

*Juan Carlos Dextre
Martín Diego Pirola
Carlos Tabasso
Jorge Bermúdez
Aníbal O. García*

VÍAS HUMANAS

Capítulo 5



**FONDO
EDITORIAL**

PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Vías humanas. Un enfoque multidisciplinario y humano de la seguridad vial
Primera edición: setiembre de 2008

De esta edición:

© Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú, 2008

Av. Universitaria 1801, Lima 32, Perú

Teléfono: (51 1) 626-2650

Fax: (51 1) 626-2913

feditor@pucp.edu.pe

www.pucp.edu.pe/publicaciones

Diseño y Diagramación: Wilbert Arturo Sierra Rivero

Caricaturas: Dennis Mark Torres Escuadra

Prohibida la reproducción parcial o total del texto y las características gráficas de este libro. Ningún párrafo de esta edición puede ser reproducido, copiado o transmitido sin autorización expresa de los editores.

Cualquier acto ilícito cometido contra los derechos de propiedad intelectual que corresponden a esta publicación será denunciado de acuerdo a D.L. 822 (Ley sobre el Derecho del Autor) y las leyes internacionales que protegen la propiedad intelectual.

Este libro es vendido bajo la condición de que por ningún motivo, sin mediar expresa autorización de los editores, será objeto de utilización económica alguna, como ser alquilado o revendido.

ISBN: 978-9972-42-865-4

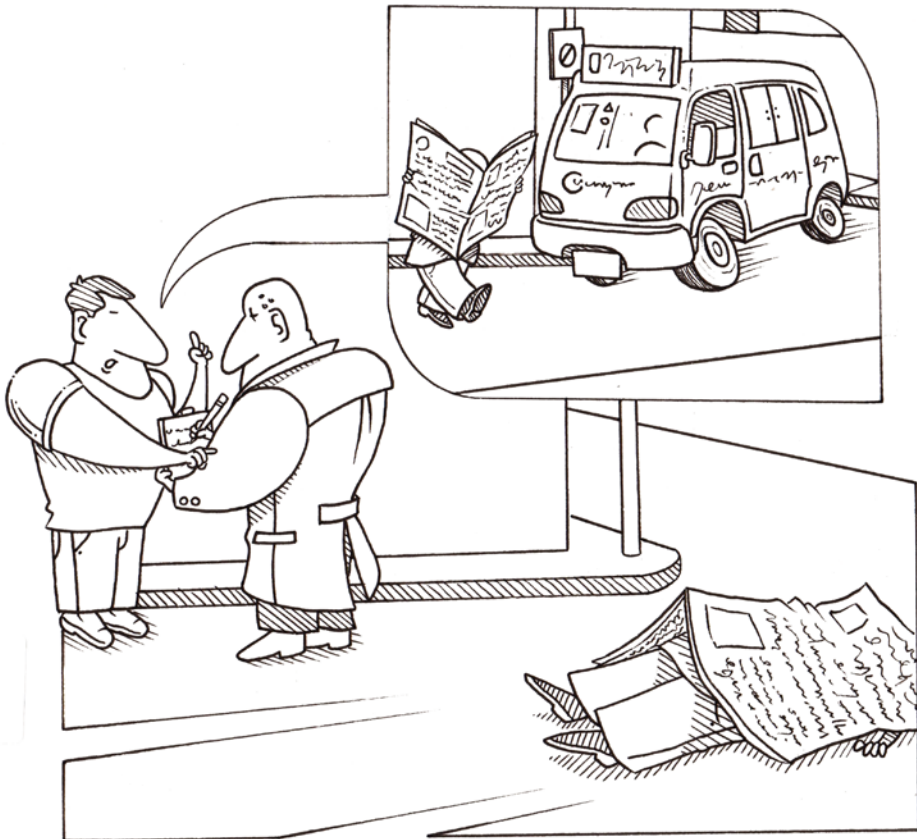
Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2008-12134

Impreso en el Perú – Printed in Peru

5

Investigación y reconstrucción de los siniestros en el tránsito

Aníbal O. García



ANÍBAL O. GARCÍA



Argentino. Estudió Ingeniería Mecánica en la Universidad Nacional de Buenos Aires (UBA) y realizó estudios de posgrados en Ingeniería de Soldadura en la UBA y en Corrosión en la Comisión Nacional de Energía Atómica.

Es consultor técnico de diversas empresas y reparticiones públicas. Perito de la Corte Suprema de Justicia de la Nación y los fueros Civil, Penal, Comercial y Civil-Comercial de la ciudad de Buenos Aires. Actualmente realiza investigaciones y desarrollos de modelos físico-matemáticos de colisión.

Ha dirigido y organizado cursos y seminarios sobre reconstrucción de siniestros, dictado conferencias para ingenieros, técnicos, letrados, así como publicado diversos artículos en revistas especializados.

agarcia@perarg.com.ar – www.perarg.com.ar

+ Un accidente, muchos accidentes	152
+ La ingeniería forense	158
+ La investigación. El proceso de formación de la evidencia	163
+ La reconstrucción	171
+ La presentación de los resultados	176
+ Las ciencias de la ingeniería	182

UN ACCIDENTE, MUCHOS ACCIDENTES

Se llaman accidentes los crímenes que cometen los automóviles. Eduardo Galeano, *El Lenguaje*

El uso del término “accidente” confunde el problema. Con el mismo sustantivo, se denomina a un mero incidente urbano, donde dos automóviles toman contacto y solo producen algunos daños materiales, así como también a siniestros en los que personas pierden la vida o quedan con lesiones permanentes o temporales. Por sus efectos, ambas cosas no son lo mismo, y la diferencia merece ser considerada con seriedad, denominando los hechos por lo que realmente ha ocurrido: “colisión de automóviles” en las distintas posiciones, “atropello de peatón”, “colisión lateral de motocicleta” o “vuelco sin colisión previa”, por solo citar algunos ejemplos.

Los siniestros de tránsito no pueden ser calificados hasta que no se sepa qué es lo que realmente ha ocurrido y qué rol tuvo cada protagonista en la secuencia que desencadenó el hecho. En ese momento, si se ha demostrado que se trató de un hecho imprevisto, inesperado e inevitable bajo las circunstancias posibles, solo en ese momento y para ese caso, cabe la aplicación del término “accidente”.

El uso indiscriminado de este término obstaculiza el estudio de los siniestros viales, dado que un accidente no es producto del azar ni de la fatalidad. La precalificación de accidente, aplicada en forma indiscriminada, elimina la noción de responsabilidad y negligencia. Accidente resulta, así, un modo de ocultar la inconducta humana en el tránsito.

Un calificativo ayuda a atenuar la confusión. Un accidente grave es percibido de manera distinta que un accidente leve. Sin embargo, un hecho de tránsito en el que se producen lesiones o la muerte trasciende el ámbito social de los protagonistas y, cronológicamente al momento mismo. Las próximas líneas pretenden brindar una idea de la dimensión del significado de “siniestro de tránsito” y de algunas diferencias necesarias entre las disciplinas científicas que abordan cada aspecto de la problemática.

LAS SECUELAS DE UN HECHO

Las estadísticas solo cuentan muertos y heridos producidos en el tránsito. Los medios potencian esta descripción pobre y sesgada de las repercusiones de un hecho de tránsito grave. Rara vez se tiene un resultado en el que se segreguen los fallecidos a causa del hecho en sí, de los que fallecen más tarde, debido a las secuelas del hecho: demoras y deficiencias en la atención de heridos, tratamientos insuficientes, carencia de recursos para asistir la emergencia, impacto psicológico agudo, etc. Sin embargo, esta no es la mayor tergiversación del hecho y sus implicancias.

Las lesiones superan el área traumatizada debido a la repercusión del impacto sobre órganos y cadenas biocinemáticas alejadas del punto de contacto. Es frecuente que impactos en las piernas o en la cabeza muestren síntomas de afección difusa en la columna dorsal y cervical, cuya relación con el trauma originario no es detectada.

Por su parte, los largos períodos de postración acentúan fenómenos asociados de artrosis y disminución de la movilidad de las articulaciones, pérdida de la tonicidad muscular (e incluso de la masa muscular) y problemas en la piel, debido a posiciones de postración prolongadas.

En las personas de avanzada edad, hay mayor propensión a la multiplicación de efectos y una menor disponibilidad física para la recuperación. La concurrencia de fracturas con fenómenos de osteoporosis avanzadas, las distensiones de los ligamentos en las personas que han desarrollado procesos degenerativos, prolonga los tiempos de recuperación. Similares efectos multiplicadores producen las deficiencias alimentarias e inmunológicas. Todas estas circunstancias contribuyen a producir un cambio radical en la vida de las personas, en duración y calidad.

En las personas jóvenes, la exposición a largos períodos de postración e internación en un centro de recuperación, no solo aumenta la probabilidad de enfermedades hospitalarias (sepsias), sino que disminuyen la capacidad de movilidad de las zonas afectadas directa e indirectamente en el accidente, con fuertes impactos en la calidad de vida posterior. Todos estos efectos permanecen invisibles en la simple descripción de hematomas y fracturas, salvo en las muy graves (amputaciones, ablaciones y plejías).

En todos los casos, los fenómenos asociados al *shock* post traumático inciden sobre las psiquis de los lesionados; las lesiones, su tratamiento y la postración prolongada, afectan el estado de ánimo de los lesionados, con trascendencia en enfermedades o alteraciones psíquicas como la depresión.

El impacto de las lesiones, sobre todo de las que resultan postrantes y/o invalidantes, se prolonga en el entorno familiar y social próximo de la víctima. El padre que deja sin fuente de sustento a su familia, el hijo o el hermano que debe concentrar en un grado imprevisible los gestos de solidaridad y acompañamiento, impactan de manera diferente y desde distintos ángulos sobre la estructura psíquica de los miembros integrantes del entorno del lesionado.

En algunos casos de siniestros gravísimos, donde las víctimas son grupos sociales determinados (escolares en viajes de estudio, jubilados en turismo social, etc.) el impacto del hecho alcanza a toda una franja de la comunidad, y puede despertar un cambio de las conductas sociales de ese sector impactando, positiva y negativamente, sobre el conjunto de la sociedad.

Aun cuando no se le ha prestado atención, corresponde incluir entre los daños derivados de un hecho de tránsito los efectos negativos sobre la vida de los victimarios sobrevivientes. Los conductores de vehículos involucrados en hechos de tránsito, independientemente del grado de responsabilidad, están sujetos a alteraciones psíquicas diversas, presiones debidas al accionar policial y judicial, la descalificación social de la persona y su entorno familiar e incluso, la pérdida de consideración en su propio medio. Todo esto influye sobre el nivel de autoestima e intensifica el stress en la persona y su entorno familiar, con derivaciones insospechables a primera vista. Estas secuelas pueden incluir en la categoría de víctimas a los conductores, que no habiendo sido los

que produjeron el hecho, reclaman y tienen derecho a una consideración particular de su accionar, más allá de sus efectos.

El impacto social de un siniestro es diferente según la edad de las víctimas, la clase social de pertenencia y las características de su entorno. No resulta igual el impacto familiar debido al fallecimiento de una persona de edad avanzada que el que produce la muerte de un joven. El efecto económico sobre el entorno familiar es mucho más alto si se trata del jefe de una familia de modestos recursos que de una familia acaudalada. Incluso, la reparación material suele ser más sencilla, directa y generosa en el entorno de una víctima perteneciente a las clases altas que en una proveniente de las zonas de pobreza e indigencia. Como si la vida tuviera un precio vinculado a la pertenencia social.

Los pobres y los ancianos son las víctimas más frecuentes en los accidentes graves. Los jóvenes de familia de buena posición económica predominan entre los causantes. Los rodados de alta performance tienen una participación específica singular en el atropello de personas. Es como si hubiera un perfil socialmente sesgado entre causantes y víctimas.

Todos estos efectos colaterales quedan ocultos detrás de las estadísticas que son básicamente mera contabilidad de muertos y heridos.

EL TIEMPO DE UN HECHO

Una colisión dura menos de una décima de segundo. En los choques de automóviles a alta velocidad, el tiempo que media entre el impacto y el momento en que los móviles alcanzan el estado de reposo no supera los 3 segundos. En el medio rural, el socorro de las víctimas se produce, en general, durante la primera hora.

¿Son estos tiempos una magnitud representativa de la duración de un siniestro de tránsito? La respuesta es ciertamente no; las secuelas de un hecho se prolongan durante la vida de las personas afectadas directa e indirectamente, como ya se ha tratado. Y se sabe que un hecho no termina en la propia ocurrencia del mismo; pero para saber cuánto dura un siniestro, hay que preguntarse también cuándo comienza.

Un siniestro es una sucesión de hechos que producen un desenlace final: lesiones o muertes en las personas, lesiones o muertes en animales y daños en las cosas. Esta descripción incluye desde un accidente casero (golpearse un dedo con un martillo) hasta el más terrible siniestro aéreo, o choque de trenes o de barcos. Incluye también a los hechos del tránsito.

El hecho no es lo que un testigo presencial ve; solo se ve y se cuenta el desenlace final de una sucesión de hechos que comenzó bastante tiempo antes. Ha existido un tiempo de preparación, que suele ser muy largo. Los hechos de tránsito comienzan a prepararse con días, meses y años de anticipación; en la preparación del conductor, en el nivel de seguridad en la circulación, el estado de la calzada y su entorno, el estado del tiempo, la carencia de controles, etc.

