

BIOCINEMÁTICA DEL ACCIDENTE DE TRÁFICO



M. R. JOUVENCEL

M. R. JOUVENCEL

Biocinemática del accidente de tráfico

Introducción al análisis cinemático de las lesiones por hechos de la circulación. Utilidad para la reconstrucción del accidente de tráfico en la determinación del nexo causal de lesiones y secuelas



This One



G4BX-LX4-L4LB

Reservados todos los derechos.

«No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.»

© M. R. Jouvencel 2000

Ediciones Díaz de Santos, S. A.
Juan Bravo, 3-A. 28006 Madrid
España

Internet: <http://www.diazdesantos.es>
E-Mail: ediciones@diazdesantos.es

ISBN: 84-7978-415-6
Depósito legal: M. 34.582-1999

Diseño de cubierta: Ángel Calvete
Fotocomposición: Fer. S. A.
Impresión: Edigrafos, S. A.
Encuadernación: Rústica-Hilo, S. L.

«¿Qué aprendiste hoy en la escuela, hijito mío?
¿Qué aprendiste hoy en la escuela, hijito mío?
Aprendí que nuestro gobierno debe ser fuerte,
que siempre tiene razón y que jamás se equivoca;
que no hay mejor persona que quienes nos mandan,
y que es por esto que los elegimos una y otra vez.
Esto es cuanto aprendí hoy en la escuela.
Esto es lo que en ella aprendí.»

Neil Postman y C. Weingarten
La enseñanza como actividad crítica

Índice de materias

1. INTRODUCCIÓN	1
2. EL ACCIDENTE DE TRÁFICO	5
Definición, elementos y conceptos afines	5
Clases de accidente	10
Causas	15
Mediatas	15
Inmediatas	16
Nociones de Accidentología	16
El choque	17
La gravedad del choque	17
La duración de choque	18
La biomecánica del choque	18
Choque frontal	18
Choque posterior	19
Choque lateral	19
Eyección	20
Vuelco	20
3. EL MOVIMIENTO: CONSIDERACIONES MECÁNICAS	23
Cinemática y biocinemática	23
Ejes y planos	24
Definiciones	26
Fundamentos de la teoría del choque	32
Velocidad y potencial lesivo	34
4. PATOGÉNESIS DE LA DEFORMACIÓN DEL BIOSISTEMA	39
Cuerpos rígidos y cuerpos deformables	39
Principios cinesiológicos del aparato locomotor	46

Principios cinesiología en relación con el sistema óseo	46
Leyes de la reconstrucción o de las transformaciones del tejido óseo	46
Ley de la elasticidad de Hooke	47
Leyes de presión	47
Principios cinesiología en relación con el sistema muscular	48
Principios cinesiología en relación con el sistema articular	50
Principios cinesiología en relación con la coordinación músculo-articular	50
Especial consideración de la cadena cinética abierta invertida en la producción de fracturas y otras lesiones	51
Aspectos del accidente de interés cinemático	53
Por el modo en que tuvo lugar el accidente	53
Fases del accidente	54
Pre-impacto	55
Impacto	70
Post-impacto	76
Mecanismo de producción de las lesiones	77
En general	77
Atención especial a los traumatismos cráneo-encefálicos	83
Criterios de gravedad de las lesiones causadas por accidente de automóvil	86
5. POSIBLES LESIONES EN ATENCIÓN A LAS CARACTERÍSTICAS CINEMÁTICAS DEL ACCIDENTE	93
Colisiones posteriores	93
Impacto lateral	94
Impacto rotativo	94
Colisiones frontales	95
Con carácter general: «lesiones producidas por el cinturón de seguridad»	95
«La víctima es dirigida hacia arriba y por encima del volante»	96
«La víctima se desplaza hacia abajo y por debajo del volante»	101
Lesiones cervicales	105
Lesiones por tracción del plexo braquial	110
6. LESIONES EN ATENCIÓN A LA REGIÓN ANATÓMICA INTERESADA EN EL ACCIDENTE	113
Lesiones en la región cefálica	113
Lesiones craneoencefálicas	114
Lesiones maxilofaciales	113
Lesiones en la columna vertebral	113
Lesiones en la columna cervical	113
Lesiones en la columna dorsolumbar	114
Lesiones toraco-abdominales	114

Lesiones torácicas	114
Lesiones abdominales	114
Lesiones en los miembros inferiores	114
Lesiones en pelvis	114
Lesiones de la articulación coxofemoral	114
Lesiones en el fémur	115
Lesiones en rodilla	115
Lesiones en la pierna y pie	115
Lesiones en los miembros superiores	115

7. TIPOLOGÍA LESIONAL DE LOS ACCIDENTES DE TRÁFICO EN LOS OCUPANTES SEGÚN EL TIPO DE VEHÍCULO IMPLICADO

Usuarios de vehículos ligeros	119
Lesiones en la cabeza	119
Lesiones en el cuello y columna dorsolumbar	120
Lesiones del tórax óseo y de las vísceras intratorácicas	120
Lesiones de la cadera y de las vísceras abdominales	121
Lesiones de los miembros inferiores	122
Usuarios de transportes ligeros	122
Lesiones en la cabeza	122
Lesiones de la columna vertebral	122
Lesiones torácicas	123
Lesiones de la cadera y del abdomen	123
Lesiones de los miembros inferiores	123
Usuarios de vehículos pesados	123
Lesiones en la cabeza	123
Lesiones del cuello y de la columna dorsolumbar	124
Lesiones torácicas	124
Lesiones en la cadera y del abdomen	124
Lesiones de los miembros inferiores	124
Usuarios de vehículos de dos ruedas sin motor	125
Lesiones en la cabeza	125
Lesiones en cuello y columna dorsolumbar	125
Lesiones en el tórax y vísceras endotorácicas	125
Lesiones de la cadera y de las vísceras abdominales	126
Lesiones de los miembros inferiores	126
Usuarios de vehículos de dos ruedas con motor de menos de 125 cm ³	126
Lesiones en la cabeza	126
Lesiones en el cuello y columna dorsolumbar	127
Lesiones en el tórax y vísceras torácicas	127
Lesiones de la cadera y de las vísceras abdominales	127
Lesiones de los miembros inferiores	128
Usuarios de vehículos de dos ruedas con motor superior a 125 cm ³	128
Lesiones en la cabeza	128

Lesiones del cuello y de la columna vertebral	129
Lesiones del tórax y de las vísceras endotorácicas	129
Lesiones de la cadera y de las vísceras abdominales	129
Lesiones de los miembros inferiores	130
8. VÍCTIMAS POR ATROPELLO	131
Concepto	131
Atropello completo. Sus fases	132
Atropello incompleto	138
Análisis del atropello por regiones anatómicas	140
Lesiones en la cabeza	140
Lesiones del cuello y de la columna vertebral	140
Lesiones del tórax y de las vísceras endotorácicas	141
Lesiones de la cadera y de las vísceras abdominales	141
Lesiones de las extremidades inferiores	141
Estudios cinemáticos experimentales	142
9. LOS ACCIDENTES DE CIRCULACIÓN EN LA INFANCIA	147
Punto de partida	147
Posición y postura del cuerpo del niño	148
Uso de los dispositivos de retención	148
Patrones lesionales	150
Lesiones cerebro-espinales	150
Lesiones torácicas	151
Lesiones abdominales	151
Traumatismos de las extremidades	151
Reflexión sobre el baremo de Ley 30/95	152
10. TRAUMATISMOS DE AUTOMÓVIL EN LA MUJER EMBARAZADA	155
Con carácter general	155
Patrones lesionales	156
Lesiones uterinas	156
<i>Abruptio placentae</i>	156
Fractura de la pelvis	156
Lesiones fetales	157
Lesiones por el cinturón de seguridad	157
11. BREVE CONSIDERACIÓN DEL ACCIDENTE DE TRÁFICO EN LAS PERSONAS DE EDAD AVANZADA	159
12. ASPECTOS PERICIALES	163
Recogida de datos	164
Desplazamientos y contactos	168
Reconstrucción de la patogénesis lesional	171
Orientación razonada	171

Ficha protocolaria	173
Discusión del nexo causal	173
Criterios generales de causalidad	173
El estado anterior	177
El problema de las secuelas tardías y su interpretación jurídica. Especial referencia a los TCE	178
Reconstrucción técnica de los accidentes de tráfico	180
La reconstrucción cinemática del accidente	180
Una teoría (muy) general para la reconstrucción de siniestros	186
Técnicas modernas de reconstrucción de accidentes	193
«Crashworthiness» y seguridad pasiva	208
Antecedentes	208
Concepto	213
Test de choques frontales	213
Elementos de evaluación de los vehículos	215
Criterios de evaluación de las lesiones	217
Cargas en las extremidades inferiores en choques frontales	218
Relación entre delta V y velocidades de impacto en choques frontales <i>offset</i>	223
Accidentes en automóviles equipados con <i>airbag</i>	224
Conclusiones periciales	230
13. PROPUESTA Y CONCLUSIONES PRÁCTICAS	247
Apéndice. Repercusión del proceso de frenado con cinturón de seguridad de banda cruzada única, y sus posibles efectos sobre el plexo braquial. Estudio dinámico en condiciones de campo de los efectos de la deceleración súbita sobre la región cervical, mediante técnicas biomédicas de análisis cuantitativo (EMGS y EGM)	253

Introducción

Lo que hasta el momento se denomina «Daño Corporal», junto a la labor pericial que arrastra, sin duda es un marco genérico que precisa llenarse de contenidos concretos, en respuesta a las exigencias del desarrollo de las distintas disciplinas que en él confluyen y de las mismas demandas sociales.

Entre las diversas contingencias que perfilan tal daño, los accidentes de tráfico constituyen un capítulo de enorme importancia, los cuales, a su vez, en su aspecto traumático, revisten especiales connotaciones, que marcan diferencias frente a los accidentes comunes. La violencia del impacto, la energía cinética liberada con ocasión del mismo, el influjo de los movimientos comunicados (por las acciones mecánicas de la frenada, y otros efectos de los fenómenos de aceleración y deceleración brusca), la existencia de múltiples puntos de contacto a raíz del traumatismo, con la generación de daños de diversa índole y distribución, etc. (sin olvidar tampoco las posibles lesiones sobreañadidas cuando las condiciones de evacuación del lesionado son dudosas o incorrectas), son sólo algunos de los aspectos a tener muy en cuenta en el análisis de la patogénesis lesional.

