(2002)14

Runyan C.W. – Introduction: back to the future, Revisiting Haddon’s conceptualization of injury epidemiology and prevention – Rev. Epidemiologic Reviews Vol. 25, 2003 – DOI: 10.1093

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

Schoijet N. – Accidentes tecnológicos – Rev. Ciencias No. 30, abril, 1993

Sadauskas V. – Traffic safety strategies – Vilnius Gediminas Technical University – Rev. Transport Vol. XVIII, No 2, 2003 - ISSN 1648-4142

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

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

Sklet S.

- Methods for accident investigation – Norwegian University of Science and Technology, Dept. of Production and Quality Engineering – Trondheim, 2002 – ISBN 82-7706-181-1

- Comparison of some selected methods for accident investigation – Elsevier, Journal of Hazardous Materials Nº 111, 2004

Stroeve S., Sharpanskykh A. & Blom H. - Safety modelling and analysis of organizational processes in air traffic - EUROCONTROL CARE Innovative III project - Vrije Universiteit – Amsterdam, S/F

Tabasso C. –

- Derecho del Tránsito; Los Principios - B de F Editorial - Buenos Aires, 1997

- Ingeniería de Bajo Costo, ¿Revolución o Pura Racionalidad ? – Rev. Vial, Obras, Seguridad y Transporte Nº 22 – Buenos Aires, 2000

- A mais seguridade, maior risco: A fascinante teoria da homeóstase do risco - Revista da Associação Brasileira de Acidentes e Medicina de Tráfego Nº 40, Sao Paulo, 2002

- Licencia de conductor por puntos – Editorial Rubinzal Culzoni – Santa Fe, 2008 – ISBN 978-850-727-886-0

- El alcohol secreto – Editorial Temis – Bogotá, 2011

Tingvall C. & Haworth N. - Vision Zero; An ethical approach to safety and mobility - Paper presented to the 6th ITE International Conference Road Safety & Traffic Enforcement, Beyond 2000 - Melbourne, 6-7 September, 1999

U.S. Department of Energy – Hazard and barrier analysis guidance document: EH-33 Office of operating experience analysis and feedback – Washington DC, 1996

U.S. National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA; Department of Transportation – Tri-level accident investigation study (Indiana Tri-Level Study) – Final Report – Washington, D.C., 1973 – DOT HS-800 912

U.S. Transportation Research Board, TRB – Conducting accident investigations; DOE Workbook; Revision 2 –Washington D.C, 1999

Von Bertalanffy L. - Teoría general de los sistemas – Ed. Fondo de Cultura Económica – México, 1976

Ward N.J., Linkenbach J., Keller S.N., Otto J., Whitteleg J. & Haq G. - White paper on traffic safety culture - Western Transportation Institute – 2010

Wegman F. - Fewer crashes and fewer casualties by safer roads - Contribution to the international symposium 'Having Road Deaths' organized by the International Association of Traffic and Safety Sciences - November 28, Tokyo, 2003 - SWOV publication D-2003-11

Xumini L.M.

- Del origen de la accidentalidad a la mecánica de la inseguridad vial – Foro de Seguridad vial de la Fundación CENATTEV, Provia Panamericano – Buenos Aires, 2002

- El concepto de causa y sistema en accidentología e ingeniería del transporte – Ponencia al XV Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito – Mar del Plata, 2009 – Internet: <http://www.calameo.com/books/0000517711c9fa84a1d5a>

Zori Bertolín P. - Sistema de información de accidentes de tráfico – 3er Foro sobre el Sistema de Información del Sistema Nacional – Madrid, 2009

Apéndice

Ejercicio de aplicación de modelos basado en el naufragio del RMS* Titanic

1 – El ejercicio propuesto y los motivos de la elección del ejemplo

Este apéndice tiene por objeto proponer al lector la realización de un ejercicio consistente en analizar la tragedia del Titanic desde la óptica de cada uno de los modelos expuestos anteriormente en este trabajo; para cumplir la tarea en carácter de información a integrar y analizar, mas abajo se proporciona una lista de hechos considerados relevantes.

Puede que, a primera vista, parezca una irracional incongruencia que en un trabajo centrado en la seguridad vial se proponga el estudio de un gran desastre marítimo a título de ejercicio pedagógico de aplicación de modelos (obviamente, quedan excluidos los modelos predictivos porque se trata del análisis de un hecho singular).