Sumergirse en la problemática de la seguridad en el tránsito y actuar en la prevención requiere analizar incidentes y conflictos. Cualquier evento que ingresa a la categoría de

siniestro es la consecuencia de una conducta insegura, realizada en forma repetida, de manera habitual, por muchas personas en el espacio público. A diferencia de un siniestro, el incidente no tiene un desenlace final y, por lo tanto, no produce daño. Sin embargo, el incidente es el germen del siniestro.

Un hecho de tránsito es el desenlace fatal y consecuente de un conjunto de incidentes. El hecho en sí mismo es singular, único e irrepetible; además, no es remediable. Las conductas inseguras, temerarias, carentes de espíritu solidario forman un caldo de cultivo, un estado de incidentes frecuentes, repetibles, sistemáticos.

Los ingenieros forenses actúan en la investigación del hecho único: el siniestro. La preocupación social sobre la siniestralidad tiene que ver con los incidentes, con las conductas humanas a escala social. Son dos análisis distintos: uno puede examinarse desde las consecuencias; el otro requiere inmersión en las causas. La primera cuestión se desarrolla más adelante en esta sección. A la segunda, dedicamos las próximas líneas.

EL INTERÉS SOCIAL EN LA PANDEMIA

La alta frecuencia de los hechos de tránsito, sus derivaciones en la calidad de vida de los protagonistas, víctimas y victimarios, y del entorno social y familiar de los mismos, conforma una situación de crisis social que crece geométricamente con la tasa de siniestralidad. La depresión y las neurosis que potencian la repercusión de los hechos en los medios de comunicación inciden en una disminución de la percepción del valor de la vida humana, de su cuidado y preservación en términos de calidad a escala social.

La sociedad tiene derecho a interesarse, opinar y presionar para la adopción de políticas públicas de seguridad en el tránsito. Y las autoridades, la obligación de adoptarlas e implementarlas de manera eficiente. Para ello, es necesario enfocar el estudio en la producción de los incidentes que anteceden a los siniestros, como riesgos; como la antesala de los hechos indeseados.

Ignorar muchas formas de circulación o conductas inseguras las vuelve costumbre. Y lo que el hábito acepta es ley y derecho, que se ejercen masivamente para producir diariamente centenares y hasta miles de incidentes en el tránsito. Hasta que el incidente pasa la fina barrera de la casualidad que lo separa de un siniestro.

Introducirse en el análisis de seguridad vial (o, más precisamente, en la escasez de ella) es sumergirse en un sistema plagado de fallas. Actuar sobre ellas remite a analizar cuestiones que están antes en el tiempo, y más allá de las consecuencias de esa escasez; se trata de superar el número de víctimas como la medida única de la siniestralidad. Las consecuencias escandalizan y horrorizan, y también ocultan las causas. El número de víctimas nada dice del porqué de los resultados, ni qué razón material dio lugar a los hechos indeseables; si eran evitables y, en su caso, qué debería hacerse para evitarlos.

Cada siniestro grave es el desenlace de una multitud de hechos de similar factura que no llegaron a ese nivel; algunos, unos pocos, se quedaron en la definición de hechos leves. Otros muchos no llegaron a producirse: son meros incidentes. Sin embargo, todos ellos tienen una génesis común; una causa —o bien un conjunto de causas— que los hacen posible y conforman el riesgo. El problema puede imaginarse como una

pirámide de hechos, donde el siniestro, con víctimas fatales e inválidos de por vida, es la cúspide; los hechos leves se extienden hacia abajo y hacia los lados, formando el cuerpo y la base.

La matriz común de esa pirámide es una causalidad común, una tipología de riesgo determinada. La diferencia en las consecuencias entre ellos es mera casualidad. Cualquiera de los hechos leves podría haberse transformado en un hecho grave, de no mediar circunstancias menores e inmanejables por las personas y por la tecnología.

La cantidad y diversidad de la población de cada una de las pirámides de riesgo es lo suficientemente amplia y variada como para hablar seriamente de factores de riesgo. El riesgo es uno de los factores de la siniestralidad. El otro factor es la severidad. El riesgo remite a la probabilidad de que un hecho (no deseado) pueda ocurrir. La severidad está relacionada con ciertas magnitudes físicas (la aceleración en una colisión, por ejemplo) y las consecuencias humanas y materiales. La siniestralidad es el producto de riesgo-probabilidad y severidad-consecuencias para cada tipo determinado de siniestros.

El riesgo está relacionado con la causalidad. Afecta por igual a todos los elementos que componen la pirámide. Reducir la factibilidad de una situación de riesgo a un nivel menor disminuye el tamaño de la pirámide correspondiente.

(Un simple ejemplo: la frecuencia de los choques frontales en las carreteras puede disminuirse o, incluso, reducirse a cero, separando físicamente los carriles de circulación; las autopistas o autovías son una solución que elimina la causa de la pirámide colisión frontal.

156

Sobre la severidad o gravedad de los hechos, sobre la casualidad, es casi imposible actuar. Pedir a los conductores mayor cuidado es una acción insuficiente. Si un conductor circula de contramano, no podrá ser contenido por la prudencia de los que circulan por ella con pleno derecho.

EL INTERÉS INDIVIDUAL

Resarcimiento y castigo

Además de la preocupación social por la prevención de los siniestros del tránsito, existe el derecho individual. En cada hecho de tránsito existen personas directamente afectadas, que tienen un derecho según el rol que han desempeñado. Las víctimas tienen el derecho de ser resarcidas del daño producido; los causantes o responsables tienen el derecho de no ser injustamente condenados, más allá del daño realmente causado y de las responsabilidades que efectivamente le caben; la sociedad tiene el derecho y la obligación de castigar de manera ejemplificadora a los culpables, protegiendo a los protagonistas no víctimas de los excesos de los sentimientos de venganza.

Esta triple fuente de derechos tiene algunos lugares comunes. Los derechos se ejercen en ámbitos donde se asegura la igualdad de los individuos. Esos ámbitos pueden ser el de la mediación y negociación privada entre las partes, el del arbitraje cuando las partes acuerdan someterse al análisis de un experto cuya idoneidad y solvencia ética es reconocida y, finalmente, el ámbito de la justicia.

Otro lugar común es que, tanto el acuerdo negociado como el fallo condenatorio, debe estar basado en la verdad de los hechos ocurridos. Resulta normal y lógico que cada una de las partes crea no solo en los derechos que le asisten, sino también en el grado de culpabilidad y responsabilidad de la contraparte, inversamente proporcional a la que considera su propia responsabilidad.

El litigio es el resultado de la apreciación discordante que cada parte tiene de la ocurrencia del siniestro en relación con la conducta de los protagonistas. Y esta apreciación distinta tiene que ver con puntos de vista sesgados e, incluso, con el desconocimiento de reglas y situaciones realmente existentes.

La verdad puede permitir acercar a los interesados a una visión común del hecho, a través de la cual cada una de las partes pueda reconocer su protagonismo y conciliar. El árbitro y el juez necesitan conocer la verdad de los hechos para emitir su fallo. Sin verdad no hay justicia posible.

En un hecho de tránsito, existen pérdidas irremediables: pérdidas materiales y pérdidas en vidas y en la calidad de vida de los sobrevivientes. La justicia no puede remediar la pérdida, pero sí puede determinar la cuantía de la misma, y quienes deben cargar con ella. Para ello, necesita saber cómo ocurrieron los hechos.

El ingeniero forense

La función del ingeniero forense es acercar a los jueces y a las partes una imagen lo más cercana posible a la verdadera ocurrencia de los hechos mediante una reconstrucción analítica de los mismos. También concurre en el auxilio técnico de los abogados que representan a cada una de las partes, para asistirlos en su función de iluminar aquellos puntos que favorecen la posición y el interés que representan.

Como auxiliar del juez, el ingeniero forense actúa en carácter de perito oficial o de oficio, designado por aquel por sus conocimientos y experticia. En el rol de asistencia a la parte, el ingeniero forense es un perito de parte o consultor técnico. Las funciones del perito ingeniero, en particular, y del perito de cualquier profesión, en general, son específicas y limitadas. Ambas situaciones están reguladas en los códigos procesales de cada fuero judicial, y en general apuntan a generar listas específicas de personas con una profesión reglamentada a través de la matrícula de un colegio que regula y controla el ejercicio profesional.

En el ámbito privado, interesa también conocer la verdad de los hechos. Las compañías de seguros, las empresas involucradas de distinta manera en siniestros de tránsito y otros actores privados, requieren conocer la verdad de los hechos para resolver y desentrañar ciertas cuestiones que no están totalmente claras cuando ocurren, o que deliberadamente se falsean, en resguardo de determinados intereses y evasión de responsabilidades.

En todos los casos, la actuación del ingeniero forense está sujeta a un compromiso irrenunciable con la verdad. La ética profesional constituye, junto con el conocimiento técnico y la experticia, columnas vertebrales, cuya ausencia comprometen la eficacia y confiabilidad de un dictamen.

Si bien el objeto de un fallo arbitral y de una condena judicial es una delimitación de responsabilidades y culpas, la función del ingeniero forense se limita a establecer hechos: cómo han sucedido determinadas secuencias inmediatas que derivaron en el siniestro y sus consecuencias; qué actividad ha desempeñado cada protagonista en esa secuencia; y, si se requiere, qué acción podría haber adoptado, dentro de límites razonables, para evitar el siniestro o, al menos, moderar sus efectos.

El análisis de ingeniería forense se limita a los hechos ocurridos en los escasos segundos que dura la colisión y su entorno. Las causalidades de largo plazo (antes del siniestro) y las consecuencias posteriores en el tiempo están fuera del espectro de análisis de la ingeniería forense y de cualquier investigación judicial y policial.

El ingeniero cuenta cómo sucedieron las cosas en el lapso de ocurrencia del siniestro, prescindiendo de calificar las conductas de las personas; ello excede el ámbito de sus conocimientos, sus capacidades y sus incumbencias.

LA INGENIERÍA FORENSE

En este subcapítulo se abordan los temas a los que recurre un ingeniero especializado para efectuar la investigación y reconstrucción de siniestros viales. Es una aplicación particular de la ingeniería forense; la investigación y reconstrucción de los siniestros viales es uno de sus capítulos; uno importante, el que mayor aplicación ha encontrado en la sociedad, y por su vastedad justifica dedicarle un tratamiento especial. Justifica también, de manera previa, un somero recorrido acerca de los temas en los que se implica la ingeniería forense en nuestros días.

Un autor americano afirma que: “La Ingeniería Forense es la aplicación de los principios de la ingeniería, conocimientos, recursos y metodologías para responder a situaciones de hecho con ramificaciones legales. Los ingenieros forenses son llamados en general para analizar siniestros viales, colapsos en edificios, incendios, explosiones, siniestros industriales y variadas catástrofes que ocasionan lesiones o pérdidas materiales significativas. Fundamentalmente, el trabajo de un ingeniero forense es responder a la pregunta: ¿qué causó este hecho?” (Randall K. Noon – *Forensic Engineering Investigation* - CRCPress, 1st. edition, ISBN 0-8493-0911-5).

Alcances y aplicaciones de la ingeniería en el ámbito forense

Se emplean procedimientos de ingeniería forense en la investigación de homicidios, sobre todo los producidos bajo condiciones confusas. Dos físicos del Instituto Balseiro de Bariloche desarrollaron un método original para determinar el origen de los disparos que terminaron con la vida de Teresa Rodríguez, en la ciudad patagónica de Cutral-Có en 1996.¹

¹ Una versión completa de la investigación puede verse en la Revista *Ciencia Hoy*, Junio-Julio 2001 (ESTUDIO ACUSTICO DE UN HOMICIDIO..) y en idioma inglés, en el *Journal of FORENSIC SCIENCES* Vol 47, Nr 6, November 2002 - GUNSHOT LOCATION TROUGH RECORDED SOUND: A PRELIMINARY REPORT.

El hecho ocurrió en medio de la intervención represiva de fuerzas policiales a una manifestación. Disparos salidos de un grupo policial —once en 16 segundos— ocasionaron, por rebote previo, que el proyectil sin vaina se introdujera en el cuello de la víctima. El hecho fue filmado por un canal local con una cámara de muy baja calidad, y en el tumulto, la grabación proporcionaba imagen y audio, de los que no se podía precisar el origen cierto del disparo fatal.

El método desarrollado por los doctores Martínez y Pregliasco parte del hecho de que la velocidad del sonido en el aire es constante. Un micrófono graba una detonación producida a una determinada distancia d , y sucesivos rebotes de la onda sonora en cuerpos opacos, ubicados a distancias d_1 y d_2 , llegan al micrófono con un retardo proporcional a las diferencias entre d_1 y d_2 y d . Además, la intensidad de la onda del eco es menor, por efecto del rozamiento.

Los investigadores demostraron teóricamente, y reprodujeron experimentalmente en el lugar de los hechos, las relaciones matemáticas y geométricas entre la posición del punto de disparo, la posición de los cuerpos opacos y la posición del camarógrafo, que portaba el micrófono incorporado a la cámara de video. De esta manera, tuvieron una representación del audiograma tomado en el lugar del hecho, y extendieron esta información a la ubicación geométrica del origen del disparo anterior a la caída de la víctima en la imagen. Más aún, encontraron que tres disparos sucesivos se correspondían a posiciones desplazadas, compatibles con la velocidad de los policías. Así, se pudo identificar al autor de tres disparos en los instantes previos y posteriores al que la víctima fue alcanzada por el proyectil mortal.