En atención a ese análisis, la geometría del movimiento (cinemática) aplicada a la biología humana (biocinemática) puede conocer múltiples proyecciones, y, entre otras, aprovecharse de su utilidad para un acercamiento y una mejor explicación de las causas, mecanismos y sus consecuencias traumáticas en las personas lesionadas por los hechos de la circulación, y asimismo para la investigación y reconstrucción de estos accidentes en lo que al biosistema interesa.

Sucede en ocasiones, la práctica así lo confirma, que ante un traumatismo la atención de los servicios médicos encargados de prestar los primeros cuidados se polariza en especial, a veces únicamente, hacia lo que parece más apremiante, pudiendo pasar desapercibidas o quedar enmascaradas otras lesio-

nes dado el cuadro principal, comprensible, por otra parte, cuando la perentoriedad de actuar supone una urgencia vital. En referencia a ello R. J. Wilder recuerda en su obra sobre politraumatismos, que en los lesionados graves jamás se logra de ordinario una evaluación preoperatoria completa con el diagnóstico definitivo. En concordancia con ello, Munuera¹ estima que a la recepción inicial de un politraumatizado los objetivos a cubrir son identificar y corregir inmediatamente las lesiones que amenacen la vida del lesionado y comenzar con los tratamientos que no deban esperar el diagnóstico completo o definitivo.

Mas, si por los motivos que sea, con posterioridad no se llega a ese diagnóstico completo, puede plantearse problemas en cuanto al establecimiento de las lesiones realmente habidas en el accidente y, entre otros, los ligados a la imputabilidad de una secuela que se manifiesta a medio plazo, o de una muerte que se demora en el tiempo.

De ahí que el conocimiento por parte del facultativo de las circunstancias del accidente de tráfico y, más aún, del estudio biocinemático (y patocinemático) referido al cuerpo de la víctima, puede ser de gran interés en un número nada despreciable de casos, en la manera que contribuya como elemento predictivo, de información, a veces hasta imprescindible, para un diagnóstico más certero de las verdaderas lesiones producidas en el impacto.

Este estudio de esas circunstancias, en lo que a la lesionología forense conviene, es muchas veces un elemento básico para la construcción del nexo causal, dado que entre los criterios habitualmente invocados al efecto, se debe traer a colación el mecanismo de producción del accidente, tanto que sea bastante como para explicar el daño o secuelas que pueden ser fuente de discusión. En algunos tratados de traumatología, ya clásicos, se describen lesiones típicas, bien conocidas por los médicos como directamente ligadas a los impactos automovilísticos. Así, a título de ejemplo, las lesiones cervicales por impacto posterior, síndrome del «latigazo cervical», lesiones del raquis lumbar por hiperflexión brusca (hernia de disco, afectación radicular por estiramiento del plexo), lesiones en los elementos de sujeción y sostén de la rodilla por mecanismo de torsión (rotura de meniscos, rotura de ligamentos colaterales –traumatismos en valgo que afectan al ligamento interno, traumatismo en varo que inciden en el ligamento externo–), lesiones en cadera y fémur, por golpe directo en la rodilla por intrusión del salpicadero del vehículo (con aparición incluso de procesos tardíos, como la necrosis aséptica de la cabeza del fémur), etc.

No obstante, en una considerable mayoría, la comprensión del alcance del mecanismo patogénico activado a raíz del accidente permanece oculto y, no pocas veces, también ocultas las consecuencias del mismo.

¹ Munuera L. et al. *Introducción a la traumatología y cirugía ortopédica. Parte III: Patología regional de las afecciones quirúrgicas del aparato locomotor*. Madrid, Editorial Interamericana-McGraw Hill, 1996.

La propia industria automovilística, en sus respectivos centros de investigación, conscientes del problema que representan los accidentes de tráfico, además de incidir muy directamente en la seguridad activa («la que normalmente se asocia con el mecanismo de traslación y frenos») ², han ido introduciendo mejoras progresivas en los vehículos, con una finalidad preventiva, directamente relacionada con la seguridad pasiva, en el intento de que se vean reducidas las consecuencias dañosas que provocan los accidentes de tráfico.

Así, supresión de elementos rígidos tanto en el exterior como en el interior del vehículo (espejos retrovisores fácilmente desprendibles en caso de accidente, y si son exteriores que se desplacen ante el empuje mínimo de un elemento externo; ópticas con «cristales» en plástico), dotación de amplias zonas almohadilladas que permiten una deformación progresiva de los materiales en caso de impacto contra el cuerpo humano (también volantes de tamaño más reducido y deformables), perfeccionamiento de los elementos de sujeción y protección del pasajero en caso de choque, componentes en la carrocería del automóvil de alto límite elástico que aumenta la seguridad pasiva del vehículo, y otros medios para intentar la máxima atenuación del impacto y disminuir su efecto traumatizante a las potenciales víctimas del accidente de tráfico. Más recientemente, una conocida casa sueca de fabricación de automóviles ha introducido un reposacabezas móvil, con el fin de evitar, al menos aminorar, las lesiones en las vértebras cervicales y estructuras en vecindad.

La aportación científica con el fin de que los daños personales sean lo más leve posible en los accidentes de tráfico es importante. Hace más de 25 años, la Asociación Japonesa de Fabricantes de Coches, preocupada por la seguridad de los transeúntes, llevó a cabo una serie de pruebas científicas con muñecos simulando personas, cuya imitación llegaba al extremo de que incluso cada muñeco estaba dotado de una especie de «sistema circulatorio». Realizada la experiencia, se examinaba en el departamento técnico a las «víctimas», y todo ello en busca de la posibilidad de diseñar un vehículo que provocase el menor daño posible en el momento del impacto, o que incluso evitase el accidente fatal ³. Estas y otras experiencias realizadas con diferentes tipos de *dummy* (maniqués para uso experimental) han servido para ir introduciendo mejoras progresivas en el campo que ahora sirve de comentario.

No obstante, tampoco hay que olvidar que los ingenios y medios que pretenden dar protección a los pasajeros de un vehículo pueden ser capaces de

² Zech G. *Mapfre Seguridad*, n.º 9, Madrid, 1983. (No obstante, el mismo autor aclara que el conjunto de medidas para evitar accidentes son mucho más amplias, interesando a diferentes partes y aspectos del vehículo: asientos anatómicos que faciliten la movilidad para la conducción, buena visibilidad de los instrumentos, campo visual adecuado, buena colocación de los limpiaparabrisas, luces, pintura del automóvil en la manera que contribuye a hacer más visible el vehículo, y otros elementos que hacen una lista interminable).

³ Hacia una máxima seguridad en la carretera, *Orbe Médico*, octubre 1970.

lesionar, lo que se está empezando a conocer, y cada vez mejor, a medida que pasa el tiempo y se acumulan las experiencias, lo cual, junto a la cuestión técnica de naturaleza lesiva, podrá igualmente plantear aspectos nada desdeñables en lo que interesa y atañe a la responsabilidad civil de los fabricantes de los vehículos, de los propios mecanismos de protección, o, en todo caso, de quien corresponda en cada caso en particular (pero que, insistiendo en ello, no deja de tener su atractivo jurídico).

Es interesante, pues, indagar y procurar que figure en la documentación clínica de estos traumatizados, de forma clara y precisa, las condiciones en que se produjo el accidente (escenario, tipo de accidente, vehículos implicados, ..., y, respecto a las lesiones personales, desplazamiento global de la víctima, desplazamientos segmentarios, posibles reacciones motóricas –posición de defensa, etc.–), siendo asimismo importante que se aporten cuantos datos puedan tener un valor ilustrativo con el fin de poder aproximarse a la reconstrucción del accidente. «Conocido el tipo de impacto, puede esto ayudar a descubrir las lesiones secundarias u ocultas» (B. O'Neill).

El accidente de tráfico

DEFINICIÓN, ELEMENTOS Y CONCEPTOS AFINES

De forma genérica, como accidente se entiende un suceso eventual que altera el orden regular de las cosas, esencialmente desgraciado; se presenta en forma violenta, súbita, por causa externa e involuntaria, produciendo daños en las personas o en las cosas.

Surge como resultado de algunos actos desajustados por parte de los individuos (por varias causas), pudiendo dar lugar a una lesión (Arbous).

También, con carácter general, el accidente de circulación se define como el producido en las vías públicas de las poblaciones y en las carreteras por los semovientes o los vehículos (carros, bicicletas, motocicletas y automóviles) que por ellas transitan.

Igualmente, el accidente de tráfico se ha descrito como «toda acción negativa consumada en la vía pública, interviniendo uno o varios vehículos, entre los que pueden producirse desde daños materiales a los vehículos u otros objetos o cosas, hasta heridas o la muerte de personas afectadas»¹.

¹ *Enciclopedia Universal Ilustrada Euro-Americana*, suplemento 1967-1968. Espasa-Calpe Editores, S. A., Madrid. Además, tal como se indica a lo largo de esta exposición, tiene interés consultar los siguientes suplementos de esta misma enciclopedia: sup. 1936-1939 (págs. 2352 y ss.); sup. 1967-1968 (págs. 1070 y ss., págs. 1333 y ss.); sup. 1969-1970 (págs. 88 y ss.); sup. 1971-1972 (págs. 1255 y ss., y págs. 1270 y ss.); sup. 1975-1976 (págs. 1461 y ss.). La principal bibliografía que se cita es la que sigue: Arias Paz M, *Manual de automóviles*, Madrid, 1963; López-Muñoz Goñi M, *Derecho y técnica de la circulación*, Madrid, 1964; Mossop, Carlson E, *El arte y la técnica de conducir*, Barcelona, 1967; Pérez-Agudo Coscolluela F, *La circulación y el coche de turismo*, Barcelona, 1970; Piret R, *Psicología del automovilista y seguridad vial*, Madrid, 1962; Radelat G, *Manual de la ingeniería de tránsito*, Buenos Aires, 1964; Stannard Backer JS, *Manual de investigación de accidentes de tráfico*, Madrid, 1970; Tumames R, *Introducción a la economía*, Madrid, 1967; Valdés A, *Ingeniería del tráfico*, Madrid, 1971. También, Boletines Informativos estadísticos de la Jefatura Central de Tráfico (Madrid). Código de Circulación, *Highway Capacity Manual*, del Highway

Ahora en particular, para el accidente de tráfico se puede tomar, en una perspectiva más analítica, la siguiente definición: *suceso eventual, producido como consecuencia o con ocasión del tráfico, en el que interviene al menos un vehículo gobernado, y como resultado del mismo se producen muertes, lesiones en las personas, y/o daños en las cosas*².