Pero la incongruencia es solo aparente; en primer lugar porque la esencia no cambia, es la misma: el acaecimiento de un hecho violento, destructivo e inesperado, esto es, un siniestro que, en este caso particular, tuvo tales características que lo convirtieron en paradigma de catástrofe; pero mediaron también otras poderosas razones que determinaron la elección del ejemplo.

En segundo lugar, aunque ya ha transcurrido un siglo, se trata de uno de los dramas que mas profundamente ha impactado –y sigue impactando- a la humanidad. Esto hace que se mantenga vívidamente presente en la memoria colectiva de las culturas contemporáneas transmitiéndose de una generación a otra y reavivándose periódicamente por el cine, la televisión, la literatura, numerosos *blogs* temáticos en Internet y varias asociaciones de memoria histórica, lo cual determina que cualquier

ciudadano de cultura media posea una noción aceptablemente veraz de la hecatombe ocurrida en la madrugada del 15 de abril de 1912 en el Atlántico Norte.

En tercer término, los dos comités investigadores de la catástrofe, uno británico (del *British Board of Trade*), y el otro estadounidense (del Senado de EUA), después de oír las respuestas a las 41.000 preguntas que ambos le hicieron a sobrevivientes, testigos y peritos, de hecho coincidieron, sugestivamente, en tomar por las mismas tres tangentes: 1 - La insuficiencia del número de botes salvavidas del buque (de lo cual era responsable la propia entidad investigadora inglesa por no haber actualizado las regulaciones entonces vigentes); 2 – Juzgar que al capitán del buque, Edward J. Smith, no le era imputable responsabilidad alguna por haber actuado de acuerdo a los usos marítimos imperantes aunque, sin profundizar, casi elípticamente el comité norteamericano sugirió negligencia de su parte, y, 3 – Tratar de responsabilizar a Stanley Lord, capitán del vapor *Californian*, según algunos en el grado de criminalidad, porque siendo el buque mas próximo no prestó auxilio a los naufragos. Puede verse que la pobreza de las conclusiones de ambos comités sobrepasa la categoría franciscana, y por ello no conformaron a nadie, ni de ese tiempo ni de hoy, exceptuando a los aficionados a las teorías de conspiración. Lo único positivo que pudo rescatarse fueron algunas medidas de seguridad marítima que perviven hasta la actualidad, p. ej, la creación de una patrulla internacional permanente de alerta de hielos y el aumento obligatorio del número de botes de salvamento. La coincidente insustancialidad de ambos comités hace pensar que podría haber mediado un propósito deliberado de ocultamiento de la verdad por la presión de grandes intereses económico-financieros o puramente políticos. Pero también es plausible que, de buena fe, no les haya sido posible profundizar su indagatoria porque en esa época ni se disponía de la tecnología apta para cumplir la misión, ni, tampoco, de los instrumentos epistemológicos necesarios para conceptualizar un siniestro en el que se combinaron acciones y omisiones humanas, factores tecnológicos poco conocidos por entonces, elementos de diseño, condiciones ambientales singulares, un particular ambiente cultural e incluso el propio azar inescrutable. Tan compleja pluralidad es la misma que lleva a reflexionar que no parezca exagerado considerar el hundimiento del *Titanic* como el primer gran desastre sociotécnico de la historia.

Por último, en el infausto suceso se destacan numerosos factores relevantes puestos en evidencia por investigaciones posteriores de corte histórico y forense desarrolladas durante un siglo entero, varias de ellas con el apoyo de tecnologías muy avanzadas, lo que las vuelve prácticamente exhaustivas e intelectualmente insospechables, v. gr., los submarinos robot y el sonar de barrido lateral empleados por Robert Ballard en 1985 y 1986 para localizar y explorar el pecio a 4000 metros de profundidad.

Tales elementos determinaron que el drama fuera visto por quien escribe como un formidable caso real por demás merecedor de analizarlo e interpretarlo desde la óptica de diferentes concepciones modélicas pues, incuestionablemente, constituye un auténtico arquetipo de cómo se gestan, como operan y como interactúan las causas de los siniestros.