Análisis de explosiones

La ingeniería forense se aplica en la investigación de explosiones accidentales y provocadas. El principio es sencillo: un cuerpo que explota por efecto de una presión interior esparce los restos de la carcasa y los elementos de su entorno inmediato y mediato en direcciones determinadas. Las trayectorias resultan siempre concurrentes al origen de la explosión, y a una distancia proporcional a la presión desarrollada por la onda expansiva, las diferencias de nivel entre el punto de partida, y la eventual interposición de otros cuerpos sólidos.

La trayectoria recorrida por cada elemento responde a leyes físicas simples, concretas y unívocas. En la medida en que una colecta prolija de rastros de la explosión ubique el punto donde fue hallado (reposito) un determinado cuerpo, su masa y el punto de ubicación original (origen), se puede determinar con bastante precisión la presión existente en el origen.

Una explosión produce una gran cantidad de elementos dispersos en múltiples direcciones. Con solo identificar una muestra representativa de todos los rastros, es posible deducir el centro de la explosión, la progresión de la onda expansiva y establecer hipótesis serias acerca del explosivo empleado, su cantidad, etc. Estas determinaciones pueden reforzar investigaciones químicas sobre los restos, que concurran a confirmar y consolidar hipótesis.

En el trabajo *Análisis Forense de explosiones a través de experimentos virtuales*, incluido en los Anales del II Seminario regional de Física Forense, Bariloche, noviembre de 2001, Rainald Löhner y otros desarrollaron la investigación y reconstrucción de la explosión de la embajada norteamericana en Nairobi en 1997. Utilizando programas de computadora obtuvieron imágenes progresivas de la onda de expansión.

El Análisis de Falla y su representación en la investigación de las causas de la explosión del trasbordador Columbia en febrero de 2005, fue empleado por la NASA. Así, se demostró por análisis de sucesivas secuencias de falla, y se verificó con experimentos especiales, que el desprendimiento de una protección menor en la vinculación del trasbordador a los motores de empuje en la partida, y el impacto contra una teja cerámica del recubrimiento antifricción del ala izquierda, produjo la rotura de esta. En el retorno a la atmósfera, los gases calentados por la fricción ingresaron por el agujero producido en la teja, a la cámara donde se encontraba replegado el tren de aterrizaje, produciendo la explosión de por lo menos uno de los neumáticos, originando la cadena de fallos que concluyó en la destrucción de la nave.

En el año 1992, el dr. Mario A. J. Mariscotti desarrolló y puso en práctica en la Argentina una técnica de rayos gamma para el análisis de la cantidad y estado de los hierros en el interior de una estructura de hormigón armado. Esta metodología permite la inspección no destructiva de estructuras antiguas, en estado normal y de pre-colapso.

Estas aplicaciones de la ingeniería a diversas investigaciones forenses judiciales y no judiciales muestran la inexistencia de límites fijos para la aplicación, y multiplican los campos habituales de aplicación de la ingeniería en la investigación y reconstrucción de siniestros. Existen aplicaciones habituales a la investigación de problemáticas sociales y colectivas en general, como la agresión al medio ambiente y su secuela de intoxicaciones, enfermedades y malformaciones. Este tipo de hechos, analizados una vez ocurridos, demandan de equipos interdisciplinarios en los que la ingeniería un lugar significativo.

En las estafas y defraudaciones originadas en hechos físicos, relacionados con la calidad, funcionalidad, confiabilidad de estructuras de edificios, de máquinas y demás, en los cuales hay transacciones, los ingenieros no solo actúan como peritos, sino que existen instituciones de arbitraje especializado en los temas relacionados con las construcciones, las máquinas y los dispositivos que vinculan a la ingeniería como ciencia y técnica esencial para explicar el funcionamiento de las cosas.

En el marco del Derecho Civil y Comercial, las acciones civiles por reparación de daño material, derivadas de siniestros sin lesiones; daños materiales provocados por incendios, explosiones, colisiones, fallas de estructuras, fallas de máquinas, etc., recurren a un capítulo de la ingeniería: "Valuaciones y tasaciones". En algunas oportunidades, la disputa se limita a determinar el real valor del daño causado, lo que demanda estimar costos. Se agregan a este capítulo los temas relacionados con el cumplimiento de los aspectos no tangibles de los contratos; sobre todo, en los casos en que los compromisos están expresados en términos técnicos de alta complejidad, que no pueden ser resueltos por el simple entendimiento entre las partes.

En el marco del Derecho del Trabajo, se incluye todo lo concerniente a los accidentes y enfermedades laborales derivadas del uso de máquinas, dispositivos o instalaciones. Ejemplo de ello es la sordera producida por exceso de ruido y los problemas de columna por esfuerzos determinados, etc.

Y, finalmente, las aplicaciones específicas al Derecho del Tránsito. Se trata del área más conocida por la ingeniería forense. El automóvil y los demás medios de transporte constituyen las máquinas más numerosas de la sociedad actual y, consecuentemente, las que mayor cantidad de situaciones de conflicto y de siniestros con daños a personas y/o materiales generan.

En la perspectiva del Derecho de Tránsito, se incluyen por supuesto los siniestros viales con choques, atropellos de peatones o ciclistas, lesiones a pasajeros, etc.; los siniestros ferroviarios, en los que adquiere importancia el análisis de fallas en los sistemas de señalización y alarma y otros siniestros, como las fallas en ascensores, colisiones y caídas de estructuras fijas de árboles, e instalaciones de uso público en general.

SINIESTRALIDAD VIAL E INGENIERÍA FORENSE

El automotor en la sociedad moderna es la máquina más difundida, la que establece la relación más estrecha y frecuente con el hombre. Le sirve de medio de transporte, comparte con él calles y carreteras y ocupa espacios significativos de la economía doméstica y social. Por la alta frecuencia de la relación automotor-hombre, es normal y natural que de la totalidad de casos conflictivos en cuya resolución participa la ingeniería forense, los siniestros viales sean los más frecuentes.

Existe un contexto particular: la calzada (urbana y carretera), el automotor y otros rodados autopropulsados y el ser humano, como objeto y como sujeto. En este contexto, se desarrollan dos problemáticas específicas, diferenciadas, con algunos puntos de contacto.

El primer conjunto de problemas está determinado por el esclarecimiento del hecho en sí mismo, como parte de un conflicto individual entre los protagonistas. Cada siniestro constituye un hecho único, difícilmente repetible. Y los rastros que él deja (y los que realmente quedan disponibles para la posterior investigación) constituyen un segundo conjunto singular de muy baja repetición. La superposición de ambos conjuntos determina que, desde el punto de vista de la investigación y reconstrucción, cada hecho sea único e irrepetible y demande ser investigado de manera particular, desarrollando las técnicas generales aplicadas de una manera específica.

Esta es la denominada microinvestigación; es lo que interesa a los damnificados, a las compañías de seguros, a las víctimas y sus deudos, y a los imputados *a priori* de responsabilidad en su producción. Los resultados de una microinvestigación interesan en los procesos de mediación, arbitraje y en los casos que serán resueltos judicialmente.

De los problemas de la microinvestigación, y de las contribuciones de la ingeniería a ella, se ocupan los siguientes subcapítulos.

LA ACCIDENTOLOGÍA VIAL

La creciente tasa de siniestros —los mal llamados accidentes— en el tránsito, en el ambiente laboral, en las construcciones urbanas, constituye la base de una legítima preocupación social que acredita las calificaciones de epidemia y pandemia, pese a que su origen y propagación nada tienen que ver con la biología.

Esta preocupación social acredita la investigación de las muchas y diversas causas en un marco científico interdisciplinario de los hechos tomados en conjunto, como fenómenos sociales procesados de manera estadística.

El enfoque sistemático y global de los fenómenos se tratan en una actividad interdisciplinaria: la accidentología vial. Su objeto es "... el estudio epidemiológico de los accidentes de la carretera; permite en particular la configuración de los choques más frecuentes, en término de gravedad de las lesiones, para los ocupantes de los vehículos accidentados; debe igualmente permitir cuantificar los riesgos ligados a los diferentes niveles de agresividad de los vehículos implicados en el choque" ("Enseignements tirés de l'accidentologie pour la définition de programmes de recherche expérimentaux" - M. C. Chevalier – Jornadas sobre L'agresivité des vehicules dans les accidents, Institute National de Recherche sur les Transports et Leur Sécurité, Actes N° 56, Arcueil, Francia - junio, 1997).

La accidentología vial tiene por finalidad la prevención y la atenuación de la tasa de siniestralidad. Las causas de la tasa creciente de siniestralidad obedecen de manera gravitante a cuestiones relacionadas con conductas sociales e individuales, que son objeto de tratamiento científico por parte de la psicología, la sociología, el derecho y las ramas científicas relacionadas con la administración pública.

El núcleo de la accidentología son las "ciencias blandas", con recurrencia auxiliar a herramientas y metodologías de la estadística. Para establecer alguna relación con la ingeniería forense, podría denominarse macroinvestigación, como contraposición entre el estudio global de un fenómeno social, que prescinde de las particularidades, y la reconstrucción analítica de cada uno de los hechos con independencia de los demás.

Esta contraposición permite iluminar dos cuestiones claves. La primera es que, como concurrencia multidisciplinaria, la accidentología vial no es una disciplina de la ingeniería. La segunda es el área de contactos entre la accidentología vial y la ingeniería en general, y la ingeniería forense en particular.

La ingeniería participa de las mejoras en la prevención de siniestros cuando tiende a corregir los defectos en el trazado carretero y urbano, a mejorar la señalización y la coordinación del tránsito, a estudiar el tipo de vehículos y sus accesorios, en relación con el ser humano. En todos estos casos, la ingeniería se expresa de manera diferenciada en sus distintas especialidades: ingeniería vial, ingeniería de tránsito y transporte, ingeniería mecánica, automotriz, ferroviaria, etc.

La ingeniería forense actúa en relación con la accidentología tal como lo describiera el catedrático español Juan José Alba López: "La microinvestigación de accidentes de tráfico, popularmente denominada reconstrucción de accidentes, permite extraer una serie

de conclusiones que no se ponen de manifiesto por medio de la macroinvestigación. Esta última ciencia está más dirigida a la asignación de recursos y realización de estudios epidemiológicos y sociológicos que a la averiguación de las causas concretas de los accidentes y sus interrelaciones” (*La trampa de la velocidad - Grupo de Seguridad Vial de la Universidad de Zaragoza - www.cps.unizar.es/gsv/cond.seg/tram_vel.htm*)

La ingeniería forense es una ciencia y, como tal, debe aplicar el método científico; es decir, el análisis basado en la evidencia. La reconstrucción de los hechos se inicia en el rastro, determina la evidencia, describe el fenómeno, lo cuantifica en un parámetro y genera un dictamen. Es el método científico bajo principios de finalidad predeterminada.

La evidencia es la relación estrecha entre el hecho y la secuencia de hechos. Lejos de la fotografía, la reconstrucción indaga sobre sucesos en un espacio tridimensional con la coordenada del tiempo, los hechos que sucedieron en un orden determinado, una secuencia de hechos. Esa secuencia de hechos le permitirá al examinador entender las relaciones de responsabilidad, negligencia o culpa, que diferencian a la víctima del victimario.

LA INVESTIGACIÓN. EL PROCESO DE FORMACIÓN DE LA EVIDENCIA

Investigar es ver lo que todo el mundo ha visto y atreverse a pensar lo que nadie ha pensado. Heisenberg

163

Toda reconstrucción analítica en ingeniería forense descansa en la amplitud y solidez de la evidencia. La evidencia en un sentido estricto es aquello que entiende qué es lo que puede haber sucedido físicamente, al observar lo que produjo aquello que realmente sucedió.

La evidencia constituye la cantidad, tipología y configuración de los hechos físicos que pueden ser rescatados y reconstruidos, del total de hechos que se sucedieron en el siniestro. Constituir la evidencia es el objeto de un proceso de investigación. De allí que la evidencia se conforma con una parte de los hechos ocurridos (los que pudieron ser rescatados y reconstruidos) y deja lagunas, aspectos que muy probablemente no podrán ser resueltos, vinculados con aquellos hechos que no dejaron rastros reconocibles o bien, que si los dejaron, esos rastros se perdieron por diversas circunstancias.

La construcción de la evidencia es un proceso subjetivo, originado en la colecta de rastros e indicios en la escena del siniestro y fuera de ella, vinculados con los protagonistas materiales del siniestro.

Es necesario diferenciar entre indicios, rastros y evidencia; cada uno de ellos conforma una etapa en el proceso de la investigación. Un indicio es una acción o señal relevada por hechos y elementos encontrados en la escena, por referencias dadas por testigos, por relevamientos realizados sobre los objetos y las personas protagonistas del hecho, incluso con posterioridad a la ocurrencia del mismo. Un indicio aporta una línea de búsqueda para investigar, para plantearse preguntas acerca de qué otras cosas deben buscarse en la escena y en los protagonistas.