Del análisis de lo anterior, caben resaltar los aspectos siguientes:

a) «Suceso eventual», esto es, que no hay intencionalidad en su producción.

b) «Como consecuencia o con ocasión del tráfico», entendiéndose por tráfico la utilización de la vía pública por alguna unidad del mismo (unidad de tráfico); de esta forma para que se dé accidente de tráfico es necesario que esté implicada al menos una unidad de tráfico.

c) «En el que interviene al menos un vehículo gobernado», es decir, capaz de responder a una acción inteligente, obediente a una voluntad. (Quizá convenga decir un vehículo gobernable y por lo general gobernado. *N. del A.*)

d) «Cuyo resultado sea de muerte, lesión en la persona o daño en las cosas»; de esta forma no se considera accidente de tráfico cuando no hay daños o lesiones (lo que serían accidentes en «blanco», pero que en cualquier caso, si se presenta la ocasión, han de ser analizados).

Por su parte, López-Muñiz³ define y desarrolla el accidente de tráfico tal como sigue: «cualquier evento como resultado del cual el vehículo queda de manera anormal, dentro o fuera de la carretera, o produzca lesiones a las personas o daños a terceros».

A partir de aquí el autor hace el siguiente análisis:

a) «Cualquier evento», queriendo de esta forma comprender dentro del accidente todas las circunstancias posibles, tanto de origen mecánico, como ambientales, humanas o físicas.

b) «Como resultado del cual el vehículo queda de manera anormal dentro o fuera de la carretera»: la consecuencia del accidente es la anormalidad y la persistencia de la misma. En el supuesto de que esta anormalidad sea puramente transitoria, se dará lugar a una infracción o a un delito de tráfico, por incumplimiento de las normas reglamentarias o la constitución de un peligro para la seguridad vial, pero no podrá hablarse de accidente. Tal es el caso del despiste o derrape de un vehículo, que le hace salirse fuera de la carretera, pero sin causar daños de ninguna clase, y por sus propios medios, vuelve a regresar a la calzada y reanuda el viaje; igualmente las guiñadas del vehículo por efecto del

Research Board, Washington. *Manual de estudios de ingeniería de tránsito*, Asociación Mexicana de Cambios, México, 1971. Conferencia de las Naciones Unidas, New York, 1969. Informes preparados por los Grupos de Trabajo de la Recherche Routière de la O.C.D.E., París, 1972 y anteriores.

² *Investigación de los accidentes de tráfico*, pág. 38. Madrid, Academia de Tráfico de la Guardia Civil, 1988.

³ López-Muñiz Gofí M, *Accidentes de tráfico, problemática e investigación*. Madrid, Editorial COLEX, 1995.

sueño del conductor. Y, sin embargo, han de considerarse accidentes los vuelcos, aunque sean consecuencia de una avería y el automóvil quede dentro o fuera de la calzada.

c) «O produzca lesiones en las personas o daños en terceros»: siempre que se produzcan lesiones a las personas, aunque sean al propio conductor, ha de estimarse que existe accidente; el último requisito es que se produzcan daños a terceros, cualquiera que sea la entidad o naturaleza de estos daños. El autor de la definición hace hincapié en la conjunción «o», con lo que quiere decir que cuando existan lesiones en las personas o daños a terceros, no es preciso que el vehículo quede de manera anormal, pues entonces el accidente no se centra sobre él, sino sobre el elemento que sufre el siniestro y el accidente será suyo, siendo el vehículo solamente la causa.

A su vez, López-Muñiz trae a colación la orden de Presidencia del Gobierno de 13 de marzo de 1981, sobre estadística de accidentes de tráfico, que estima que cuando se produce un accidente de tráfico se dan las siguientes circunstancias:

1. Que se produzca en una vía abierta a la circulación pública o tenga en ella su origen.
2. Que a causa del accidente, una o varias personas resulten muertas o heridas, o se produzcan daños materiales.
3. Que al menos un vehículo en movimiento está implicado.

Y se considera *vehículo implicado* en un accidente si se dan también las siguientes circunstancias:

- a) Que el vehículo entre en colisión con otro u otros, ya estén en movimiento, parados o aparcados; con peatones, con animales o con algún obstáculo.
- b) Que sin entrar en colisión, las personas muertas o heridas sean el conductor y/o pasajeros del vehículo, o se hayan producido daños materiales.
- c) Que el comportamiento del conductor o de los pasajeros del vehículo se considere como uno de los elementos que han provocado el accidente.
- d) Que las condiciones atmosféricas o el estado de la carretera hayan hecho perder al conductor el dominio de su vehículo y que tal pérdida haya sido considerada como uno de los elementos que haya dado lugar al accidente.
- e) Que el estado del vehículo sea estimado como una de las causas que han producido el accidente.
- f) Que el vehículo esté parado, pero colocado en forma peligrosa y que su estacionamiento sea considerado como uno de los elementos causantes del accidente.
- g) Que el conductor o uno de los pasajeros del vehículo haya sido arrollado por otro en el momento en que subía o descendía de aquél (en este caso, los dos vehículos están implicados en el accidente). Sin embargo, si el conductor o el pasajero ha sido arrollado cuando se alejaba del que había descendido, solamente el vehículo que lo ha arrollado debe ser considerado como implicado en el accidente, y el conductor o el pasajero del primer vehículo será considerado en este caso como peatón.

Es fácil deducir que los *elementos del accidente de tráfico* son tres ⁴: la vía, el vehículo y la persona, pudiendo, a su vez, considerar:

– *La vía*. Tipo de trazado, clase de firme, características de la vía (carretera, autovía, autopista, etc.); señalización (que tanto si es deficiente como excesiva pueden llevar a cometer errores fatales).

– *El vehículo*. El cual ha de reunir condiciones de seguridad tanto activa como pasiva.

- La seguridad activa la componen los elementos que ejercen su función en tanto el vehículo está circulando y pueden ser manejados a voluntad por el conductor (así, dirección, frenos, alumbrado, espejo retrovisor, limpia-parabrisas, etc.).

- La seguridad pasiva es la que se desarrolla en el momento del accidente, y la componen elementos como el cinturón de seguridad, apoyacabezas, airbag, anclajes de asientos y cinturones, etc.

– *La persona*, que es el elemento principal y también sujeto –y objeto– de la seguridad que se trata. Cuando es el conductor, éste es el que debe evitar el accidente, teniendo un papel importante en tanto que se le pueda responsabilizar de «lo que pudo y no hizo».

En íntima relación con lo expuesto, por su interés, se anotan otras definiciones ⁵ aplicables en este terreno, y que sin duda se han de tomar en consideración en la génesis del accidente:

– *Accidente «liability» (factor humano)*. Los defectos psicofisiológicos y fisiológicos susceptibles de provocar un accidente aislado en cualquier individuo. Es la consecuencia del desorden en el ambiente que provoca el hombre.

– *Accidente «proneness»*. Idiosincrasia personal dentro del factor humano que incluye todos los factores que determinan la accidentabilidad. Es un estado de predisposición tanto que tal idiosincrasia es la que es capaz de provocar el desorden en el medio ambiente, iniciando la cadena causal que permite el accidente. Su tipicidad hay que buscarla en el individuo, que es el causante del desorden, cualquiera que sea el medio en que esté.

– *Actitud*. Es la disposición o preparación estabilizada; un estado de predisposición para cierta actividad.

– *Acto de inseguridad*. Es la violación de un proceso operativo, o de una conducta reglada, comúnmente aceptado como seguro, que puede provocar un accidente.

– *Ambiente*. Término que incluye todos los fenómenos físico-químicos, biológicos y sociales que actúan sobre el organismo desde fuera. El concepto es distinto de medio (ambiente social y físico en que se haya inmerso el organismo, la persona; comprende el organismo, la persona, y cuanto le rodea); tam-

⁴ Investigación de los accidentes de tráfico, o. c., págs. 16-26.

⁵ Herreras y Botet F, Ensayo de una terminología de la prevención. En: *Seguridad y prevención de los accidentes en la metalurgia*, Ministerio de Trabajo, Madrid, diciembre 1966: págs. 29 y ss.

bién es diferente de la circunstancia (condiciones concomitantes externas, que afectan al organismo, a la persona; se limita a un pequeño número de condiciones externas). El ambiente es el total de las condiciones externas.

– *Aptitud*. Es la capacidad o facultad potencial del individuo tal como la presenta y limita la constitución natural. La aptitud, más concretamente, es lo que puede hacerse con la educación y el desarrollo actuales. La capacidad es lo que puede realizarse en la fase actual. (La aptitud es una posibilidad, la capacidad, una realidad.)

– *Azar*. Es la probabilidad estadística de que sucedan ciertos acontecimientos imprevisibles en su situación en lugar y tiempo. Es el factor contingente de la secuencia del accidente, no necesariamente presente pero incidiendo en el complejo causal. Tiene una causalidad investigable en cada caso, pero sólo *a posteriori* del suceso; no es previsible.

– *Accidente fortuito*. Es aquel cuya secuencia es tan compleja y tan rara en la coincidencia en tiempo, espacio y persona, y de sus factores, que no es útil para la prevención, por ser estadísticamente irreplicable.

– *Causa y causalidad*. Conjunto de factores que dan lugar a un accidente, que puede analizarse, investigarse y serarse antes de que ocurra el accidente. En la relación causa-efecto, la causa es el fenómeno sin el cual otro fenómeno no se produce nunca. Concurso de circunstancias tal que este hecho se produce necesariamente, si aquel conjunto de circunstancias se realiza.

– *Compulsión*. Realización de un acto por sugestión de uno o varios individuos, siendo esta sugestión irresistible aunque contraria a la inclinación o voluntad del que realiza el acto; y compulsión interna (gesto nefasto de Raymond) es la ejecución de un acto a pesar de la intención consciente de evitarlo en el ejecutor.

– *Estado de predisposición*. Es todo comportamiento psicofisiológico que da lugar a que se comenten actos inseguros, provocando accidentes, durante un período de tiempo de mayor o menor duración por el que puede pasar cualquier sujeto en cualquier momento de su vida.

– *Peligro y riesgo*. Peligro es la inminencia del daño, es el riesgo actualizado como fenómeno real, lo que era posible y ha sido. Riesgo, en cambio, es la posibilidad de estar en una situación de peligro. Por tanto, el riesgo se presupone, mientras que el peligro es algo real.