Datos técnicos del RMS* Titanic

Eslora	269 metros
Manga	28,20 metros
Puntal (hasta cubierta del puente de mando)	30,52 metros
Peso bruto c/decoración incluida	46.328 toneladas
Desplazamiento c/pasajeros y provisiones	66.000 toneladas
Capacidad máxima (tripulación y pasajeros)	3.547 personas.
Velocidad máxima (nunca llegó a ella)	24 nudos *
Compartimientos estancos (los mamparos no alcanzaban el techo)	16
Botes de salvamento	15
Aros salvavidas (de madera)	20
Chalecos salvavidas	48
	3.560
* Buque como de Su Majestad	
** Mulo marino: 1852 metros	
Fuentes: varias	

Es indiscutible que el ejercicio propuesto, a mas de la emoción que por sí mismo el análisis de la tragedia puede suscitar en el lector, rendirá a este fecundos frutos porque le permitirá comprender con claridad el concepto de modelo de causación y la diferente profundidad en la investigación que permiten alcanzar los distintos tipos que se han expuesto.

2 - Hechos fundamentales relacionados con el naufragio

Los hechos narrados a continuación relativos al naufragio del transatlántico de bandera británica RMS Titanic, ocurrido en la madrugada del domingo 15 de abril de 1912 en el Atlántico Norte en ruta hacia Nueva York, son plausiblemente verdaderos

pudiendo verificarse mediante una vastísima literatura de investigación histórica y forense producida durante un siglo, estando disponible en Internet una parte muy importante de la misma. Recurriendo a las fuentes sugeridas, el lector podrá hallar nuevos elementos para ampliar su conocimiento y, lo que es muy probable, rectificar, corregir y precisar algunos de los datos enumerados mas abajo.

En la siguiente relación se incluyen solo los hechos de mayor significación culminantes en la colisión de la nave contra un iceberg y su inusualmente rápido hundimiento; por razones prácticas se han excluido los sucesos posteriores a ese momento no obstante que agravaron exponencialmente los resultados, especialmente en términos de víctimas fatales, v. gr., la baja temperatura del agua, el número de botes salvavidas insuficiente, la falta de entrenamiento de la tripulación en procedimientos de emergencia, el caos de la evacuación, la fractura del casco por la mitad, etc. Para completar la nómina fáctica, se incluye un cuadro sintético de los principales datos técnicos de la nave.

Con las salvedades referidas, y sin perjuicio de mayor y mejor información, los hechos fueron los siguientes:

I – En la época del drama el mundo estaba dominado por un desbordante optimismo tecnológico que se expresaba en el convencimiento general acerca de que, por resultar de la aplicación de principios científicos, podía darse por descontado a priori que las innovaciones técnicas creadas por la inventiva humana eran virtualmente perfectas, libres de fallas y, por tanto, absolutamente seguras.

II – En 1912 se encontraba en su clímax una abierta guerra comercial entre las empresas navieras mundiales por la captación de los dos segmentos mas redituables del mercado: emigrantes europeos hacia América y viajeros de alto nivel

socioeconómico; solo en los 10 años anteriores se habían botado 368 buques de pasajeros. En este contexto libraban su batalla particular las poderosas armadoras británicas *White Star Line* propietaria de los transatlánticos trillizos *Olimpyc*, *Titanic* y *Gigantic* (este luego rebautizado *Britannic*) y la *Cunard Line*, dueña de los veloces *Lusitania* y *Mauretania*, lo que se exteriorizaba en una carrera de construcción de buques cada vez mas grandes, mas potentes, mas lujosos y, por ende, mas costosos. Pero los técnicos navales no dejaban de percibir que el frenesí de la competencia había llevado a descuidar la seguridad lo que resumían diciendo: *“Los barcos salen al mar a medio construir”*.

III – Como manifestación puntual del optimismo tecnológico reinante, la opinión pública de la época estaba unánimemente convencida de la invulnerabilidad del *Titanic*, lo que la revista naviera inglesa *Shipbuilder Magazine* condensó en una frase tan célebre como impregnada de soberbia: *“Ni Dios puede hundirlo”* (equivocadamente se suele creer que estaba inscrita en la proa de la nave). Como es obvio, la irracional creencia era entusiastamente compartida por el Capitán del buque Edward J. Smith, por el Director-Gerente de la armadora Lord Bruce Ismay y por los accionistas. Sin embargo, algunos técnicos, especialmente el ingeniero responsable de la construcción Thomas Andrews, albergaban dudas y temores porque la presión de la guerra empresarial había llevado a posponer la seguridad y a sobrepasar los límites de la tecnología metalúrgica de acuerdo al estado del conocimiento de la época.