Una mancha en el pavimento, una huella de neumático sobre la calzada, la deformación de una carrocería o manchas de pintura distinta sobre parte de ella; las lesiones en una persona y otros tantos elementos de juicio hallados en la escena del siniestro, y fuera de ella, constituyen rastros. Los rastros o vestigios son el producto del siniestro; es la impronta que la sucesión de hechos físicos ocurridos deja en el contexto donde ocurre y, como tal, dan cuenta de la ocurrencia con una gran definición de detalles.

La formación de un rastro obedece a lo que en las disciplinas de la criminalística se conoce con el principio de intercambio. Este principio, formulado en 1910 por Edmond Locard, se basa en que en la producción de cualquier hecho, los cuerpos en contacto transmiten parte de su materialidad al otro, recíprocamente. Así, el neumático, sometido a una abrasión anormal, dejará parte del caucho exterior sobre el pavimento, y en ese contacto quedará una impronta plana en parte de la banda de rodamiento. Las partes de carrocería, en contacto durante una colisión, dejarán en el otro cuerpo formas acordes a su estructura y rigidez, trazas de pintura y otros elementos de su propiedad, y recíprocamente, incorporará a su estructura parte de las formas y de la materia del cuerpo colisionado.

En ingeniería forense, y en el caso particular de la investigación de siniestros del tránsito, los métodos empleados son deductivos y experimentales, y están dirigidos a la modelación matemática del hecho físico. El caucho dejado por los neumáticos forma una huella, es decir una distribución específica y determinada, y esa distribución, la forma de la huella, puede ser interpretada como la consecuencia de un determinado tipo de movimiento.

164

El movimiento descrito por las huellas se corresponde con las relaciones físicas de los cuerpos en movimiento y con su entorno. La geometría de la huella proporciona una relación de la trayectoria del cuerpo y, además, remite a la relación entre neumáticos y pavimentos, donde ha tenido lugar otro fenómeno físico: la fricción. Esta tiene sus leyes y sus coeficientes técnicos, lo que permite expresar relaciones matemáticas que representan la magnitud de los parámetros referidos al espacio, el tiempo y la interacción (velocidades, aceleraciones, fuerzas y otros).

En resumen, construir la evidencia en ingeniería forense significa desarrollar metódicamente un proceso de interpretación, de análisis, eventualmente de experimentación, para corroborar hipótesis o determinar coeficientes de proporcionalidad y, en general, toda actividad subjetiva que involucra los conocimientos y experiencia del experto que realiza la interpretación. Se trata de ver lo que todo el mundo ha visto y atreverse a pensar en lo que nadie ha pensado sobre un determinado rastro.

Tipos de rastros

Para la investigación y reconstrucción de siniestros viales existen cuatro tipos de rastros relevantes. Ellos son:

- Rastros en los elementos inmuebles: son las huellas que dejan de las partes metálicas y de los neumáticos sobre el piso que determinan las posiciones y trayectorias de los vehículos. Elementos desprendidos de los vehículos (vidrios, plásticos y otros), manchas de sangre, prendas de vestir y calzado de las personas

involucradas, refieren a posibles puntos de impacto, y su disposición puede estar vinculada con la dirección de marcha, la aplicación de fuerzas, e incluso con las velocidades en el desencadenamiento de la colisión.

- Rastros en los elementos móviles: son básicamente roturas y deformación de los vehículos. Indican el contacto y, con él, las posiciones y desplazamientos relativos durante la colisión; parte de ellos son esenciales para estimar los órdenes de energía mecánica disipada en ella.

- Rastros biomecánicos: constituidos por el conjunto de las lesiones sufridas por las personas que viajaban en los vehículos, producto de los choques y colisiones de diferentes partes del cuerpo contra elementos rígidos del habitáculo; y también las lesiones sufridas por peatones, ciclistas y motociclistas atropellados.

- Imágenes de video obtenidas por cámaras de observación, de vigilancia, por testigos ocasionales con cámaras portátiles y teléfonos celulares.

Estos rastros se colectan en distintos lugares y a partir de distintas fuentes. Es importante que todos los involucrados en el esclarecimiento de los hechos tengan una clara noción de los distintos tipos de rastros que pueden aportar a la reconstrucción analítica del siniestro y de las fuentes en donde es posible obtenerlos. Para favorecer la búsqueda, hay que aportar lo que se posea como rastros o al menos como indicios para la búsqueda de rastros, exigir su tratamiento por parte del ingeniero forense.

Sin pretender agotarlas en una simple enunciación, las fuentes de rastros más frecuentes son las siguientes:

- La escena del siniestro: sin duda, el banco de datos más abundante y, a su vez, efímero.

- Los vehículos, que pueden ser examinados, incluso mucho tiempo después de ocurridos los hechos, en la medida en que han sido preservados convenientemente. En estas inspecciones, es posible medir las deformaciones y determinar la existencia de huellas de sangre, pelo y tejidos biológicos, restos de vestimentas y calzados dentro del habitáculo, así como en la carrocería en caso de atropello.

- Los registros de las actividades médicas en el lugar y posteriores al siniestro. Historias clínicas, partes quirúrgicas y autopsias proporcionan rastros biomecánicos con una confiabilidad y detalle que puede superar otras fuentes.

- Testimonios orales de testigos presenciales, desestructurados como relatos globales, y analizadas sus partes, como potenciales fuentes de rastros, o como confirmación de la consistencia de rastros relevados por otras vías.

- Registros de cámaras de video y teléfonos celulares

Una colecta deficiente de los rastros impone severas limitaciones a la investigación y reconstrucción, y empobrece los resultados potencialmente esperados de la ingeniería forense.

EN LA ESCENA DEL SINIESTRO

La recolección de rastros en la escena del siniestro, lo más inmediatamente próximo a su ocurrencia, es el acto fundante de la investigación de un hecho de tránsito. La correcta identificación y registro de la mayor cantidad de rastros posible abre la instancia de una reconstrucción razonablemente completa del hecho.

Identificar un rastro implica definirlo, establecer su forma, dimensiones y materiales constituyentes. Forma parte del proceso de identificación de los rastros, la ubicación espacial y temporal. Si se trata de una marca de neumáticos en el pavimento, un registro escrito que mencione “una huella de neumático continua, de longitud A que comienza en X y termina en las ruedas traseras del automóvil Y detenido en la posición Z...” dice mucho más que la simple longitud de la huella; está definiendo una secuencia en el espacio y su orden de ocurrencia (lo que sucedió antes y lo que ocurrió después). Esa secuencia es una parte trascendente del suceso.

Pero no basta con identificar y ubicar espacial y temporalmente los rastros; es imprescindible establecer una identidad inequívoca entre cada uno de los rastros relevados con los hechos investigados. Volviendo al ejemplo de las marcas del neumático, es imprescindible verificar que el ancho de la marca en el pavimento coincide con el de las ruedas que la originaron y cotejar el “dibujo” de la cubierta con las apariencias de las marcas en el pavimento. De lo contrario, no se puede establecer que esa huella ha sido generada por esa rueda perteneciente a ese vehículo. Lo mismo es aplicable a vidrios y plásticos esparcidos en el área de un choque de vehículos, trozos de género o calzado, manchas de sangre y restos biológicos que pudieran desprenderse de las heridas y pertenencias de las víctimas, en los casos de homicidio.

166

La segunda cuestión en la conformación del cuerpo de evidencia es el registro de los rastros relevados. El registro en uno o más modos indelebles es la única posibilidad de preservar los rastros en el futuro. Las huellas dejadas por los protagonistas del suceso tienen corta vida. Las maniobras de rescate de las víctimas, los desplazamientos para despejar la calzada de circulación, la acción de los agentes atmosféricos (viento, lluvia), la circulación de vehículos y personas en el lugar, y la actitud depredadora de las personas se conjugan para la rápida extinción de los rastros físicos.

Teniendo en cuenta los medios empleados, existen básicamente dos tipos de registro. El primero es el relato de las circunstancias, que en general se presenta como un informe escrito, en papel y/o en soporte magnético, elaborado por el responsable de la instrucción. El segundo de los medios es el registro gráfico, mediante técnicas de fotografía y filmografía, con cualquier tipo de tecnología.

El informe escrito incluye los dibujos, gráficos y croquis a escala realizados por el personal instructor en el lugar y perfeccionados en el gabinete, *a posteriori*; debe ser un relato minucioso, circunstanciado, objetivo e impersonal, que debe ser pensado y escrito para ser entendido mucho tiempo después, por personas que no estuvieron en el lugar de los hechos.

Un buen informe se complementa con tomas fotográficas y filmográficas. Las mismas deben ser obtenidas y presentadas siguiendo un determinado orden. Un criterio de

ordenamiento del informe y de las fotografías es desarrollar el relato de los hallazgos siguiendo las trayectorias de cada uno de los vehículos y el orden en que van apareciendo cada uno de los rastros, que muy probablemente coincidan con la secuencia temporal en que se fueron produciendo. Un segundo criterio de orden, tanto para el relato escrito como para las tomas gráficas, supone pasar progresivamente de los planos generales y las descripciones globales al inventario de daños específicos y fotografías de primer plano de los detalles.

El informe escrito es el núcleo central del registro; los dibujos y gráficos contribuyen a comprenderlo; las fotografías lo refuerzan y documentan. Y todos deben conformar un único cuerpo coherente, completo en sí mismo, y comprensible con una lectura atenta de los distintos registros.

Es comprensible que algunos rastros se pierdan, se alteren o contaminen en las maniobras propias de rescate y atención a las víctimas. En esas acciones, puede ser necesario mover vehículos, cortar algunas partes, y hasta emplear partes de los mismos en la atención de las personas damnificadas. Resulta igualmente justificable el deterioro de los rastros por la acción físico-química para extinguir focos de incendio y en general, todo el accionar propio de la emergencia.

La escena del siniestro es una escena de caos y presiones. A las prioridades de las víctimas, a las maniobras frenéticas de los bomberos para aplacar posibles focos de fuego, se suma una calzada interrumpida y una presión social por liberarla. Esta situación tiene una presencia predominante y ejerce una presión cualitativamente superior a los intereses de una colecta de rastros ordenada y prolija.

Dado que la escena del siniestro es un caos natural; de lo que se trata es de evitar la transferencia de ese “caos” a la investigación posterior. Para ello, es imprescindible que el personal de instrucción se encuentre preparado técnicamente, que posea experiencia en el desenvolvimiento en estas situaciones y que actúe con la suficiente entereza psíquica para aplicar el orden de prioridad que corresponde al orden de intereses en juego.

No es aceptable, comprensible ni justificable que para evitar la congestión del tránsito se pase de la segunda a la cuarta prioridad, dejando en un estanco pobre la colecta de rastros; no es aceptable aunque suceda frecuentemente. Esta negligencia atenta contra la calidad de la justicia, limitando la posibilidad de llegar a un esclarecimiento amplio, comprensible y contundente de los hechos.

A las capacidades necesarias para manejar la emergencia, el personal asignado a la instrucción debe tener una formación técnica que le proporcione los conocimientos y métodos para, en el momento pertinente, organizar una colecta de rastros prolija en el lugar y, luego, en la tranquilidad del gabinete, revisar, comprobar y organizar la información recolectada. Por supuesto que el personal de instrucción debe poseer recursos para desarrollar una reconstrucción primitiva y preliminar de los rastros.

El ingeniero forense no puede limitarse a recibir pasivamente los rastros colectados por el personal policial que intervino en el escenario, al momento de ocurrencia del siniestro. Se requiere de él una actitud proactiva para analizar críticamente la documentación

registrada, chequear su verosimilitud, analizar la compatibilidad y coherencia con otras fuentes de rastros. Y, sobre todo, realizar una revisión del escenario de los hechos.

Mucho tiempo después de ocurridos los hechos, es posible encontrar vestigios, indicios y rastros del siniestro, sobre todo si son buscados con especial detenimiento. El examen crítico de los rastros colectados por la instrucción policial pertenecen a una única sucesión; por lo tanto, deben producir determinados rastros. Algunos de ellos, los que no han sido colectados en el lugar del siniestro, pueden ser relevados mediante una búsqueda inteligente, guiada por la determinación preliminar de una secuencia posible.

RECOLECCIÓN DE RASTROS FUERA DE LA ESCENA

Una lectura del informe de instrucción en el lugar de los hechos orienta una segunda búsqueda inteligente de rastros en el escenario, así como la búsqueda de otros rastros, producidos por el siniestro bajo investigación, y que se hallan en otras fuentes.

Un relevamiento personal y detallado de los daños en rodados, aporta nuevos datos que perfecciona y completa la visión obtenida con las fotografías de la instrucción. Un ingeniero forense, con una primera hipótesis de ocurrencia de los hechos y libre de las presiones derivadas del caos del siniestro, puede realizar mediciones y observar detalles que optimizan el conocimiento de los efectos de la colisión.

168

Los daños a las personas se evidencian en el exterior de la carrocería; roturas de parabrisas, faros y otras son indicio de la posible posición del peatón o ciclista atropellado, de los puntos de contacto y de los movimientos relativos entre el automóvil y la persona. Los lesionados que viajaban en los vehículos, han dejado rastros de impactos contra zonas de distinta rigidez, restos de prendas de vestir, tejido biológico (piel, sangre, cabellos), que “hablan” de segundas colisiones relacionadas estrechamente con los choques exteriores y los movimientos previos y posteriores a los mismos.