Por otra parte, hay que considerar el concepto de *Accidentología* que significa «el estudio epidemiológico de los accidentes de la carretera; permite en particular conocer la configuración de los choques más frecuentes, en términos 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» (M. C. Chevalier) ⁶.

⁶ Chevalier, MC, *Enseignements tirés de l'accidentologie pour la définition de programmes de recherche expérimentaux*, dentro de las jornadas especializadas sobre *L'agressivité des véhicules dans les accidents* (bajo la organización de J. A. Bloch), Bron (Francia), del 20 de marzo de 1997. Publicación del Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS), Actes n.º 56, Arcueil (Francia), junio 1997.

CLASES DE ACCIDENTE

De forma breve y sencilla, los accidentes de tráfico pueden ser considerados en las siguientes formas ⁷:

1. *Colisiones*. Cuando el accidente se produce entre dos o más vehículos. Y según la trayectoria seguida por los vehículos intervinientes, las oclisiones se clasifican así:

1.1. *Topetazo*. Si lo hacen frontalmente, en la misma dirección y sentidos opuestos.

1.2. *Embestida*. Si la colisión es lateral, en direcciones perpendiculares.

1.3. *Alcance*. Cuando la colisión es trasera, en la misma dirección e igual sentido. Si el alcance es entre más de un vehículo, se llama colisión en cadena.

1.4. *Raspado*. Cuando la colisión es lateral, rozando las partes laterales del vehículo.

2. *Despistes*. Accidentes en lo que solamente interviene un vehículo. Entre ellos se pueden distinguir:

2.1. *Choques*. Contra la valla de defensa, árbol, poste, edificio, etc.

2.2. *Salida de la vía*. En terreno llano con colisión, o no, fuera de la calzada.

2.3. *Despeñamiento*. La salida de la vía va acompañada de una caída del vehículo por un desnivel.

2.4. *Vuelcos*. Cuando el vehículo pierde su estabilidad y queda en posición distinta a la normal.

3. *Atropello*. Toma de contacto más o menos violenta de un vehículo con un peatón, entendiendo como tal toda persona que no sea conductor ni pasajero de un vehículo. Dentro del concepto de peatón se incluye también: coche de niño, silla de inválido con ruedas sin motor, carro de mano, ciclista que acompaña a su bicicleta a su lado, persona reparando un vehículo y persona que circula en patines.

Una clasificación más amplia es la que sigue ⁸:

1. Por su situación:

1.1. Urbanos.

1.2. Interurbanos.

2. Por sus resultados:

2.1. Mortales.

2.2. Con heridos.

2.3. Con daños materiales.

⁷ Enciclopedia Universal Ilustrada Euro-Americana, Suplemento 1967-1968, o. c.

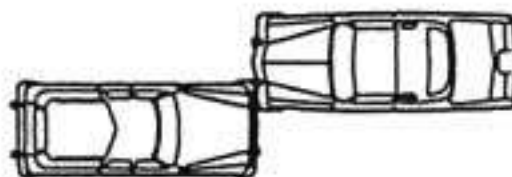
⁸ Investigación de los accidentes de tráfico, o. c., págs. 47 y 48.

1. *Frontales*

a) Central. Cuando coinciden aproximadamente los ejes longitudinales de los vehículos.



b) Excéntricas. Cuando los ejes longitudinales son paralelos pero no coincidentes.



2. *Angulares frontales*. Cuando los ejes longitudinales forman un ángulo inferior a 90°.

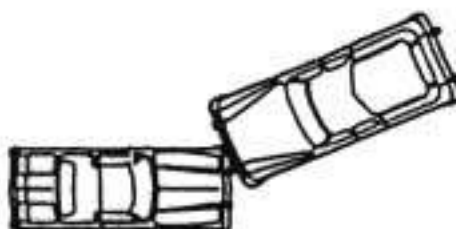
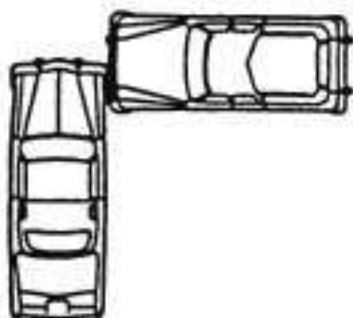


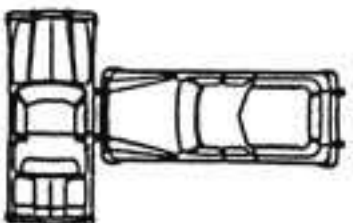
Figura 2.1. Investigación de los accidentes de tráfico. Academia de Tráfico de la Guardia Civil, o.c.

3. *Embestidas*. Cuando son colisiones laterales.

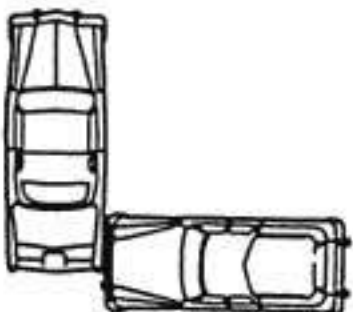
a) *Perpendiculares*. Cuando los ejes forman un ángulo de 90° . Se subdividen en: anteriores, centrales y posteriores.



ANTERIORES



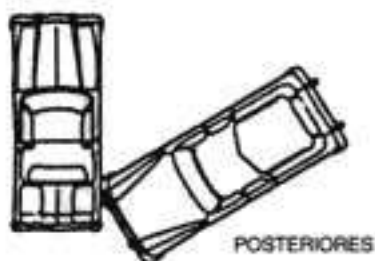
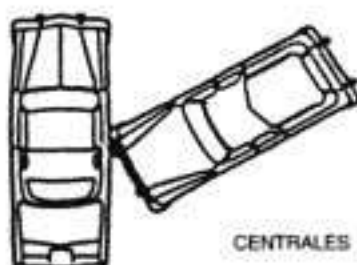
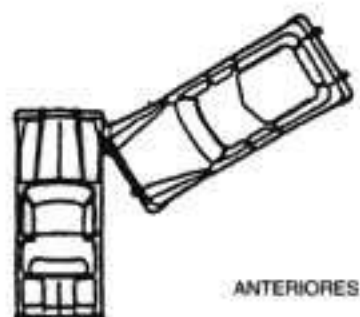
CENTRALES



POSTERIORES

Figura 2.1. (continuación).

b) *Oblicuas*. Cuando el ángulo que forman los ejes no es de 90° , a su vez pueden ser: anteriores, centrales y posteriores.



4. *Reflejas*. Son aquellas en las que se producen dos o más colisiones sucesivas entre sí.

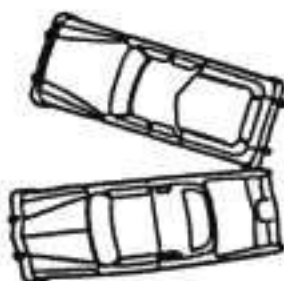


Figura 2.1. (continuación).

Alcance. Cuando dos o más vehículos entran en colisión de tal modo que la parte frontal de uno lo hace sobre la parte posterior del otro.



Raspado. Cuando se produce un roce entre los laterales de ambos vehículos. Puede ser positivo: cuando los dos vehículos circulan en sentido contrario, o negativo: si lo hacen en el mismo sentido.

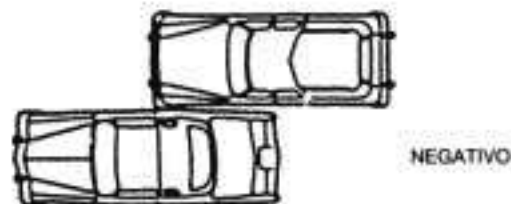
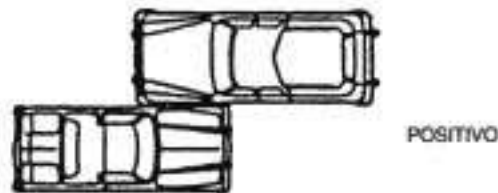


Figura 2.1. (continuación).

3. Por el número de vehículos implicados:
 - 3.1. Simples.
 - 3.2. Complejos.
4. Por el modo en que se producen:
 - 4.1. Choques (con elementos fijos).
 - 4.2. Colisiones (véase Fig. 2.1).
 - 4.2.1. Frontales.
 - Central (ejes long. coinciden aprox.).
 - Excéntrica (ejes long. paralelos).
 - Angular (ejes long. $< 90^\circ$).
 - 4.2.2. Embestida.
 - Perpendicular (ejes long. en ang. 90°).
 - Oblicua (ángulo distinto a 90° pudiendo ser, a su vez, anteriores, centrales o posteriores, y derechas o izquierdas).

- 4.2.3. Reflejas (en colisiones sucesivas).
- 4.3. Alcances.
- 4.4. Raspados.
 - Negativos: los vehículos circulan en el mismo sentido.
 - Positivos: los vehículos circulan en sentido contrario.
- 4.5. Salidas de la vía (total o parcial).
 - 4.5.1. Con vuelco (campana, tonel).
 - 4.5.2. Sin vuelco (salto, sin salto).
- 4.6. Atropello (a peatón, animal, bicicleta, motocicleta).
- 5. Accidentes de características especiales:
 - 5.1. Incendios.
 - 5.2. Exposiciones.
 - 5.3. Caída de usuarios a la calzada.
 - 5.4. Caída de vehículos a cauces de agua.
- 6. Otras clasificaciones:
 - 6.1. Por la hora del día: diurnos o nocturnos.
 - 6.2. Según el día: laborales, festivos, retornos, etc.
 - 6.3. Actividad: salida o entrada al trabajo.
 - 6.4. En atención a lo transportado: materias peligrosas, transporte escolar, etc.

CAUSAS ⁹

Como causa se entiende también «cualquier comportamiento, condición, acto o negligencia sin el cual el accidente no se hubiera producido» (Baker).

Entre las causas determinantes del accidente de tráfico se puede considerar una causa principal, causa eficiente (efectiva, determinante).

Para su clasificación las causas pueden dividirse en dos grandes grupos: causas mediatas y causas inmediatas.

Causas mediatas

Son las que no dan lugar al accidente pero conducen hacia él. Pueden estar relacionadas con:

- El vehículo.
- La vía.
- Los fenómenos atmosféricos.
- El conductor (somáticas, psíquicas).
- Otras circunstancias.