IV – La nave cumplía su viaje inaugural -iniciado el 10 de abril de 1912- por lo que la empresa propietaria se proponía, por obvias razones publicitarias, exhibir su imponente magnificencia para compensar que no poseía la potencia necesaria para lograr el premio anual *“Blue Ribbon”* que se otorgaba al buque mas veloz en la ruta Southampton–Nueva York el cual en ese momento lo ostentaba el *Mauretania* de la *Cunard* por la mayor potencia de sus motores, lo que obligaba al *Titanic* a mantener la mayor velocidad posible para disimular la desventajosa diferencia entre ambos.

V – El capitán Smith cumplía su última travesía previa a la jubilación y, de hecho, recibía órdenes de Lord Ismay, un absoluto lego en materia de navegación, de quien algunos marinos sobrevivientes dijeron posteriormente: *“Se comportaba como capitán, jefe de máquinas, contramaestre y pasajero de primera clase”*. Durante el fatídico viaje aquel se mantuvo continuamente al lado de este desempeñando principalmente el papel de relaciones públicas de magnifico anfitrión de los acaudalados pasajeros de primera, delegando las funciones de mando en los demás oficiales.

VI – Según algunas investigaciones sobre los materiales de la nave, debido a una excesiva proporción de azufre y fósforo en la aleación, el acero de las planchas del casco era sumamente quebradizo, especialmente estando sometido a bajas temperaturas. Dos horas antes de la colisión fatal, el agua del océano estaba a menos de 0 grados centígrados, es decir, por debajo del punto de congelación.

VII – Los mas de 3.000.000 de remaches (roblones) que unían las mencionadas planchas entre si y a la estructura del buque –fabricados por la firma *Colvilles & Co.* de

Glasgow- en una importante proporción no eran de acero (principalmente en las secciones curvadas de la proa), sino de hierro de muy baja calidad por exceso de escoria en el material lo que los volvía quebradizos. Durante la etapa de construcción el Ing. Andrews se quejó repetidamente de la manufactura negligente de dichos elementos por lo que ordenó a los operarios inspeccionar cada uno antes de ser colocado lo cual, por evidentes razones, fue materialmente imposible.

VIII – En el diseño del buque no se consideró la hipótesis de una inundación total de los compartimientos situados bajo la línea de flotación; debido a ello no eran realmente estancos porque entre el borde superior de los mamparos de separación y el techo quedaba un considerable espacio vacío que volvía imposible sellarlos completamente posibilitando así que eventualmente el agua pasara de uno a otro y así inundarlos todos. Debido a esta configuración la nave podía seguir a flote con 2 cualesquiera de sus 16 compartimientos abiertos al océano, o con 3 de los 5 de proa; incluso si hubieran sido inundados solo 4 de estos, podría haber permanecido a flote.

IX – Algunos expertos náuticos han sostenido que la pala del timón no era proporcionada al tamaño del buque por ser angosta y de pequeñas dimensiones relativas; esto determinaría que el radio de giro fuera sumamente abierto, impidiendo efectuar maniobras en curva muy cerrada.

X – Para el cruce del Atlántico desde Inglaterra hacia EUA existían dos rutas ordinarias: una llamada Norte que se utilizaba en épocas normales sin hielos y otra denominada Sur, 320 Km mas larga, empleada en la temporada de icebergs, pero ese año la extensa barrera formada por estos había sobrepasado excepcionalmente la línea de la ruta, la cual el Cap. Smith había ordenado seguir para no correr riesgos pues se desarrollaba la máxima velocidad posible de 22,5 nudos (42 Km/h), mantenida invariada en toda la travesía. La excepcionalidad del fenómeno determinó que, creyendo haberlo dejado atrás, en realidad el Titanic navegaba hacia el peligroso obstáculo, lo que volvía vitales los “*marconigramas*” (mensajes telegráficos) de advertencia transmitidos por otros buques.

XI – Por falta de Luna la navegación se desarrollaba bajo una oscuridad nocturna total, aunque con un cielo muy estrellado dado que el estado del tiempo era excelente aunque frio, reinando en la superficie del océano una calma chicha inusual. Esta calma reducía todavía mas la visibilidad de eventuales masas de hielo por la ausencia de las crestas de espuma producidas por pequeñas olas rompiendo contra los bordes de los témpanos.