Las historias clínicas y las autopsias de las víctimas son una fuente de rastros sólida y consistente de los hechos y sus efectos. Los informes médicos que documentan las lesiones de los tripulantes y de los atropellados, vistos desde la biomecánica, resultan de utilidad cuando se trata del cálculo de velocidades, aceleraciones y fuerzas aplicadas en el contexto general del siniestro.

EL TESTIMONIO ORAL COMO FUENTE DE INDICIOS Y DE RASTROS

Un testigo puede ser una fuente de indicios y rastros formadores de evidencia, irremplazable por otras investigaciones. La utilidad que pueda obtenerse de esta fuente de indicios y de rastros depende de la actitud y aptitud del investigador forense en procesar la información testimonial,² teniendo siempre en cuenta y estando alerta al hecho de que un testimonio puede aportar indicios que promuevan la búsqueda de nuevos rastros.

² No es función del ingeniero forense interrogar a los testigos. Las técnicas de interrogación conforman un arte y una ciencia en sí mismos, con base en la psicología y, por lo tanto, ajeno a las capacidades e incumbencias de un profesional de la ingeniería.

Existen lógicas prevenciones contra el empleo de declaraciones testimoniales como fuente de rastros que forman evidencia. Los testigos no son “expertos” y, en general, no exponen con claridad ideas y sucesos, confunden situaciones y momentos, etc. Para el caso de testigos presenciales, su percepción del hecho y/o su memoria está afectada por el *shock* propio de las vivencias del siniestro; en un sentido general, el testigo es un protagonista más del evento. Y, por último, la natural prevención sobre “falsos testigos”, “testigos preparados”, y otras artimañas frecuentes en los litigios judiciales.

Existen procedimientos sencillos y eficientes para prevenir estos aspectos no deseados. Por ello no debe perderse de vista que existen, por lo menos, tres motivos para tomar en cuenta los dichos de testigos. Estos son:

- Vieron hechos imposibles de registrar de otro modo; desecharlos implica renunciar a la evidencia que no es posible de generar de otro modo (circunstancias temporales, climáticas, posiciones de luz de los semáforos, etc).
- Expresan vivencias que, aun siendo inexactas, incompletas o mal relatadas, orientan la investigación pericial. Son fuentes de indicios originales, que ayudan al ingeniero a perfeccionar y a completar la colecta de rastros.
- Son muchos y repetitivos; como tal, pueden contrastarse entre sí y con otros rastros e indicios colectados de manera independiente.

Un testimonio puede proporcionar información que, aislada del contexto declarativo global, puede proporcionar datos concretos, difícil de obtener por otros medios: el clima, la iluminación del lugar, el funcionamiento de los elementos de regulación de tránsito (luces del semáforo), el estado de la calzada; es decir, las características específicas del lugar al momento del hecho, relacionadas con aspectos modificables del escenario.

Frente a las declaraciones de los testigos presenciales, como frente a cualquier informe, la función del ingeniero forense es analizar y valorar con sus propios criterios la validez y consistencia de los elementos de juicio aportados, desestructurar el relato global del testigo, descomponerlo en sus partes, descartar todos los elementos de valoración y opinión aportados por el testigo y quedarse con aquellos componentes que pueden ser indicios, fuentes de rastros, rastros nuevos en sí mismos o, al menos, confirman otros rastros, relevados por otras vías.

LA IMAGEN COMO RASTRO

Hoy en día, la gran cantidad de cámaras de filmación dispersas en el entorno urbano, cruces de avenidas, de autopistas, instalaciones privadas y otras, aportan imágenes de hechos ocurridos en la vía pública, entre los que se encuentran hechos de tránsito. Esta tendencia crece de manera exponencial en los últimos años y seguirá, a no dudarlo, en los próximos años. Las imágenes aportan una importante dosis de realismo, lo que resuelve una gran cantidad de incógnitas que suelen presentarse en el hecho y que, en la mayoría de los casos, quedan sin una resolución precisa.

Las cámaras poseen relojes digitales y otras indicaciones que pueden ser de gran ayuda en el análisis de reconstrucción. Las imágenes tomadas por cámaras, cualquiera sea su calidad y definición, pueden proporcionar rastros muy firmes en la medida en que la información se descomponga en sus partes constitutivas, tal como se hace con cualquier fuente de rastros. Un proceso de análisis sobre la imagen permitirá relacionar a los móviles con objetos fijos en distintos momentos.

Pero la imagen no es la “verdad” en términos estrictamente técnicos. En primer lugar, tiene restricciones de alcance; no siempre todo el suceso entra en el cuadro de la imagen. En segundo lugar, suelen presentar deformaciones de ángulo, de profundidad de campo, de definición, etc., debido a la distancia focal y otras aberraciones propias de la unidad óptica y del sistema de registro, limitadas a la escala de lo que filman y el punto de vista de la cámara.

En la medida en que el proceso de análisis de las imágenes de video se realice con rigurosidad y conocimiento de las técnicas adecuadas, hasta los videos generados con teléfonos celulares pueden emplearse en la medición de distancias con márgenes de error aceptable, para identificar rostros y placas patentes y, como se ha demostrado en repetidos casos, ser fuente sólida de datos para una estimación de velocidades de circulación con un reducido margen de error.

Las imágenes captadas por cámaras de video en el lugar y momento de los hechos resulta un insustituible aporte a la colecta de rastros. Como tal, la información decodificada y analizada puede y debe ser incorporada al proceso de formación de la evidencia.

170

LA CONSTRUCCIÓN DE LA EVIDENCIA

Para ver una cosa hay que comprenderla. El sillón presupone el cuerpo humano, sus articulaciones y partes; las tijeras, el acto de cortar. Borges - El Libro de Arena

La investigación en ingeniería forense está dirigida a obtener una representación de los hechos físicos que permita comprenderlos. Pasar de ver a comprender requiere producir y obtener —o bien aplicar— una expresión matemática del hecho físico observado.

En el próximo subcapítulo se desarrollan la reconstrucción y el concepto de modelo matemático del siniestro. En este apartado, se sintetiza el proceso deductivo que permite establecer las relaciones matemáticas representativas del hecho observado y su consolidación como evidencia.

Este proceso, como ya se ha dicho, es de naturaleza subjetiva. La evidencia es el producto de una interpretación, de una lectura inteligente y culta de los rastros observados. Todo hecho observado está asociado a un (o más) fenómeno físico concreto, estudiado en la ciencia y expresado en leyes desarrolladas teóricamente y comprobadas experimentalmente, o al menos por relaciones o regularidades verificadas empíricamente.

La investigación teórica tiene por origen observaciones del mundo exterior contrapuestas con preguntas formuladas en el mundo intelectual. La construcción teórica se debe apoyar en comprobaciones experimentales. Un modelo físico, correctamente verificado,

puede anticipar hechos similares o describir otros que no han sido específicamente experimentados. El modelado sirve en la medida en que se carece de la posibilidad de realizar un experimento que permita ver y explicar todo lo sucedido. La experimentación, la observación empírica, aporta una lectura concreta de imágenes parciales.

En el proceso de investigación se trata de encontrar en los rastros del suceso-siniestro, la expresión concreta del fenómeno físico. Este objetivo se alcanza cuando se puede expresar la relación entre el rastro individualizado y el hecho que lo originó, con una expresión de lógica matemática.

La conformación de la evidencia, como construcción subjetiva, es posible de contener y producir errores: errores matemáticos, como imprecisión de los resultados, y errores de concepción. Es necesario establecer el grado de consistencia de la evidencia construida.

La solidez de la evidencia se pone de manifiesto al explicar y por lo menos no contradecir a todos y cada uno los hechos conectados físicamente en el siniestro. La técnica de análisis de consistencia tiene que ver con el profesionalismo puesto de manifiesto en la colecta de rastros, en su análisis, y en la conformación y registro de la evidencia.

LA RECONSTRUCCIÓN

Como se ha visto modelar desde el punto de vista físico-matemático, significa dar sentido a la observación de un fenómeno físico en términos cuantificables. En la presente sección, se avanza en el análisis de la construcción de un modelo general, específico e integrado por la totalidad de la evidencia.

Una reconstrucción analítica es una verdad construida a partir de la evidencia recabada en la etapa de investigación, que devuelve la imagen de un suceso-construido. Este se diferencia del suceso-siniestro, lo que realmente sucedió, y que resulta desconocido.

El modelo matemático del siniestro o, brevemente, el modelo del siniestro, es el paso esencial para realizar la reconstrucción analítica y la consolidación de la evidencia desperdigada en un cuerpo coherente. Se trata del agrupamiento de todos los hechos físicos deducidos y cuantificados en un único cuerpo funcional, que procesado con métodos y técnicas adecuadas, puede devolver un suceso construido, asimilable al suceso siniestro por la identidad de efectos (rastros) producidos por el hecho y rescatados en la investigación.

EL MODELO DEL SINIESTRO

Cada suceso-objeto de una investigación en el ámbito forense —incluso, un simple choque callejero— es una sucesión de hechos físicos determinados y concretos. Estos hechos han producido efectos también determinados y concretos, y algunos de ellos han dejado rastros; algunos de esos rastros han sido relevados, registrados y analizados hasta lograr una relación matemática por cada uno de ellos. Estos fenómenos, a su vez, tienen en común el ser parte de un único y particular suceso.

El conjunto de expresiones matemáticas halladas compone el modelo matemático del siniestro, un modelo matemático³ que explica ese hecho, permite relacionarlo con otros hechos contemporáneos al mismo, integrando cada hecho físico con el suceso investigado.

El modelo está constituido por un número m de ecuaciones, que contienen n incógnitas. Es posible que haya más ecuaciones que incógnitas ($m > n$), o bien que el número de ambas coincida ($m = n$). En ese caso, el sistema puede resolverse de manera precisa y el modelo se dice que es determinado.

En el caso más frecuente, en que $m < n$, el sistema no tiene una solución matemática precisa, y el modelo desde el punto de vista estrictamente matemático, resulta indeterminado, en un grado igual a la diferencia que $m - n$. Modelos indeterminados de primer grado ($m - n = 1$) pueden expresarse como funciones, haciendo a una de las incógnitas variable dentro de un determinado rango. Si el modelo tuviera dos grados de indeterminación ($m - n = 2$), podría analizarse la conveniencia de procesarlo como un sistema de funciones de dos variables, o bien intentarse otras alternativas de análisis.

No existe un método único e infalible. Cada siniestro tiene sus particularidades en la forma de producción, que cruza con las peculiaridades de los rastros que se han podido recoger, y la disponibilidad de modelos teóricos de referencia que permitan consistir evidencia. Cada hecho, con sus registros de rastros e indicios, provee elementos que hacen más aplicable un camino de resolución que otro.

172

La ingeniería es una ciencia de finalidad y, dentro de ella, la ingeniería forense tiene como objetivo ineludible arribar a la más completa reconstrucción analítica de los hechos que sea posible. La creatividad del ingeniero forense es el límite de la metodología específica más aconsejable.

La representación del siniestro como hecho único e irrepetible demanda la integración de las distintas expresiones matemáticas, representativas de cada hecho físico, en un único y específico modelo matemático del siniestro. Disponer de él permite analizarlo —descomponerlo en partes que representan distintos hechos físicos conocidos—, asociar esas partes mediante nuevas relaciones matemáticas que expresan el contacto de los “extremos” de cada fenómeno, entre uno y otro hecho. Y finalmente pensar como Sherlock Holmes: “Cuando ha eliminado lo imposible, lo que queda, aunque improbable, debe ser la verdad”.⁴

³ “El concepto de “modelo” en rigor es muy diferente para un ingeniero, un físico o un matemático, pero esencialmente puede formularse como una representación de la realidad mediante sistemas de ecuaciones. Si introducimos la variable tiempo, tendremos un modelo dinámico con el que representar, en lo que aquí nos ocupa, los sujetos, los objetos y la dinámica con la que se reconstruye cualquier siniestro”. M. A. Gallardo Ortiz - Una teoría (muy) general para la reconstrucción de siniestros.

⁴ *When you have eliminated the impossible, whatever remains, however improbable, must be the truth - Arthut Conan Doyle - The sign of the four.*

CERTEZA Y PRECISIÓN

Hasta que uno no puede describir algo cuantitativamente no ha siquiera comenzado a entender algo del fenómeno - Lord Kelvin

En ingeniería se trabaja con magnitudes. Todo elemento de análisis y toda conclusión tiene un núcleo central insustituible: una cantidad que se expresa en un número. En ingeniería forense, no hay excepciones a esta regla. Los adjetivos no pueden reemplazar a los números. No existen velocidades excesivas, ni aceleraciones imprudentes, ni frenadas interminables, ni ningún otro desliz literario que a menudo adorna los alegatos jurídicos y los testimonios interesados.

En el comienzo de una investigación, el método científico implica observar y medir, y ello acarrea indeterminaciones de diverso origen. Y en el otro extremo del proceso, el análisis debe concluir en un dictamen, que debe estar expresado en magnitudes, que serán indefectiblemente el resultado de estimaciones, incluso las que resultan de complicados modelos matemáticos de cálculo.

Dos son los atributos que definen una magnitud. El primero es la certeza (o también certidumbre); el segundo es la precisión. Un parámetro es correcto, si y solo si se tienen la absoluta seguridad de que el valor que lo define es cierto y se conoce cuán precisamente está determinado.