⁹ *Investigaciones de los accidentes de tráfico*, o.c., págs. 30-35.

Causas inmediatas

Son las que dan lugar directamente al accidente. En esencia, suelen ser las mismas que las mediatas pero influidas por el elemento humano (en gran número de ocasiones relacionadas con la imprudencia):

- Velocidad.
- Deficiencias en la percepción.
- Errores en las maniobras de evasión.
- Condiciones negativas en la persona (propensión a tener accidentes).

NOCIONES DE ACCIDENTOLOGÍA

La accidentología, ya definida¹⁰ como «estudio epidemiológico de los accidentes de carretera», permite conocer la gravedad y las consecuencias de los choques más frecuentes sobre los ocupantes de los vehículos implicados en este tipo de accidentes.

El estudio de los accidentes por hechos de la circulación, ha de llevar, entre otros muchos aspectos, a penetrar en la identificación y comprensión de las disfunciones que se pueden haber producido en el sistema «conductor-vehículo-entorno»¹¹; si bien los aspectos de *seguridad primaria* (antes del accidente) y los de *seguridad secundaria* (lesiones de los ocupantes, relación lesión-accidente, «amueblamiento» y distribución del habitáculo... aspectos ligados al choque y sus consecuencias, una vez producido, cuando no se pudo haber evitado), no han de permanecer disociados, ahora, atendiendo al título que preside este desarrollo, el análisis accidentológico se ha de encaminar hacia la aludida seguridad secundaria.

«Es clásico describir un automóvil como una cadena de masas no suspendidas que se compone de la rueda y su bastidor, y otra cadena de masas suspendidas que se compone de habitáculo apoyado en diversos resortes, como los amortiguadores y los sistemas de suspensión. Hay que añadir un eslabón constituido por el asiento y el conductor. Si se examina de cerca los movimientos de diversas partes del cuerpo, debemos considerar que el cuerpo humano está constituido por tres eslabones: pelvis, tórax y cabeza, sin contar el problema de las relaciones entre visceras y paredes» (Wisner, Donnadieu y Berthoz, 1964; Berthoz, 1966).

Tomando algunas anotaciones apuntadas por Tardy¹², es conveniente, pues, considerar y desarrollar los siguientes aspectos:

¹⁰ Chevalier, M. C., o.c. *Enseignements tirés de l'accidentologie pour la definition de programmes de recherche experimentaux*.

¹¹ Chevalier, M. C., Bloch, J. *Compatibilité entre voitures lors de chocs frontaux*. Synthèse bibliographique. INREST, Informe LBSU n.º 9712, diciembre 1972.

¹² Tardy, C., *Traumatismes vertébro-médullaires et accidents d'automobile*. Thèse, Universidad de Lyon (Francia), Facultad de Medicina Lyon-Sud, 1980.

- El choque
- Gravedad del choque
- Duración del choque
- Biomecánica del choque

El choque

No se define por la designación del punto de impacto, sino por su dirección: es esta la que determina la cinemática del ocupante y en consecuencia el mecanismo lesional. Esta dirección es la de las fuerzas principales que actúan sobre el vehículo durante el choque, referidas a su centro geométrico.

De este modo se define el tipo de colisión, en consideración a doce sectores, de los cuales las bisectrices son las horas de los cuadrantes horarios. De este modo (siguiendo la Figura 2.2 el choque es):

- Frontal, en las zonas: 11, 12, 1
- Lateral derecho: 2, 3, 4
- Trasero: 5, 6, 7
- Lateral izquierdo: 9, 8, 10

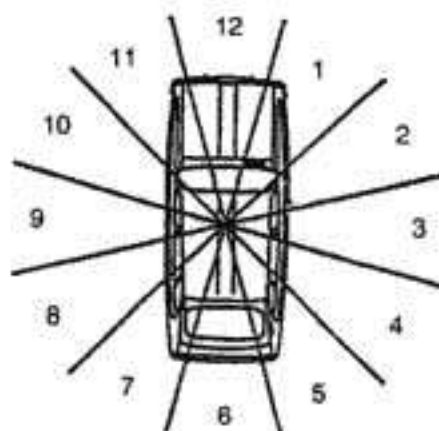


Figura 2.2

La gravedad del choque

Depende la ley de la deceleración del vehículo, la cual está ligada a numerosas características, principalmente la velocidad en el instante del impacto y la deformación de las paredes. Cuando la velocidad de un vehículo pasa de 50 a 100 km/h, su energía cinética se multiplica por cuatro, ya que la deceleración

esta determinada en relación con el cuadrado de la velocidad y el doble de la distancia de frenado (igual a la suma de las deformaciones del obstáculo y de las paredes del vehículo).

Es entonces cuando el pasajero sufre las consecuencias de las fuerzas de «ralentizamiento», de contención, pero también de la distancia que le separa de la pared deformada o bien de los dispositivos de seguridad. La situación de alerta le permitirá en ocasiones esbozar reacciones de defensa favorables.

La duración de choque

Con ocasión de un choque frontal, lateral o posterior, la primera colisión concerniente al vehículo dura de 40 a 70 milisegundos, y la segunda, repercutiendo sobre los pasajeros, se prolonga hasta los 150 milisegundos. Tratándose de vuelcos, la duración puede ser más prolongada.

La biomecánica del choque

- Choque frontal
- Choque posterior
- Choque lateral
- Eyección
- Vuelco

Choque frontal

Un accidente en choque frontal se produce cuando el vehículo choca, cuando se desplaza en su sentido normal de marcha, contra un obstáculo fijo o móvil; las fuerzas actuantes tanto sobre el vehículo como sobre los pasajeros son aproximadamente orientadas sobre el eje de desplazamiento.

Para simplificar, tómese el ejemplo de un choque contra un obstáculo fijo indeformable; se descompone en dos fases sucesivas:

Primero hay una deformación del vehículo, que disipa la energía cinética que poseía antes de la colisión (fase 1); la velocidad pasa entonces de un valor V a un valor $= 0$, al final de la deformación; durante la segunda mitad de esta fase, los ocupantes son puestos en movimiento por las fuerzas postero-anteriores; su velocidad de desplazamiento con relación al habitáculo es nula justo antes del choque y puede alcanzar un valor igual a V al fin de la colisión, *si están libres de sus movimientos* (fase 2).

Entonces chocan contra la pared anterior a velocidad elevada; la deceleración que sufren los ocupantes está en función de la distancia de parada, tanto que una pequeña distancia de parada crea una deceleración de valor elevado y una fuerza lesional en relación, tal distancia es escasa con relación a la del

vehículo: es igual a la suma de las deformaciones del cuerpo humano (algunos centímetros sobre el tórax, antes de la fractura) y la deformación del tablero de a bordo o del volante bajo el empuje del pasajero (no sobrepasa los 10 cm); esto es válido cuando el habitáculo no presenta, no ha sufrido modificación a raíz de la primera fase; si se produce, por el contrario, una disminución de sus dimensiones, teóricamente, puede ser favorable, pero en realidad esas deformaciones suponen un elemento altamente agresivo impidiendo el buen funcionamiento de los sistemas de retención, permitiendo un choque contra las paredes desplazadas hacia la parte anterior del ocupante.

En efecto, *si el ocupante lleva cinturón*, se crea un binomio pasajero-habitáculo y no soporta propiamente dicha la fase 2, pero si una presión ejercida por el cinturón, cuyo valor máximo está en función de la deceleración del automóvil, pues el ralentecimiento de los segmentos corporales retenidos tiene poca diferencia con el del vehículo, ya que dispone de la misma distancia de parada (con ligero aumento, dada la elasticidad del cinturón).

Se pueden describir, con toda seguridad, cinemáticas más acabadas, traducción de las colisiones experimentales producidas en los bancos de pruebas. En realidad, otros factores se asocian a esta descripción, especialmente en la proyección de los pasajeros desde el asiento trasero hacia adelante, impactado contra el raquis dorsolumbar o contra la cabeza del ocupante delantero, produciendo a veces un arrancamiento del asiento, con proyección acelerada de tal ocupante delantero con una compresión entre el cinturón el asiento (de ahí la importancia de la retención de los pasajeros traseros). Igualmente, objetos contenidos en la parte posterior, en especial en el compartimiento de la mercancía de las camionetas, pueden migrar hacia delante.

Choque posterior

En este tipo de impacto el cuerpo es «pegado» contra el asiento, y únicamente el segmento cabeza-cuello está libre para sufrir entonces, en la fase 2, una hiperextensión (que puede alcanzar los 90°), y después una flexión «de vuelta» (golpe de látigo). Existe, sin embargo, a menudo, un elemento rotatorio, por ejemplo con ocasión de los impactos postero-izquierdos, por adelantamiento. Es muy importante la estructura del asiento, dado que las fuerzas que se imprimen pueden arrancar de su anclaje en este tipo de choques. El apoya-cabezas asociado al cinturón es un buen factor de protección para el eje vertebromedular.

Choque lateral

Este tipo de impacto, ortogonalmente es poco frecuente; lo más a menudo, se produce en forma latero-posterior o latero-anterior: se introduce entonces un componente de rotación, cuyo conocimiento es importante para explicar las lesiones observadas. En este choque el tronco es detenido contra la pared antes

que la cabeza, aumentando durante el recorrido la distancia cuello-hombro. Los pasajeros del lado opuesto al impacto sufren en menor medida el traumatismo que los que se encuentran del lado del choque; estos últimos sufren la carga del aplastamiento canalizado por las paredes del vehículo y los otros pasajeros, en un segundo tiempo (contragolpe).

Eyección

Circunstancia accidentalológica de difícil acceso a la biomecánica; no obstante, a partir de los registros con cámaras, a partir de la simulación de accidentes, parece que la eyección tiene lugar en la mayor parte de las veces por las puertas: al comienzo del choque, éstas se abren por la deformación elástica de las estructuras (asociada al empuje de los maniqués proyectados en el habitáculo), después se cierran bloqueándose; una puerta que se encuentra bloqueada en un vehículo accidentado no excluye la posibilidad de eyección, y tampoco permite afirmar que ésta ha tenido lugar por las ventanas laterales. Por el contrario, la eyección puede tener lugar por el parabrisas (en el estudio realizado, sobre 512 lesionados, 2 eyecciones por el parabrisas, frente a 74 por las puertas).