XII – Los vigías de guardia -Frederick Fleet y Reginald Lee- apostados en el atalaya del mástil de proa (“*el nido de cuervos*”), carecían de binoculares para cumplir su función porque las llaves del gabinete donde se guardaban habían quedado en Southampton en poder del 2º oficial David Blair relevado a último momento, quien olvidó entregarlas a su sustituto Charles Lightholler (en setiembre del 2011 la firma Henry Aldridge & Son de Devizes, Wiltshire, las subastó por cuenta de la Sociedad Internacional de Marineros, siendo adquiridas por el historiador Peter Boyd-Smith). La carencia de dichos instrumentos determinó que la detección de eventuales obstáculos

en el curso quedara librada únicamente a la capacidad visual del personal de observación.

XIII – El Titanic poseía el mejor radiotransmisor disponible en la época, el cual había sido provisto por un contrato con la *British Marconi Company* que incluía dos telegrafistas calificados para operarlo -Jack Phillips y Harold Bride- quienes, por lo tanto, no eran empleados de la *White Star* sino del fabricante. Debido a ello no estaban sujetos a la cadena de mando del buque, ni seguían ningún protocolo de rutinas para entregar los mensajes telegráficos de interés para la navegación, excepto que estuvieran encabezados por el prefijo MSG indicativo de máxima prioridad por lo que debían ser entregados inmediatamente al capitán del buque receptor en mano propia. Adicionalmente, durante toda la travesía ambos operadores estuvieron sobrecargados de trabajo transmitiendo, recibiendo y entregando comunicaciones personales de los pasajeros. Estas circunstancias explican que algunos avisos que advertían sobre icebergs, no llegaran al Capitán ni al puente de mando. A mas, el equipo de radio sufrió un desperfecto técnico desde la tarde del 13 de abril hasta las 5:00 AM del 14, es decir, unas 12 horas durante las cuales los buques que navegaban en el área se intercambiaron advertencias que no fueron escuchadas por el Titanic.

XIV – Las investigaciones han establecido en forma terminante que previamente al fatal abordaje, el buque estaba en rumbo directo hacia la mencionada barrera de hielos (“*ice pack*” en la jerga marinera) de 78 millas de largo (unos 125 Km), por unas 10 o 15 de ancho, un fenómeno estacional que, si bien ese año era mayor y se localizaba mas al Sur de lo usual, también era perfectamente conocido por los navegantes. Sobre este serio riesgo, en el correr del 14 de abril, el Titanic recibió efectivamente de otros buques claros y reiterados mensajes radiales de alerta, según se enumera a continuación:

9,00 AM (primer aviso del día) – Mensaje del carguero Caronia notificando la presencia de icebergs y banquisa (manto flotante de fragmentos de hielo y pequeños témpanos) en posición 42º N desde los 49º hasta los 51º W; el radiooperador Bride entregó el “*marconigrama*” al 4º oficial Boxhall, quien marcó las coordenadas de la posición informada en la carta de navegación del puente.

11,40 AM - El vapor holandés Noordam comunicó prácticamente lo mismo que el mensaje anterior del Caronia.

1,42 PM - El trasatlántico Baltic retransmitió al Titanic un mensaje del vapor griego Athinai comunicándole la presencia de icebergs y espesa banquisa a unas 250 millas a su frente; el mensaje fue puesto en manos del Cap. Smith, entregándolo este a su vez a Lord Ismay, quien lo guardó en un bolsillo de su traje, mostrándolo más tarde a las pasajeras Sras. Ryerson y Thayer.

1,45 PM - El vapor Amerika notificó icebergs en el curso del Titanic, pero los oficiales sobrevivientes en sus declaraciones ante los comités de investigación negaron haber recibido este mensaje.

19,30 PM - El vapor Californian, navegando delante del Titanic con el mismo rumbo, radió a este tres avisos seguidos advirtiéndole de tres grandes icebergs a solo 50 millas de su posición; actualmente se hipotetiza que uno de ellos fue el de la tragedia, conservándose del mismo una película filmada dos días después del naufragio. Los urgentes mensajes se entregaron a los oficiales del puente, pero el capitán no los recibió porque se encontraba en ese momento en el lujoso restaurante "a la carte" del buque en una cena ofrecida en su honor por un matrimonio de acaudalados pasajeros.