El más elemental rastro recogido debe ser medido en, por lo menos, un aspecto. Una huella de neumáticos tiene una longitud, un ancho (que debería coincidir con el del neumático presuntamente productor), una distancia a la otra huella paralela (que debería coincidir con la trocha del automóvil), etc. Un elemento desprendido de los cuerpos que han colisionado está ubicado a diversas distancias de otros elementos (fijos y móviles).

Para determinar esas distancias, existen ciertos problemas; la referencia exacta a la cual medir puede no estar correctamente definida (por ejemplo, dónde realmente empieza la huella, o a qué punto del elemento medir). Por otra parte, el elemento de medición (la cinta métrica, el goniómetro de la brújula) tiene un número finito de divisiones y el que mide debe limitarse a establecer dos valores próximos: uno por defecto y otro por exceso. La diferencia entre el valor máximo (el de exceso) y el mínimo (defecto) determina amplitud de dispersión o, bien, el rango de incertidumbre de la medición.

El objeto de toda técnica de medición y de estimación es alcanzar una incertidumbre acotada. Acotar la duda genera un ámbito de certidumbre y de seguridad; cualesquiera sean las hipótesis utilizadas, cualesquiera las fuentes de coeficientes recurridas, y con todas las indeterminaciones generadas por las lagunas en la construcción de la evidencia, los resultados estarán cierta y seguramente dentro del rango determinado.

En física y en ingeniería, el rango de incertidumbre se denomina error. El error es incertidumbre en forma de magnitud (número), y se puede expresar como la mitad del rango de incertidumbre o como porcentaje del valor nominal. El valor de rango de 80 a 100 km/h puede expresarse, entonces, de una manera científica como 90 ± 10 km/h o bien como un valor medio de 90 km/h con un error relativo porcentual del 10%.

Nuevas paradojas: lo aparentemente preciso (93,68 km/h) no es cierto; y lo aparentemente impreciso (90 ± 10 km/h) no solo es cierto; agrega el valor del rango de incertidumbre, imprecisión o error con que se ha estimado el valor. Esa diferencia permite diferenciar un dictamen científico de una expresión vulgar de la ignorancia. Decir lo que se ignora es, ante todo, una manifestación de sabiduría.

RECONSTRUCCIÓN Y SIMULACIÓN

Se ha visto que la reconstrucción analítica del hecho, es un procedimiento deductivo que recorre la secuencia del suceso-siniestro en el sentido inverso al tiempo. Se parte de los efectos causados por la sucesión de hechos físicos producidos a lo largo del siniestro (los rastros) y se va construyendo una nueva secuencia: el suceso-reconstruido.

No es esta la única forma de procesar la información. Se puede también experimentar —analíticamente, por cierto—, con ciertas hipótesis, en un modo interactivo de prueba y error, donde el error tiene doble significado: el general del lenguaje —equivocación, confusión conceptual—, y el sentido concreto de margen de indeterminación. El método es muy utilizado como se verá más adelante y en lenguaje de ingeniería se denomina simulación.

Se trata de comprobar que una determinada composición de circunstancias de tiempo, lugar, velocidades, aceleraciones, fuerzas y otros parámetros físicos aplicables a cuerpos colisionando, se producen los mismos efectos registrados en la evidencia, y solamente esos efectos: los rastros registrados, construidos en evidencia.

174

El proceso supone realizar hipótesis que conduzcan a una situación determinada (por ejemplo, un punto de impacto, velocidades de los móviles, etc.). Con esta suposición se calculan los desplazamientos posibles después de la colisión, se evalúan los daños que serían generados (por ejemplo, la energía mecánica disipada en trabajo de deformación) y otros fenómenos relacionados con la evidencia construida, y se comparan los resultados con los efectos (rastro-evidencia) realmente producidos.

En la medida en que los resultados obtenidos con una determinada hipótesis discrepan con los efectos reales del suceso, se modifican las variables, intentando aproximar los resultados a los rastros observados. Este proceso de ajuste se realiza en forma sucesiva hasta que las discrepancias entre los resultados del modelo simulado y los rastros alcanzan valores aceptables.

La simulación tiene también variables definidas en un determinado rango y, como tal, arrojan conjuntos de resultados, de los cuales unos pocos se ajustan a los criterios y límites del suceso-siniestro. Los resultados son entonces acotados a un margen de error, tal como en el caso de la reconstrucción. El proceso opera básicamente mediante una simulación numérica, que se explica más adelante.

La diferencia entre ambos procesos, reconstrucción anti-cronológica y simulación numérica, en la medida en que ambos se apliquen con rigurosidad científica, es meramente formal. En ambos existe una fuerte dependencia entre los resultados analíticos y la relación con el hecho real, con la evidencia; y esta debe igualmente ser construida sobre la base de rastros y de principios físicos y tecnológicos precisos.

Ambos procesos —reconstrucción y simulación—, requieren de procesos transparentes y trazables; ambos producen resultados con un determinado margen de incertidumbre que debe determinarse en la exposición de los resultados. Y por último, ambas formas de procesar modelos funcionales del siniestro pueden ser empleadas simultáneamente en una reconstrucción, como forma de verificación y/o apoyo mutuo de los procedimientos.

El procedimiento de simulación numérica es de gran aplicación con recursos de computación, lo que lleva a detenerse en el examen del uso indiscriminado de cierto *software*, mal llamado de reconstrucción. En realidad, los *software* ofrecidos en el mercado como de reconstrucción son, rigurosamente hablando, programas de simulación que articulan procesos interactivos de formulación de hipótesis y ajuste interactivo hasta arribar a un resultado con un determinado margen de error.

En la actualidad estos programas incluyen rutinas de configuración gráfica animada de los resultados; es decir, pueden devolver resultados numéricos e imagen animada de los mismos. El operador debe suministrar un conjunto de datos; otros son aportados por el programa desde una biblioteca interna y, generalmente, suministrar las condiciones de simulación (posiciones de los rodados, velocidades, coeficientes de fricción con el pavimento, etc).

Aun cuando la protección del secreto comercial induce a los autores a retacear información sobre los fundamentos y limitaciones de sus sistemas, la mayoría de los productores de *software* de simulación han presentado una base argumental de la plataforma de trabajo de sus sistemas, en publicaciones científicas presentadas en los encuentros académicos de la especialidad. Y estas publicaciones permiten obtener una muestra representativa de las limitaciones de los mismos.

La base de la programación de este *software* es la tipificación de los siniestros y ese es el punto más débil de los sistemas integrados: el universo de hechos de tránsito que resultan de interés en una reconstrucción es disperso, divergente, y por ende, no siempre puede ser tipificado en el nivel específico requerido de una reconstrucción.

El riesgo es máximo cuando interviene un operador no calificado en la reconstrucción de hechos de tránsito. Este se limita a ingresar los datos y valores que el programa requiere, con poca o nula comprensión de su naturaleza, fiabilidad y variabilidad. Tampoco tiene visión del proceso ni control sobre el *software* mientras procesa la información, lo que le restringe la posibilidad de generar apreciación crítica de los resultados, incluyendo la representación gráfica y animada de los mismos.

Así operado, el sistema resulta opaco. Un operador, sin formación en investigación de movimientos de dinámica compleja, está aislado de los procesos y los resultados intermedios. La única manera de auditar la validez de los resultados es cotejarlos con un modelo desarrollado manualmente, como se ha descrito en este subcapítulo.

Por ello, los sistemas integrados o enlatados, aplicados en un ambiente profesional especializado, donde sus características y limitaciones son conocidos, constituyen poderosas herramientas que ahorran trabajo y permiten emprender desarrollos originales e innovadores. En manos de personas inexpertas, alentadas por la facilidad de “obtener

el resultado con solo apretar unas pocas teclas”, los enlatados favorecen la generación del fraude tecnológico.

A medida que avanza el proceso y que se perfecciona la investigación con nuevos elementos aportados por la reconstrucción analítica, se generan más y mejores evidencias. La simulación de ciertos fenómenos aporta nuevos enfoques o precisión de enfoques existentes; las hipótesis se consolidan o se extinguen, y todo ello alimenta un modelo más rico y más complejo.

La complejidad disminuye la incertidumbre, de tal manera que, en un determinado momento, el ingeniero forense se encuentra en condiciones de decidir que la certeza es absoluta y la precisión adecuada. Entonces emite un dictamen.

LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

La última etapa del proceso de investigación y reconstrucción es la elaboración de un dictamen.

El dictamen forma parte de un proceso de comunicación en el que el ingeniero transmite las conclusiones obtenidas a las personas y entidades que han solicitado su intervención. Esta entidad puede ser un juez, una compañía de seguros o una institución social interesada en el esclarecimiento de determinados hechos.

176

Independientemente de la naturaleza del receptor, los resultados deben presentarse cumpliendo con los distintos requisitos característicos de un proceso de comunicación. En primer lugar, es primordial que sea entendible, que no dé lugar a dudas, que sea claro qué es lo que el investigador quiso decir, y qué lo que no quiso decir.

En segundo lugar, el dictamen debe abarcar, con el detalle que el investigador y el receptor acuerden necesario, todo el proceso de investigación: qué rastros se han encontrado, cómo fueron encontrados y cómo fueron analizados, por qué razón algunos fueron desechados y por qué se han buscado —y encontrado— otros, exponiendo las razones. En síntesis, una parte del informe debe dejar en claro cómo se ha ido construyendo la evidencia, cómo se arribó a la conclusión, qué rastro se correlaciona con determinado hecho físico, para todos y cada uno de los rastros consistidos en evidencia, y también para todos los rastros desechados.

El dictamen debe dejar constancia de cómo se han conformado las distintas ecuaciones y relaciones matemáticas que fueron incorporadas al modelo matemático del siniestro, estableciendo el alcance explicativo del mismo. Como se ha visto, una investigación de ingeniería forense está expuesta a chocar con sus límites, con las lagunas del suceso que quedan ocultas, ya sea debido a la contaminación o pérdida de ciertos rastros, sea debido a las dificultades para la consideración de alguno de ellos. El dictamen debe dejar tan en claro lo que se demuestra con el mismo, así como lo que no puede demostrarse en el modelo matemático construido. Estas son las dos caras del resultado de una investigación y reconstrucción de ingeniería forense.

Y luego de explicar desde dónde se partió, qué se consideró, qué se descartó deliberadamente y por qué razón, en síntesis, cómo se trabajó, se deben expresar las conclusiones alcanzadas. Y al explicar esas conclusiones, expresarse de manera concluyente en magnitudes numéricas.

Es parte de la buena práctica de la ingeniería expresar todas las magnitudes con su margen de error o incertidumbre. Esta práctica es esencial en el ámbito forense y la forma consistente es expresar que la velocidad a la que circulaba determinado vehículo en el momento del impacto estaba en el rango entre 60 y 80 km/h. Esta manera de expresar los resultados muestra las dos caras de las conclusiones. Por un lado, establece que las investigaciones permiten establecer un rango posible de velocidad para un determinado vehículo: entre 60 y 80 km/h. Y a su vez, que la mejor precisión implica una incertidumbre, o bien que el error o indeterminación es del orden de 20 km/h (la diferencia entre 60 y 80 km/h).

Lo que debe evitar todo buen dictamen de ingeniería forense es expresarse mediante una acumulación de adjetivos. Frases como “el automóvil llevaba una velocidad excesiva” traiciona la investigación. Cualquier adjetivación conlleva una valoración, actitud ajena a la esencia de la ingeniería forense. Las conclusiones que, en lugar de expresarse en números y en sustantivos, apelan a expresiones ambiguas como velocidad excesiva, actitud imprudente, los calificativos de embistente y embestido o el establecimiento de grados de culpabilidad revelan incompetencia en el ejercicio de la ingeniería forense.

Estas expresiones deben ser evitadas por los autores y combatidas por los lectores. Un dictamen en que las conclusiones se expresen como adjetivos, como opiniones, como comentarios, como relatos carentes de sustantivos y números, es sin duda el producto de una investigación y reconstrucción débil de fundamentos.

El dictamen debe cumplir con un amplio criterio de trazabilidad,⁵ esto es, que en el dictamen estén incluidos todos los pasos del proceso de investigación y reconstrucción, con la suficiente información y detalle como para que cualquier experto pueda percibir de manera clara el trabajo desarrollado y evaluar y formular un juicio crítico del dictamen.

En definitiva, se trata de contar qué se hizo, qué se analizó y a qué conclusión se llegó; una de las formas de hacerlo es escribir un informe.

LENGUAJES DE COMUNICACIÓN

El informe escrito ha sido por excelencia el método histórico de comunicación entre los magistrados y los forenses de cualquier especialidad. El informe, para ser entendible por magistrados, letrados y funcionarios, tiene que ser redactado en un lenguaje coloquial y cotidiano.

En el proceso de investigación y reconstrucción de ingeniería forense se utiliza un lenguaje abstracto. La descripción e interpretación de los rastros se realiza en términos

⁵ El término inglés traceable en una de las acepciones utilizadas es rastreadable, atribuible a una secuencia determinada; derivada del sustantivo trace (rastros huella, pista, vestigio, señal, indicio, etc.), se emplea como atributo verificable en un proceso en toda su extensión.

técnicos, propios de los elementos que intervienen. Y a medida que se avanza en la formación de la evidencia y la modelación físico-matemática, el lenguaje se torna cada vez más abstracto.