El choque más frecuente que precede a la eyección es el de tipo frontal (58% según J. Bandet, D. Cesari y M. Ramet; 80% para el *Road Recherche Laboratory anglais*). Su importancia en el mecanismo lesional, con relación a la eyección, es evidentemente difícil de determinar. Los pasajeros están más expuestos que el conductor.

Con ocasión de la eyección, el pasajero puede lesionarse en diferentes etapas: paso a través de las paredes del vehículo, choque contra el suelo, contra un obstáculo, otro vehículo o aplastamiento bajo el propio vehículo. La cinemática del cuerpo a raíz de la eyección es aleatoria y depende de parámetros totalmente incontrolables. Si el cuerpo eyectado impacta primeramente con la cabeza contra el suelo, el segmento cefálico sufre un efecto telescópico y se producen angulaciones extremas a nivel del raquis cervical; las lesiones dorsales se pueden explicar por el choque directo contra el suelo o contra un obstáculo de la misma forma que para los motoristas, en los que estos alcances son predominantes. Hay que insistir en su gravedad, en contra de la creencia popular que le atribuye capacidad salvadora.

Vuelco

Por definición, se considera que existe vuelco a partir de un cuarto de vuelta. Se caracteriza por la lenta disipación de la energía cinética; su complejidad hace difícil un estudio cinético de síntesis, dada la variedad de los choques iniciales, el sentido del vuelco (sagital, frontal, y/o rotatorio).

En relación con el mismo, se deben considerar los aspectos que siguen:

- El vehículo
- Los ocupantes
- Otros factores

El vehículo: algunos estudios (escasos) han demostrado que es precisa una velocidad suficiente para provocar un vuelco. J. M. Garret, en los EE UU, ha establecido que es raro por debajo de las 40 millas/hora (64,4 Km/h). A mayor velocidad, el impacto es mayor, más numerosas las vueltas y las deceleraciones por contacto sobre el suelo; pero, en tal caso, Monfart encuentra un aumento del número de lesiones en función al número de vueltas; otros autores estimaron que esto no influye en la gravedad traumática.

No es frecuente que el vuelco se dé en un choque inicial y que se efectúe sobre la calzada (3 % sobre 200 casos). Seguramente que el choque inicial no debe ser el factor lesional mayor; el vehículo puede sufrir otros impactos en el curso o al fin del vuelco (contra un obstáculo fijo o contra otro vehículo), siendo éstos los factores agravantes.

El movimiento se efectúa, en todos los casos, según dos componentes: uno de traslación, que se atenúa en el tiempo, y uno de rotación, que puede verse favorecido en el tiempo si las condiciones son favorables (pendiente).

Los ocupantes: En el interior de habitáculo, los ocupantes entran en contacto con las paredes del vehículo y sufren las deceleraciones por los sucesivos impactos contra el suelo. Su posición en los diferentes tiempos está en función de:

- La aceleración de la gravedad proyectándose hacia el suelo.
- La velocidad y la dirección del movimiento
- Las fuerzas de interacción del propio cuerpo en el interior del vehículo.

También, a raíz del contacto techo-suelo, el ocupante no está obligatoriamente sentado, pudiendo variar su posición; sin embargo en el caso de las lesiones vertebrales altas, se puede pensar que el choque se hace sobre la cabeza, el cuerpo poseyendo su propia energía cinética aplica una carga excesiva, favoreciendo el aplastamiento de las vertebrae en el punto de carga máxima. A estas fuerzas compresivas se asocian a menudo fuerzas de dirección rotatoria, de inflexión lateral, de flexión o de extensión. Parece no existir relación entre el hundimiento del techo y la gravedad del alcance en los pasajeros, salvo cuando está totalmente aplastado, pues es el ocupante quien se encuentra con el techo en la fase 2, no siendo la parte superior la que se aproxima a él.

Con ocasión de un vuelco, teóricamente los ocupantes de los asientos anteriores y posteriores están igualmente expuestos; el impacto inicial puede realizarse en cualquier dirección, de la misma manera que el sentido de la rotación; pero en la práctica, los pasajeros de la parte delantera son los más lesionados, y ello en virtud de dos razones:

- La colisión inicial es con frecuencia anterior e imprime una dirección de choque, exponiéndoles más;
- Los mismos pasajeros son frecuentemente eyectados

El vuelco no es en general un choque más grave que los otros, al menos cuando no existe una eyección asociada, lo que se atribuye a la lenta disipación de la energía cinética. Además el cinturón de seguridad es un elemento esencial de protección, impidiendo la expulsión, las colisiones de los pasajeros entre ellos, e imprimiendo una deceleración más lenta y, en consecuencia, una disminución de la severidad de la «segunda colisión». No obstante, el cinturón de seguridad merece perfeccionamientos, estando el vertex muy próximo a la parte superior y no estando protegido con las retenciones actuales, tanto más cuando el techo se hunde.

Otros factores agravantes: a la cinemática del pasajero hay que asociar la presencia de otros ocupantes o de objetos diversos en el interior del vehículo, que, por su inercia, pueden aumentar la gravedad de las lesiones, multiplicando los puntos de impacto y la agresividad de las estructuras.

El movimiento: consideraciones mecánicas

CINEMÁTICA Y BIOCINEMÁTICA

De forma general, la mecánica se divide en estática, cinemática y dinámica. La estática que trata de las fuerzas sin tener en cuenta los movimientos; la cinemática (nombre debido a Ampere, 1834) estudia el movimiento, en sus condiciones de espacio y tiempo, prescindiendo de las fuerzas y causas que lo pueden producir, al margen de la naturaleza material de los cuerpos que se mueven; en cambio la dinámica se interesa por las fuerzas como productoras o modificadoras del movimiento (el movimiento de un cuerpo bajo la acción de una fuerza dada, y, recíprocamente, dado el movimiento, investigación de las fuerzas que lo han podido ocasionar). Téngase en cuenta también que algunos denominan «cinética» a la cinemática y dinámica.

Siendo así, la cinemática ha de describir de forma geométrica un movimiento, mientras que la dinámica ha de conocer las fuerzas capaces de producir ese movimiento. La aplicación de cinemática a la biología humana puede denominarse biocinemática, que a su vez conoce múltiples proyecciones, y que en este desarrollo busca su utilidad para intentar explicar las consecuencias traumáticas que determinan los hechos de la circulación en las personas, y en definitiva para la investigación y reconstrucción de los accidentes, en cuanto a lo que la biosistema interesa.

El cuerpo humano ha sido comparado a un complejo sistema de palancas óseas, unidas por charnelas articulares –bisagras–, unas y otras de muy diferentes tipos, todo ello movido por la contracción muscular, obedeciendo a las leyes físicas¹.

¹ Lapierre, *La reeducación física*, tomo I, pág. 37. Barcelona, Editorial Científico Médica, S. A., 1971. (Libro muy recomendable, en especial en el capítulo de Mecánica animal.)

La aplicación de las leyes mecánicas al aparato locomotor permite establecer entre los elementos anatómicos y mecánicos las comparaciones que se indican en la Tabla 3.1².

TABLA 3.1.

Elementos anatómicos	Elementos mecánicos
Huesos.	Palancas.
Articulaciones.	Juntas.
Músculos.	Motores.
Tendones.	Cables.
Ligamentos.	Refuerzos y cierres.

EJES Y PLANOS

La multitud de movimientos que la acción muscular puede proyectar sobre los componentes articulares hace necesario considerar los conceptos de par biocinémico y cadena cinemática que, en su origen (pares y cadenas) han sido extraídos de la física mecánica para ahora ser adaptados a la biología humana.

Un par biocinémico es la «unión móvil (cinemática) de dos miembros óseos, en que las posibilidades de movimientos están determinados por la estructura de esa unión y por la influencia de la dirección de los músculos»³. Las características del par biocinémico son las que confieren a la articulación sus posibilidades de movimiento, o grados cinemáticos (o grados de «libertad de movimiento»), que se han de referir a cada uno de los tres planos del espacio (sagital, transversal y frontal), de tal modo que cada uno de esos tres planos representa un grado cinético, o un grado de libertad de movimiento (Fig. 3.1).

En la Figura 3.2 se representan los ejes y movimientos en los tres planos referidos, que en síntesis, se describen así:

1. *Plano sagital*. Se dan los movimientos de flexión y extensión (sobre el *eje transversal*).
2. *Plano frontal*. Movimientos de separación y aproximación, y los de inclinación lateral (sobre el *eje sagital*).
3. *Plano transversal*. Movimientos de rotación externa-interna (sobre el *eje vertical*).

De esta forma, resulta⁴:

² Fucci S, Benigni M. *Biomecánica del aparato locomotor, aplicada al acondicionamiento muscular*, pág. 1. Barcelona, Ediciones Doyma S. A., 1988. Para un desarrollo más amplio, y en materias relacionadas, puede consultarse también *Ergonomía básica*, Madrid, Ediciones Díaz de Santos, 1994.

³ Donskoi D, Zatsiorski V. *Biomecánica de los ejercicios físicos*, pág. 51, Editorial. Ráduga, Moscú, 1988.

⁴ Según Hernández Corvo R. En: *Morfología funcional deportiva*, págs. 62-64, Barcelona, Editorial Paidotribo, S.A., 1989.