9,40 PM - El carguero Mesaba radió un alerta general de grandes icebergs y banquisa en coordenadas 42º a 41º 25' N, 49º a 50º W, zona hacia la cual, de acuerdo al rumbo fijado, se dirigía el Titanic. Posteriormente ningún oficial sobreviviente recordó haber recibido este mensaje de advertencia

XV - Dada la oscuridad reinante, en la marcha de aproximación a la barrera de hielos las únicas precauciones adoptadas habían consistido en doblar el número de vigías y que el 1er. oficial William Murdoch mandara cerrar la escotilla anterior del castillo de proa para evitar que el reflejo procedente del interior interfiriera la visión de aquellos por ubicarse más arriba en su atalaya, ordenándose a estos por el 6º oficial Moody que: *"Mantuvieran los ojos bien abiertos por si veían hielo, en especial icebergs pequeños"*.

A la hora 9,20 PM el capitán Smith, antes de retirarse a su camarote para el descanso nocturno, impartió en el puente las últimas instrucciones del día al oficial de guardia Lightoller ordenándole: *"Si la situación se pone incierta, hágamelo saber inmediatamente"*.

XVI - A las 10,55 PM, estando el Californian a unas 15 millas por delante del Titanic, su telegrafista Cyril Evans, omitiendo el prefijo de prioridad MSG, le comunicó que su buque estaba detenido con las calderas apagadas por encontrarse rodeado de enormes icebergs. Phillips, el operador del Titanic, que en ese instante estaba comunicándose con una estación de tierra, se molestó por la interferencia y la cortó con una respuesta tristemente célebre: *"Fuera de aquí !; Cállate !; Estás obstruyendo mi señal. Estoy transmitiendo a cabo Race"*. Probablemente agraviado por la descortesía de su colega, Evans no repitió el crítico mensaje y, habiendo cumplido su jornada de trabajo (de 16 horas), apagó el radiotransmisor a las 11,35 PM. Careciendo de un telegrafista de relevo, el Californian quedó totalmente privado de comunicación lo cual, unido a la malinterpretación de las bengalas de socorro lanzadas luego por el Titanic, explicaría que su capitán, Stanley Lord, no prestara auxilio en el rescate de las víctimas, motivando con ello que ambos comités investigadores formularan graves acusaciones en su contra.

XVII – Unos 37 segundos antes de la hora 11,40 PM el vigía Fleet avistó a 500 yardas de la proa del Titanic (455 metros) un iceberg de gran tamaño interpuesto en el curso dando inmediatamente la alarma con tres campanadas y aviso telefónico al puente.

XVIII – Ante el grave peligro, el 1er. oficial Murdoch -que había relevado a Lightoller en el mando-, para evitar la inminente colisión frontal ordenó al timonel Hitchens: *“Todo el timón a babor”* (izquierda), y a la sala de máquinas: *“Hélices en reversa y cerrar compuertas”*. La doble maniobra simultánea fue contradictoria debido a que la súbita inversión del movimiento de avance restó la potencia necesaria para efectuar el violento viraje de radio lo mas corto posible que se requería para eludir por el flanco la voluminosa masa del iceberg.

XIX - La maniobra evasiva logró evitar el choque frontal de proa, pero el desvío oblicuo del curso determinó una colisión rasante de la superestructura de la nave contra el iceberg a lo largo de la banda de estribor (derecha) cerca de la quilla. La gigantesca presión del roce de ambas moles hizo saltar los remaches que unían las planchas al casco, abriéndose una sucesión discontinua de grietas de entre 75 y 90 metros de largo por las cuales comenzó a entrar agua del océano a raudales. A pesar del inmediato cierre de las compuertas de los compartimientos (no estancos) mediante un sistema eléctrico comandado a distancia, la inundación avanzó con fulminante rapidez por las cinco cubiertas inferiores ubicadas entre la proa y el centro del navío, incluyendo las salas de calderas No. 5 y 6.

XX - A pocos minutos del abordaje –que muy pocos pasajeros advirtieron-, el Capitán Smith y el Ingeniero Andrews efectuaron personalmente la inspección de averías la cual concluyó en que el buque estaba condenado y se iría a pique en una o dos horas a lo sumo, por lo que se ordenó inmediatamente arriar los botes de salvamento. Y entonces comenzó la verdadera tragedia.