El modelo matemático del siniestro es un relato abstracto por excelencia. Esta cualidad permite pensar y analizar, cuantificar y entender cada uno de los fenómenos. Procesando términos abstractos, el ingeniero forense llega a definir una secuencia de hechos físicamente compatible con todos los rastros. El lenguaje matemático es la clave que conduce a la descripción de los rastros a la comprensión de los hechos.

Pero un informe de ingeniería contado en términos matemáticos resulta ininteligible para todo aquel que no es un profesional técnico, es decir para quién no está habituado a los conceptos y términos de la física, la matemática y las ciencias técnicas en general.

Un informe técnico en general, así como un dictamen de ingeniería forense en particular, es un mensaje emitido por un profesional de las ciencias duras, para ser entendido y aplicado por otro profesional de las ciencias blandas (el derecho, la sociología, etc.). Entre ambas ramas de las ciencias, el lenguaje resulta una barrera que no debe subestimarse.

Es responsabilidad del ingeniero forense transferir el análisis desde un lenguaje técnico y abstracto a una descripción en palabras corrientes, de manera que el lector pueda comprender de qué forma se ha conformado la evidencia y cómo se la ha transformado en relaciones matemáticas que construyeron el modelo.

178

Transferir a texto escrito el análisis matemático que se expresa en ecuaciones e inequaciones, relatar cómo se ha conformado el modelo del hecho y cómo se ha hecho el tratamiento de análisis de error e incertidumbre, pueden ser cuestiones difíciles de explicar con palabras. El relato textual resulta en general insuficiente para expresar los sucesos complejos. La complejidad puede provenir de la intervención de múltiples protagonistas, de desplazamientos complejos (rotaciones, vuelcos, sucesión de colisiones), etc. En estos casos el lenguaje gráfico puede resolver exitosamente el problema.

Un lenguaje característico de la ingeniería es el dibujo. El dibujo es un organizador de los rastros colectados en el escenario del siniestro y puede ilustrar muchos aspectos de las conclusiones que se desea comunicar. Por ejemplo, explicar la posición relativa en que tomaron contacto dos automóviles en el inicio de una colisión, en lugar de un largo texto que diga el vehículo 1 contactó con el extremo izquierdo del frente en forma oblicua sobre el lateral derecho del vehículo 2, desplazándolo.. etc., etc.; un simple gráfico que represente esa forma de contacto soluciona el problema de manera eficiente.

El lenguaje gráfico puede ayudar no solo a comprender una fase del suceso cuyo eje es la colisión, sino la secuencia con que se desarrollaron los sucesos. Una sucesión de gráficos puede describir claramente aspectos dinámicos, necesarios de ser explicados en el dictamen de ingeniería forense.

Cuando hay fenómenos físicos complejos en juego, con desplazamientos de traslación y de rotación combinados; cuando es compleja la determinación de las fuerzas aplicadas, de las aceleraciones impelidas, de las velocidades de colisión y de post colisión,

y no existe un texto suficientemente resumido que lo pueda explicar razonablemente, un dibujo permite ahorrar palabras y asegura que el lector interpretará fielmente lo que el forense quiso decir. El lenguaje gráfico potencia la comunicación.

Lo dicho para el informe escrito es extensivo al informe presentado en forma oral, que, con el agregado del recurso al lenguaje gestual, amplía la capacidad de transmisión de la palabra. La combinación de texto y gráfico, con el aporte de la gestualización, genera una potencia de comunicación cualitativamente superior al informe escrito.

Esta potencialidad del informe oral es una razón más para abogar por la supresión de los procedimientos escritos en los procesos judiciales y de arbitraje, y su reemplazo progresivo por el debate con la presencia de los protagonistas, los testigos presenciales y los testimonios de los expertos en forma oral.

El uso de los recursos informáticos provee de otra forma potente de comunicación aplicada a la intelección de los complejos procesos de investigación y reconstrucción de siniestros con ingeniería forense. Ese recurso es la video animación o infografía forense.

LA ANIMACIÓN DEL HECHO CONSTRUIDO

Los hechos de tránsito más complejos implican el estudio simultáneo de los movimientos de varios vehículos, de sus ocupantes, de peatones, ciclistas y motociclistas. Esta complejidad se traslada a la reconstrucción de la secuencia y al proceso de comunicación al juez, al funcionario o al letrado. La simulación numérica o mecánica computacional, combinada con programas informáticos que manejan la producción de imagen en el monitor, permiten incluir un apoyo visual insustituible en estos casos.

La video animación realizada por computadora permite reproducir el movimiento de los vehículos en función del tiempo, basados en los resultados obtenidos a partir de la reconstrucción analítica realizada con el modelo matemático del siniestro. La secuencia del hecho, representada por imágenes sucesivas creadas en la computadora y ordenadas en el tiempo y pasadas a una velocidad de 24 a 30 imágenes (*frames*) por segundo, brinda sensación de movimiento, propia del cine y del video.

Las imágenes se pueden crear y representar en dos o en tres dimensiones (3D), y se les puede adicionar detalles de luminosidad, color, textura, etc., lo que mejora la sensación de realismo para el observador.

La animación tiene su origen en el cine de dibujos animados de principios del siglo XX. Hoy en día, la informática potencia el proceso de elaboración, permitiendo que dos imágenes secuenciales puedan modificarse para un determinado lapso de tiempo, disminuyendo la carga de trabajo necesario y optimizando el resultado obtenido.

Este proceso, conocido como renderizado, trabaja sobre cada imagen estática, proporcionándoles atributos de realidad, que luego son registradas en video. Existe *hardware* apropiado para la generación y tratamiento de imágenes de video animación. Los programas que trabajan sobre computadoras personales resultan eficientes y el *software* más comúnmente utilizado, como 3D-Studio y otros, está disponible en el mercado y es ampliamente aceptado por las comunidades científicas.

La video animación aporta a la visualización gráfica en el dictamen, con el agregado de la tercera dimensión y la variable del tiempo a la descripción del suceso, lo que permite establecer condiciones de realismo. La inclusión de fondos o recuadros marginales con fotografías del lugar del hecho, de los distintos vehículos y protagonistas, detalles relativos a lluvia o niebla, iluminación del lugar para analizar fenómenos de deslumbramiento y restricciones a la visibilidad, y en general de todo detalle, permite apreciar la correspondencia de las imágenes generadas con la realidad. Como práctica habitual se incorporan “velocímetros”, escalas y relojes, que permiten apreciar, durante la exhibición, los parámetros que relacionan a los distintos móviles y elementos, en cada instante del tiempo.

El aspecto más atractivo de la video animación, el que realmente potencia el uso forzoso de esta, es la ausencia de restricciones del punto de vista o de observación. La imagen puede focalizarse en distintos puntos fijos o móviles del escenario del hecho investigado. Resulta como si una cámara de video hubiera estado colocada en el interior del vehículo y reflejara el punto de vista del conductor, otra el de los testigos, o del peatón atropellado, o se pudiera visualizar la escena del hecho, mientras este ocurre, desde una vista aérea panorámica, como si fuera un pájaro. En estos casos, se debe verificar el empleo de una distancia focal adecuada, ya que en el caso que así no sea, por ampliación o reducción del ángulo de la toma, se puede distorsionar la visión de un determinado conductor.

Esta versatilidad otorga al ingeniero forense dos importantes recursos. El primero es la facilidad para explicar los fenómenos más complejos en términos simples y claros: una imagen vale mil palabras. Además brinda una herramienta adicional para verificar hipótesis y análisis, establecer las condiciones críticas de evitabilidad desde cada protagonista, los límites de apreciación de los testigos y otros detalles que enriquecen la investigación y la reconstrucción.

La video animación por computadora constituye un medio técnico ideal para explicar reconstrucciones complejas desde un punto de vista técnico, a una audiencia constituida por personas no técnicas. Es por ello que se aprecia una creciente utilización de esta técnica como apoyo a la reconstrucción analítica. Pero montada en esta virtud cabalga una creciente utilización no técnica —e incluso carente de ética—, del *software* de simulación de colisiones, desarrollada por personas sin formación adecuada, y con una evidente falta de transparencia, como ya se ha examinado.

Frente a esta dualidad es prudente recordar la gran manipulabilidad de las animaciones elaboradas, poniendo especial atención en el respaldo con que se presentan este tipo de pruebas. Quienes reciben los informes presentados exclusivamente en video animación deben asegurarse de que las imágenes y los movimientos estén basados en los resultados obtenidos a partir de la aplicación de principios físicos y matemáticos reconocidos, mediante análisis realizados por ingenieros forenses calificados para hacerlo.

EVITAR LAS CALIFICACIONES

El dictamen es el relato del hecho construido; refleja en el texto, en los gráficos y en las eventuales video animaciones, la profundidad, densidad, complejidad y transparencia del proceso de investigación y reconstrucción analítica. El dictamen debe estar elaborado, de manera que toda la investigación y reconstrucción del siniestro sea visible, reproducible y pueda ser objeto de sana crítica.

Una cualidad del dictamen de ingeniería es la carencia de todo tipo de calificación de la conducta de los protagonistas del hecho investigado. Definiciones como la culpa, el dolo, la inocencia o la negligencia son valoraciones de la actitud y conducta de las personas, sobre las que los ingenieros no tienen incumbencia.

La ingeniería no se funda en ciencias que indaguen sobre las motivaciones que llevan a las personas a hacer o dejar de hacer las cosas. La voluntad, la intencionalidad, la capacidad y el derecho de los hombres a realizar ciertos actos, y consecuentemente, la prohibición de hacer otros, corresponde al interior de los procesos psíquicos y al ámbito de las relaciones interpersonales, de las relaciones sociales.

Si con su accionar alguien privó a un semejante de ciertos derechos, le provocó un daño o le sustrajo un bien, corresponde a las convenciones que guían las relaciones de las personas en la sociedad, al ámbito del derecho, entender sobre el particular. No es materia ni incumbencia de la ingeniería y, por lo tanto, no puede ser parte de un dictamen de ingeniería forense.

La tentación a caer en simplismos en el dictamen es muy grande. Y mayor aun ante las dificultades de explicar un complejo proceso de análisis, como es la reconstrucción analítica de un siniestro. Combatir esa tentación es responsabilidad de las dos partes.

Los ingenieros forenses deben tener claros los límites de su profesión y, en el dictamen, excluir todo tema que implique un juicio de valor sobre las cuestiones sometidas al análisis. Y quienes encomiendan trabajos de investigación —jueces, letrados representando a las partes litigantes, empresas del seguro, organizaciones sociales y del Estado—, no deben requerir del ingeniero forense la emisión de opiniones, comentarios y calificaciones sobre los protagonistas y sus conductas. Preguntas del tipo “¿Quién tiene el derecho prioritario de paso?”, o bien “indique quién es el responsable de la producción del hecho”, son incitaciones al ingeniero a incurrir en mala *praxis* profesional.

El dictamen debe ser la descripción más clara, fundada e imparcial posible de los hechos que se revelan a partir de una determinada colecta de rastros. Debe expresar en un lenguaje sencillo, prescindiendo de tecnicismos, qué hipótesis han sido procesadas, cuáles son consistentes con la evidencia y cuáles han debido descartarse y, finalmente, qué conclusiones se desprenden del análisis. Asimismo, debe apoyarse en todos los recursos gráficos necesarios para su mejor entendimiento y, si la complejidad del hecho lo amerita, debe estar acompañado por una video animación que muestre todo el análisis realizado y sus conclusiones. Un relato del hecho construido de manera transparente, auditable y propicio a la sana crítica.

LAS CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

Como se ha visto, el proceso de reconstrucción de un siniestro es la construcción de un modelo matemático en el que está representada la mayor cantidad de hechos físicos producidos a lo largo del suceso-siniestro, incluyendo las relaciones entre ellos. De esta manera, puede afirmarse que lo que se denomina reconstrucción, lejos de revelar una verdad anterior, en el mejor de los casos, construirá una nueva verdad. El modelo matemático construido solo permite configurar un suceso construido, que tiene en común con el suceso-siniestro investigado, la propiedad de producir los mismos fenómenos, y generar los mismos efectos que fueron individualizados como rastros y aceptados como evidencia en la etapa de la investigación

Esta característica define un primer aspecto de la calidad de la reconstrucción analítica. Tendrá la posibilidad de alcanzar un alto grado de coincidencia con el suceso-siniestro, en la medida en que la cantidad de elementos de juicio relevados en la etapa de la investigación y la amplitud de estos puedan dar el perfil más amplio y permitan apreciar los hechos desde los más diversos puntos de vista.

La complejidad entre la realidad de los hechos (el suceso-siniestro) y el resultado de la investigación (el suceso construido) ha sido abordada como planteo teórico, como procedimiento secuencia. En esta sección, se hace un somero análisis de la concurrencia de distintas disciplinas científicas a los procesos de investigación y reconstrucción, así como a las metodologías más frecuentes empleadas en la elaboración y operación del modelo matemático del siniestro.

182

LAS CIENCIAS BÁSICAS Y LAS CIENCIAS TÉCNICAS

La columna vertebral de la ingeniería forense son las ciencias físico-matemáticas. Todo hecho de tránsito contiene una colisión como elemento central de su producción. La colisión es esencialmente un fenómeno físico, en el que coinciden el movimiento, la aplicación de las fuerzas y, como consecuencia de ellas, la alteración del movimiento (o del reposo) de los cuerpos en colisión y su deformación.