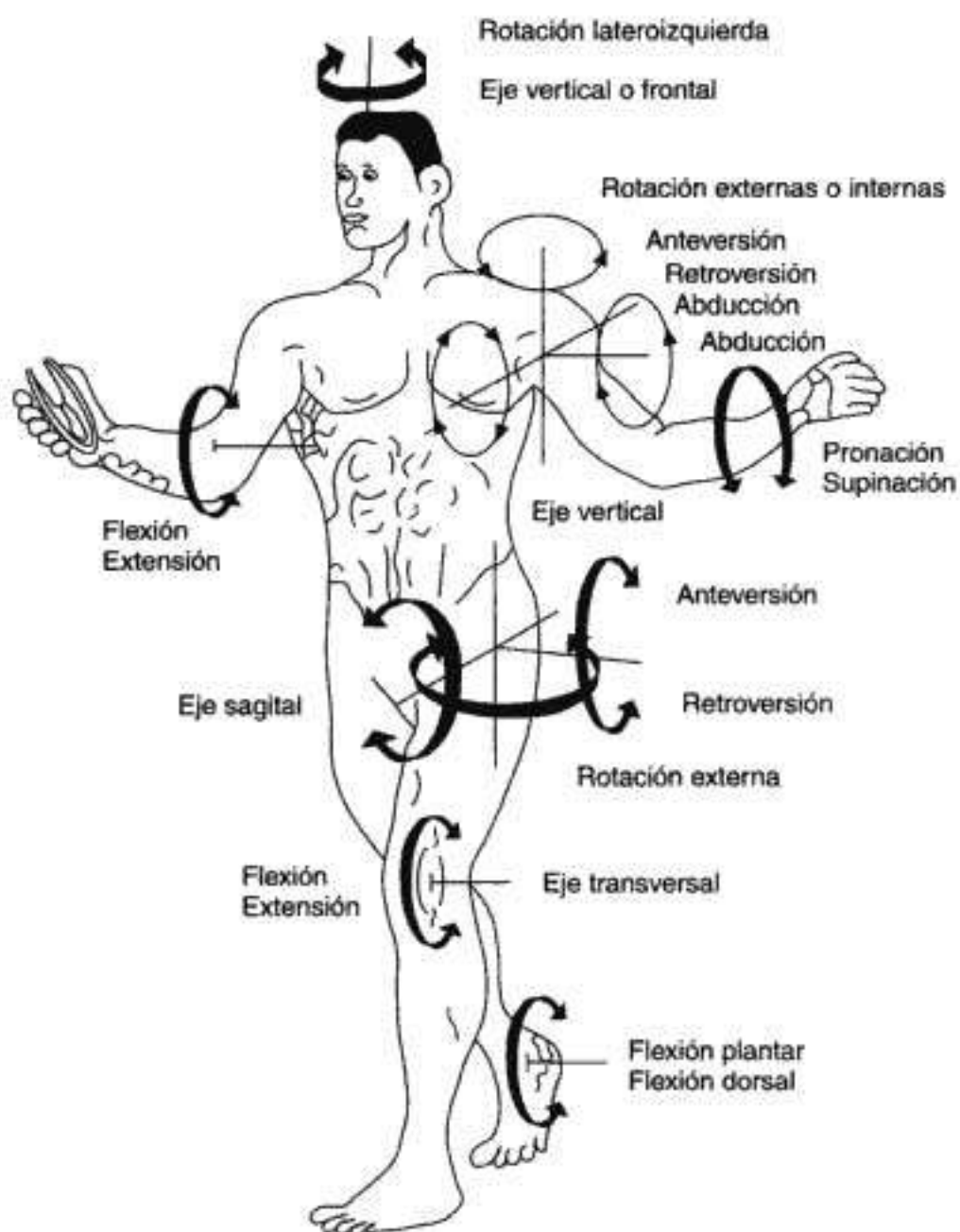


Figura 3.1. Ejes de movimientos: sagital, frontal, transversal. Proyecciones articulares corporales. (Tomada de Roberto Hernández Corvo, *Morfología funcional deportiva*, o. c., pág. 63.)

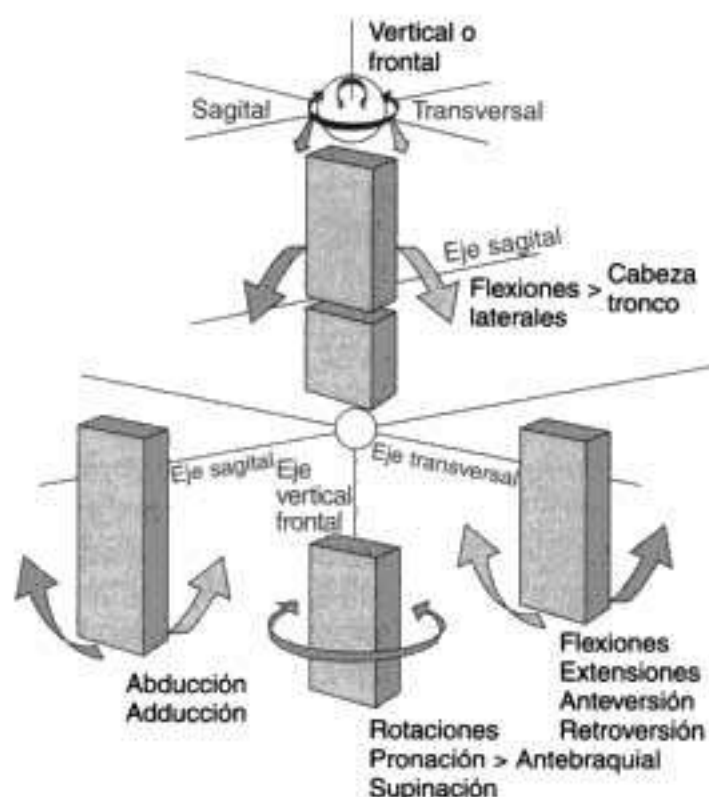


Figura 3.2. Representación de ejes y movimientos en los tres planos. Ref. Hernández Corvo.

Eje sagital. Permite el desplazamiento de una estructura sobre el *plano frontal*. Sus fases de movimiento son: abducción = separación; aducción = aproximación; flexión lateroderecha y lateroizquierda.

Eje transversal. Permite el desplazamiento sobre el *plano sagital*. Sus fases de movimiento son: flexión = movimiento, que disminuye el valor angular en una relación articular; extensión = movimiento que aumenta el valor angular de una relación articular hasta su total de apertura y que tenga una limitante ósea.

Eje vertical. Permite el desplazamiento sobre el *plano transversal*. Fases de movimiento: rotación interna y externa.

Ahora bien, no todas las articulaciones gozan de la misma riqueza de movimientos, en cuanto a grados de libertad (grados cinéticos), esto es, e insistiendo en ello, no todas pueden desplazarse en los tres planos del espacio, pues ante la articulación escapulohumeral (que se puede proyectar en los tres planos) está el tobillo (que sólo lo hace en el plano sagital –flexo-extensión–, y por tanto tiene un sólo grado cinético).

En la Tabla 3.2, según notas tomadas de Hernández Gómez, se indican los grados cinéticos de que disponen las principales articulaciones.

DEFINICIONES

En este terreno, conviene recordar conceptos básicos, para luego poderlos aplicar de forma ágil al terreno que ahora se intenta desarrollar, como son:

TABLA 3.2.

Región anatómica	Movimientos	Grados cinéticos
Raquis *	Flexión-extensión Lateralización Rotación	3
Extremidad superior		
Articulación escapulohumeral	Flexión-extensión Aproximación-separación Rotación interna-externa	3
Codo	Flexión-extensión Pronación-supinación	2
Muñeca	Flexión-extensión Separación-aproximación (Inclinación-cubital y radial)	2
Extremidad inferior		
Artic. coxofemoral	Flexión-extensión Abducción-aducción Rotación interna-externa	3
Rodilla	Flexión-extensión Rotación interna-externa **	2
Tobillo	Flexión-extensión	1

* Recalca el autor la necesidad de que «la movilidad raquídea ha de ser considerada en su conjunto y no como una suma de movilidades».

** «La capacidad móvil es muy escasa para este último», aunque, «por escasa que sea la amplitud articular en el plano correspondiente, se admite la existencia del grado cinético».

Ref. Hernández Gómez R, *Temas de biomecánica y patomecánica*, INSERSO, Madrid, 1987.

- **Movimiento.** Cambio de posición de un cuerpo en el espacio;
- **Cuerpo móvil.** Todo cuerpo que se desplaza.

Un cuerpo está en reposo cuando ocupa siempre la misma posición respecto a un sistema de referencia; un cuerpo está en movimiento cuando sucesivamente va ocupando distintas posiciones respecto a un sistema de referencia. Si el sistema de referencia está fijo, el movimiento se llama absoluto, y si no lo está, se llama movimiento relativo.

– **Fuerza.** Toda causa capaz de provocar un movimiento o modificarlo. Todo movimiento es el resultado de las fuerzas actuantes.

– **Momento de fuerza (MF)**, con respecto a un punto O , resulta del producto del vector de posición (r) por la fuerza desarrollada (F) por el seno del ángulo por ambos componentes (y) (Fig. 3.3).

$$MF = r \cdot F \cdot \text{sen } y$$

$$\text{sen } y = d/r, \quad \text{y} \quad d/r = \text{coseno } X$$

$$\text{sustituyendo, resulta: } MF = r \cdot F \cdot \text{cos } X$$

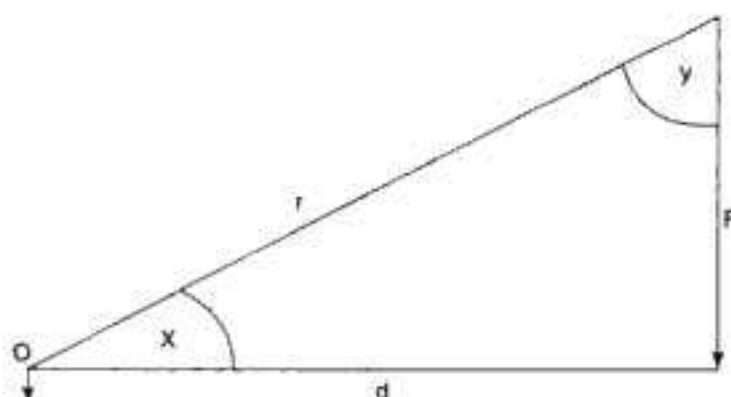


Figura 3.3.

pero, $r \cdot \cos X = d$, de donde finalmente se obtiene:

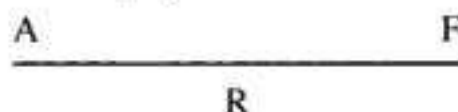
$$MF = F \cdot d$$

– *Palanca*. Se define como barra rígida (recta-curva) que se mueve sobre un punto fijo que sirve de punto de apoyo, junto a otros dos puntos donde se aplican, de un lado, la fuerza llamada potencia y, de otro lado, la resistencia. Su finalidad es incrementar la fuerza o el movimiento. Clásicamente se distinguen tres géneros de palanca:

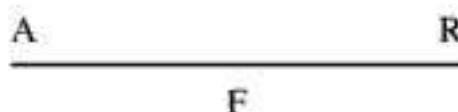
• *Palanca de primer género*. El punto de apoyo se sitúa entre la fuerza y la resistencia. Ejemplo: «acción del tríceps braquial sobre el cúbito, cuando el brazo está por encima de la cabeza» (Fig. 3.4). Igualmente, «la acción del músculo esplenio que provoca la extensión de la cabeza, por intermedio de la articulación atlanto-occipital»:



• *Palanca de segundo género*. La resistencia se encuentra entre el punto de apoyo y la fuerza. Ejemplo: «la acción de los flexores plantares intentando vencer la gravedad –posición sobre la punta de los pies–, sirviendo la articulación metatarso-falángica de punto de apoyo»:



• *Palanca de tercer género*. La fuerza se encuentra entre el punto de apoyo y la resistencia (Fig. 3.5). Ejemplo: «acción del bíceps braquial sobre el antebrazo»³:



³ Los ejemplos han sido tomados de la obra *Biomécanique du mouvement humain*, Williams, Lissner, Le Veau, Québec (Canada), Décarie Editeurs, 1986. (Obra distribuida en Europa por Editions Vigot, Paris.)