XXI - A las 2.20 AM del domingo 15 de abril de 1912, a 650 millas al Sudeste de Terranova, en su última singladura y con la columna vertebral partida, el soberbio transatlántico RMS Titanic, fulgurante estrella del firmamento tecnológico de su tiempo y orgullo del pueblo que lo construyó, descendió para siempre a la noche interminable de los abismos oceánicos llevándose consigo la vida de 1517 seres humanos.

3 - Algunas preguntas de investigación sugeridas para el ejercicio

Sumando la anterior enumeración de hechos a la noción previa de la tragedia que, se presume, poseen los lectores, pueden plantearse por vía de ejemplo algunas preguntas importantes cuyas respuestas contribuirán a la aclaración de la causalidad del drama, pero también para entender la gran utilidad de los modelos de siniestro, como las siguientes:

- ¿ Pueden ser consideradas o no completas y correctas las conclusiones de los dos comités de investigación respecto a la supuesta negligencia e imprudencia del capitán Smith, y en uno y otro caso, porqué ?
- ¿ Actuó una sola causa o varias, y en este último caso, cuales habrían sido y como se habrían combinado ?
- ¿ Qué hecho o acto podría haber asumido el papel de “causa raíz” disparadora de la secuencia fatal ?

- ¿ Que fallas se habrían producido en el nivel de operación ?
- Además de causas de naturaleza físico-material, ¿ sería posible identificar elementos causales de orden inmaterial, y en este caso cuales serian y que grado de eficacia podría atribuírseles ?
- ¿ Qué papel causal le cupo jugar al factor humano ?
- ¿ Cuales factores organizacionales podrían haber operado como causas eficientes ?
- ¿ Pueden reconocerse factores latentes y activos y cuales serían ?
- ¿ Podría considerarse que el diseño de la nave habría sido el único factor causante del siniestro ?
- ¿ Cual sería la secuencia de los eventos conducentes al siniestro según el modelo del efecto dominó de Heinrich ?
- ¿ Como podría efectuarse un análisis del hecho empleando la matriz de Haddon ?
- ¿ Podría considerarse que se trató de un “siniestro organizacional” según la visión de Reason, y en caso afirmativo, cuales serían las fallas identificables y cuales factores habrían abierto la “ventana de oportunidad” ?.
- ¿ Es posible que la tragedia pueda ser calificada como un “siniestro normal” de acuerdo al modelo de Perrow, y en caso afirmativo, por cuales motivos ?
- Conforme a las respuestas de las preguntas anteriores: ¿ que medidas correspondería sugerir para que no volviera a suceder un desastre similar ? (sin tener en cuenta los factores agravantes que incidieron posteriormente a la colisión)
- Formule y conteste otras preguntas propias o las que le sugieran terceras personas.

Concluyendo esta propuesta cabe expresar que a lo largo del siglo transcurrido se han formulado ininidad de hipótesis y teorías que intentaron explicar la catástrofe desde innumerables puntos de vista que van, desde el enfoque científico riguroso pasando por tenebrosas conspiraciones a las que no habrían sido ajenos ni agentes terroristas del Káiser alemán, ni los Jesuitas ni la secta de los Illuminati, hasta la maldición de una pitonisa (o reina) egipcia de la época de Amenofis IV cuya momia, supuestamente, viajaba en el buque para ser exhibida en Nueva York.

Si al lector el tema lo cautiva tanto como a quien escribe, podrá consultar una exuberante literatura, bastante cara por cierto, pero también encontrar sin cargo en Internet unos 35.000.000 de referencias específicas con solo teclear la palabra clave “Titanic”, cuya lectura los enriquecerá con nuevos elementos, múltiples enfoques y mejores datos para que puedan corregir errores de información del autor, desarrollar sus investigaciones personales y formular sus propias teorías.

El fascinante ejercicio les hará experimentar la incomparable satisfacción de sentir como, solo utilizando la herramienta de la mente enfocada a través del cristal de un modelo, por delante se les abren caminos insospechados.

*RMS es la abreviatura de la expresión inglesa *Royal Mail Steamship*; traducida al español: *Real Buque a Vapor de Correo*