La cinemática y la dinámica forman parte de la mecánica teórica, capítulo de la física que estudia el movimiento a partir de las relaciones de fuerza, masa y aceleración, esta última como variación de la velocidad en magnitud y/o sentido.

Los cuerpos que intervienen en la colisión tienen características constitutivas derivadas de su estructura y de los materiales que las componen. Estas características son la elasticidad, la plasticidad y la rigidez. La mecánica del sólido es la disciplina teórica que estudia el comportamiento de los cuerpos sólidos y parcialmente rígidos, sometidos a la acción de fuerzas.

La mecánica del sólido analiza la correlación fuerza-deformación de la que deriva una clasificación del material (elástica, plástica, viscosa o frágil) y los límites y modos de ruptura de los materiales. Esta disciplina de la ingeniería es parte de la Ciencia de los Materiales, que, entre otras cosas, se ocupa de la interacción físico-química de los materiales entre sí y con el medio, por efecto de la acción agresiva de los agentes atmosféricos (temperatura, abrasión, erosión, corrosión, etc).

Otras disciplinas específicas, como la informática aplicada, la simulación numérica, la biomecánica, el análisis de fallas y, derivado de él, la estimación de vida útil residual de los equipos y estructuras, forman parte del universo de las ciencias técnicas, características de la ingeniería en todas sus especialidades.

La forma de construir un modelo, incluso el modelo del siniestro de tránsito, se lleva a cabo mediante la interpretación, descripción y magnificación de los fenómenos observados. Los fenómenos físicos se pueden describir, cuantificar y entender solo mediante representaciones intelectuales expresadas en el lenguaje matemático.

Las matemáticas integran distintas formas de lenguajes de representación aplicables al desarrollo de la física y de las ciencias técnicas en general. Se integran en ella el álgebra, la trigonometría, la geometría en sus ramas analítica y descriptiva (las leyes de la representación), el análisis matemático, el álgebra y el análisis vectorial, entre otras aplicaciones específicas para abordar el análisis de los problemas físicos y de ingeniería presentes en el suceso-siniestro. El dominio de todas ellas es una condición necesaria pero insuficiente para el ejercicio de la ingeniería forense aplicada a la investigación de los siniestros del tránsito.

Los automóviles, las vías de circulación y las señales en torno de ellas, el tránsito como sistema complejo y caótico, y el hombre en la colisión como objeto (cuerpo participante) y como sujeto (conductor de cuerpos participantes), determinan el campo de las ciencias específicas de la ingeniería forense en el análisis de los siniestros viales, una especialidad cuyo conocimiento, dominio y aplicación hacen al desarrollo consistente y eficaz en la reconstrucción analítica del siniestro.

Las ciencias técnicas en ingeniería forense

Supera la extensión de esta sección el mero abordaje descriptivo de las ciencias aplicadas a la investigación de los siniestros del tránsito. Cada una de ellas ha dado lugar a más de un libro denso y extenso, y en el transcurso del tiempo incorpora nuevos temas, nuevos enfoques, nuevas técnicas y recursos, que permiten un mayor conocimiento, tanto de las ciencias básicas como de las ciencias técnicas. Vaya entonces algo breve de la cuestión a modo de cierre.

Bajo la acción de movimientos anormales, bloqueos, deslizamiento lateral, etc., los neumáticos de los automotores dejan partículas de la cubierta exterior sobre el piso, conformando marcas (huellas) que describen no solo las trayectorias, sino que permiten estimar las fuerzas de interacción entre los neumáticos y el pavimento durante el lapso en que se produjeron dichas marcas.

La elaboración teórica, a partir de los principios de la fricción de las superficies, y la aplicación del principio de conservación del impulso y de la energía total en los sistemas aislados, permite desarrollar modelos relativamente simples que vinculan las masas, las longitudes y formas de las huellas, las características de los neumáticos y del pavimento, con la variación de velocidad de los cuerpos.

Por otra parte, una vasta lista de ensayos bajo condiciones controladas, la información aportada por los fabricantes de neumáticos y por las empresas de pavimentación,

conforman una batería de coeficientes y relaciones tecnológicas, algunas de base empírica, que constituyen un amplio y confiable conjunto de herramientas aplicables a la interpretación y modelación de las huellas dejadas en el pavimento por los protagonistas de un choque, antes y después de producido el mismo.

Los automóviles poseen propiedades derivadas de su propio diseño. Una de ellas es la estabilidad durante la marcha, para una gran variación de condiciones del terreno, situaciones atmosféricas y otras circunstancias. Para cada caso, existen condiciones de marcha y valores límite de los parámetros cinemáticos y dinámicos (velocidad, radio de giro, desaceleración con los frenos). Estos valores límites son establecidos en el propio diseño y verificados en ensayos tipo, normalizados, para vuelco por desplazamiento lateral y choque con cordones y taludes, derrapes en curvas cerradas e, incluso, fenómenos como el hidroplaneo se asocian a la acumulación de agua en la calzada y a velocidades de circulación por encima de determinados valores, para determinadas dimensiones y condiciones de los neumáticos. Todos los resultados de los ensayos están a pública disponibilidad en las comunicaciones científicas y en la bibliografía especializada, sobre todo la editada en idioma inglés.

Los neumáticos tienen una capacidad limitada a la hora de mantener la trayectoria del vehículo bajo la acción de fuerzas laterales. El fenómeno es conocido como deriva y tiene un valor límite en el ángulo de deriva. Este valor publicitado ampliamente por los fabricantes de neumáticos proporciona otra referencia precisa para analizar fenómenos de pérdida de estabilidad lateral en la marcha, que derivan en derrapes y trompos.

184

Los movimientos que determinan sucesivamente el derrape, trompo y/o vuelco de los automóviles dejan huellas, como todos los fenómenos físicos presentes en un siniestro. Estas huellas pueden interpretarse y asociarse con los fenómenos cuantificados en los ensayos, determinando de esa manera si se han superado o no los límites, o conformando modelos numéricos de los desplazamientos a partir de referencias típicas dadas en los ensayos mencionados. Las huellas en el pavimento asociadas a los movimientos y las huellas en el automotor en diversas partes de la carrocería, analizadas en conjunto, constituyen una fuente insustituible para el análisis exitoso de este tipo de siniestros.

La aplicación de los principios conservativos de la mecánica teórica a la interpretación de los fenómenos de deformación de los vehículos durante la colisión permite asociar cuantitativamente el trabajo mecánico necesario para producir la deformación, con la energía cinética perdida en el hecho. Una elaboración teórica y la realización sistemática de ensayos de impacto contra barrera (*crash test*), de acuerdo con las normas vigentes en los Estados Unidos y en Europa, suministra una fuente experimental útil y confiable para aplicar modelos específicos a este fenómeno en particular.

Los automóviles tienen características que determinan ciertas condiciones particulares, que generan situaciones de peligro insospechado, aun en movimientos normales. Un ejemplo de ello es el *overtracking*, un fenómeno que genera colisiones laterales imprevistas en la parte trasera de un vehículo que desarrolla una trayectoria curva. Este fenómeno se incrementa dramáticamente cuando mayor es la distancia entre ejes del vehículo.

La mecánica en las ciencias biológicas

Los seres humanos pueden ser considerados, desde el punto de vista de sujeto (cuerpo) que participa pasivamente de una colisión, como una construcción natural. Esta consideración es la que permite incorporar, mediante la biomecánica, el análisis de fuerzas, aceleraciones, tensiones y deformaciones en el movimiento del cuerpo humano (biocinemática y biodinámica), así como en la producción de lesiones en las estructuras del cuerpo.

A partir de ensayos realizados a lo largo de siglo y medio, se dispone de una información consistente para comprender la funcionalidad y los límites de resistencia y tolerancia de las estructuras, como la relación cráneo-cerebro, las articulaciones cuello-columna, hombro, codo y muñeca–mano, la capacidad restringida de deformación de la cadera y el complejo estructural rodilla-pierna – pie–tobillo, la resistencia de los huesos largos y los huesos planos a la aplicación de fuerzas de impacto e, incluso, establecer relaciones específicas de límite de esfuerzo.

De esta manera, las lesiones producidas en el atropello de un peatón adulto o de un niño, las partes del vehículo exteriores e interiores contactadas por partes del cuerpo humano en el impacto, permiten definir rangos de velocidades y aceleraciones vigentes durante la colisión, y realizar estimaciones cuantitativas y cualitativas de los mismos.

Queda, por último, referirse a fenómenos relacionados con la neurofisiología (la visión, la audición, la reacción neuromuscular), y la afectación funcional del alcohol y las drogas. Si bien no son materia de incumbencia de la ingeniería forense, proporcionan referencias, no siempre firmes y consistentes, que pueden ayudar a definir aspectos relacionados con la producción del siniestro, en especial de su contexto (aproximación, percepciones tempranas de ciertos hechos); en la medida en que sean utilizados de modo responsable y con criterio, pueden contribuir a corroborar conclusiones obtenidas por otras metodologías, o proporcionar indicios para ahondar en la investigación.

Es conveniente tener siempre presente que las consideraciones de los aspectos neurofisiológicos de los conductores y de los peatones involucrados en los siniestros abordan el análisis del hombre-protagonista como sujeto inteligente, dueño de su voluntad y responsable de sus actos. Este aspecto relaciona el análisis y sus conclusiones con aspectos de valoración de las conductas humanas, un campo de dictamen vedado expresamente a la ingeniería forense.

Epílogo

Nadie adquiere un título universitario por leer un libro, por bueno que este sea; por lo tanto, no sugerimos el reemplazo del estudio ordenado, metódico y paciente que demanda la profesión de ingeniería, por la lectura de este ensayo. Sin embargo, esta sección, dentro de este libro, puede ofrecer más de un centro de interés en personas de distintas profesiones y experiencias.

El ingeniero que se inicia en la práctica forense, e incluso el que hace tiempo está inmerso en la especialidad, hallará aspectos metodológicos, información sobre algunas

técnicas específicas y referencias bibliográficas, lenguajes de comunicación interdisciplinaria, y otros temas que seguramente le servirán de soporte para una reflexión superadora.

El técnico policial y judicial, abocado a las fases de investigación y colecta de rastros, podrá encontrar más de una razón que explique el porqué de su tarea y le sirva para mejorar el cómo hacerlo; quien conoce el objeto de su trabajo, tiene alicientes adicionales y una comprensión estimulante, que seguramente mejorará los resultados y la satisfacción personal.

Al juez, fiscal, funcionario judicial y abogado que representa a particulares, los desarrollos que presentamos le ayudarán a mejorar la comprensión del trabajo de los científicos en general, y de los ingenieros en particular, cuando son involucrados como auxiliares de la justicia.

El gerente de la compañía de seguros o el responsable de las políticas de seguridad de la empresa hallará también elementos de análisis y reflexión para desarrollar políticas de gestión eficientes, seleccionar y formar cuadros calificados, y aplicar metodologías apropiadas en la investigación de siniestros.

Y la sociedad en general, en particular aquella que es parte de la sociedad involucrada con los temas que se dirimen en estas páginas, podrá encontrar un punto de partida para una mejor calidad de justicia y equidad en la convivencia necesaria en el tránsito, sobre todo cuando algunos de los límites de esa convivencia se superponen sobre intereses contradictorios.

BIBLIOGRAFÍA



Academia de Tráfico de la Guardia Civil (2000). *Investigación de accidentes de tráfico.* Ministerio del Interior Madrid - Dirección General de Tráfico NIPO 128-00-102-5.

Alba J., Monclús J. y Iglesia A. (2001). *Accidentes de tráfico – Manual básico de investigación y reconstrucción.* Grupo de Seguridad Vial y Accidentes de Tráficos – Universidad de Zaragoza ISBN 84-95475-21-9 – Zaragoza. España.

Baker J. y Fricke L. (1970). *Manual de investigación de accidentes de tráfico.* Traducción de *Traffic Accident Investigator's. Manual for police* – Northwestern University, Evanston, Illinois, segunda edición 1964. Traducción de la Dirección Gral. de la Jefatura de Tráfico Ministerio del Interior. Madrid. España.

Bohan T. y Damask A. (2004). *Forensic accident investigation: Motor vehicles* - LEXIS Law Publishers, 1995-2004, ISBN 1-55834-254-0. Virginia. Estados Unidos.

Brach R. y Brach M. (2005). *Vehicle accident analysis and reconstruction methods* - SAE. International. ISBN 0-7680-0776-3 Edition.

Burke M. (2007). *Forensic medical investigation of motor vehicles incidents* - ISBN 0-8493-7859-1 CRC Press, 1st. edition.

Carper K. (1997). *Forensic engineering* - CRC Press, 2nd edition, ISBN 0-8493-7484-7.

Ching-Yao Chan (2000). *Fundamentals of crash sensing in automotive air bag systems* SAE. ISBN 0-7680-0499-3. Warrendale. Estados Unidos.

Jouvencel M. (2000). *Biocinemática del accidente de tráfico.* ISBN 84-7978-415-6 – M. R. Jouvencel. Editorial Diaz de Santos. Madrid. España.

Randall K. (2001). *Forensic engineering investigation* - CRCPress, 1st. edition, ISBN 0-8493-0911-5.

Van Kirk D. (2001). *Vehicular accident investigation and reconstruction* - CRC Press, ISBN 0-8493-2020-8.