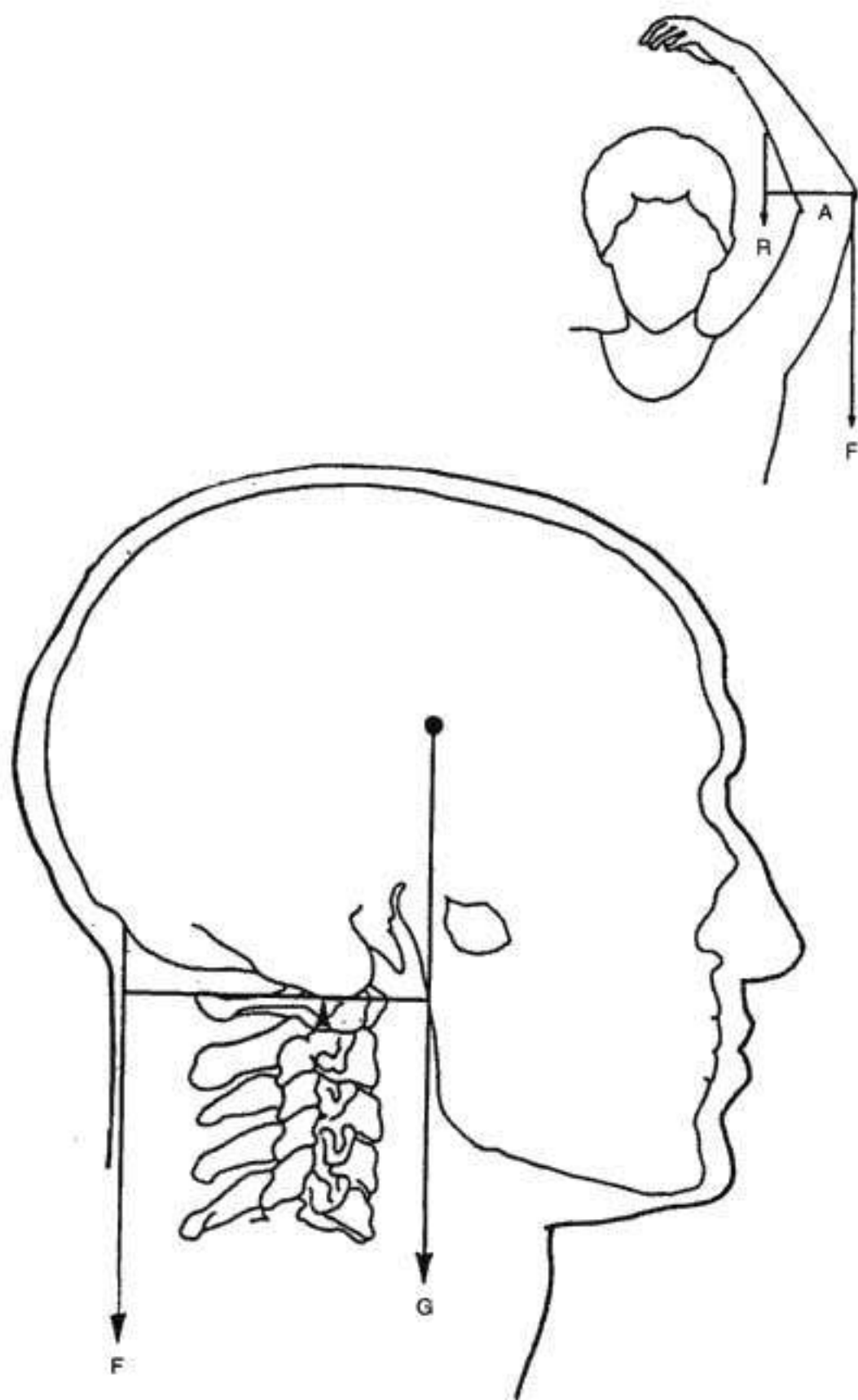


Figura 3.4. (Ref. Williams, Lissner, Le Veau, o.c.).

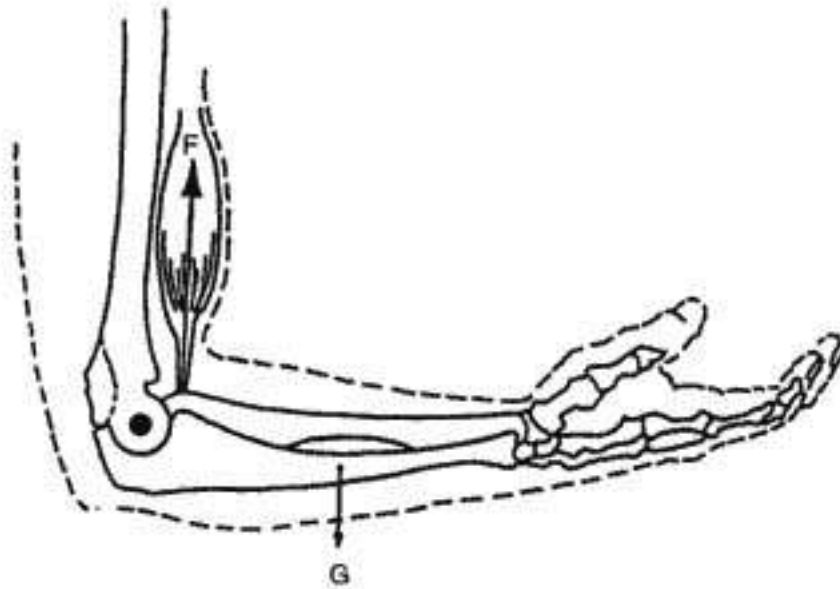


Figura 3.5. (Ref. Williams, Lissner, Le Veau, o.c.).

– *Presión.* Fuerza aplicada por unidad de superficie (y responde a la fórmula $P = F/s$). Se comprende que a medida que aumenta la superficie la presión disminuye ante una misma fuerza. En el organismo se producen presiones variables y considerables, en situaciones fisiológicas, así como en casos de acciones traumáticas.

– *Trayectoria.* El camino que describe el cuerpo móvil en su recorrido.

– *Vector de desplazamiento,* o vector trazado desde la posición inicial (que inicialmente ocupaba el móvil) a su posición final; esto es, la unión de los dos extremos de la trayectoria determina el vector de desplazamiento.

Puntualícese que el vector de desplazamiento es siempre único, ya que une el punto inicial con el final, por lo que es distinto de la longitud del desplazamiento o trayectoria, al no ser ésta un segmento rectilíneo, ya que en realidad determina el espacio recorrido.

Los elementos que determinan el movimiento de un cuerpo en el espacio son tres: el sistema de referencia, la trayectoria y la ley del movimiento (o relación entre el camino recorrido y el tiempo en que lo realiza).

– *Tipos de movimiento.* Rectilíneo, curvilíneo, circular, etc.

Esquemáticamente, un cuerpo en su desplazamiento puede estar sometido a un movimiento de traslación y describe trayectorias iguales y paralelas; de rotación, el cuerpo describe arcos de circunferencia, perpendiculares todos a una recta, que se llama eje de giro; y movimiento helicoidal, que combina los dos anteriores, o trasposición compuesta de una rotación y una traslación, llamándose al eje de traslación eje helicoidal o de traslación y rotación.

Pero en la apreciación del movimiento de un cuerpo no sólo hay que considerar su cambio de lugar en el espacio, sino también las variaciones que

experimenta en el tiempo. Hay que aclarar que si bien el título que preside este desarrollo se refiere a la cinemática, también es necesario remitirse a aspectos cinéticos, tanto que muchas veces, a lo largo de esta exposición, se hablará de cinética en lugar de biocinemática en sentido estricto, para así dar paso a la consideración a los elementos dinámicos y fuerzas determinantes del movimiento. Por eso a las anteriores definiciones conviene recordar las que siguen:

– *Velocidad*. Relación entre la longitud total del camino recorrido y el tiempo empleado.

– *Aceleración*. Relación entre la variación de velocidad y el tiempo que se trata en conseguirlo. Este aspecto es importante, ya que los movimientos no suelen producirse a velocidad constante, sino que suelen variar en el tiempo que realizan el recorrido; la aceleración puede ser positiva o negativa, según hay incremento o decremento de velocidad, respectivamente.

– *Movimiento uniforme*. Aquel en que el cuerpo móvil se desplaza a velocidad constante.

– *Movimiento variado*. La velocidad de desplazamiento no es uniforme, pudiendo estar sometido el cuerpo móvil a aceleraciones y deceleraciones.

A su vez, se puede distinguir entre:

– *Movimiento uniformemente acelerado*. La velocidad aumenta proporcionalmente al tiempo transcurrido.

– *Movimiento uniformemente retardado*.

Además, a raíz de un efecto impactante que incide en un cuerpo móvil, conviene traer a colación leyes físicas que influyen sobre la gravedad (junto a los posibles desplazamientos del baricentro o centro de gravedad), el peso y la masa del cuerpo, así como los principios físicos que hacen referencia a la inercia, al principio de acción y reacción, principio de conservación de la cantidad de movimiento, energía cinética (o fuerza de empuje), principio de conservación de la energía, fuerza centrífuga, las influencias de la acción de frenado sobre el móvil en su desplazamiento.

Especial interés tiene conocer las manifestaciones de la inercia, definida por Newton en su primera ley del movimiento, al decir que *«todo cuerpo continúa en estado de reposo o movimiento uniforme en línea recta, a no ser que una fuerza extraña le obligue a cambiar de estado»*. Esto explica la incapacidad de un cuerpo para salir de su estado de quietud, si está en reposo, o de su estado de movimiento, si se desplaza, a no ser que intervenga otra fuerza que varíe la situación inicial. De esta forma se explica también, por ejemplo, la tendencia del pasajero de un vehículo a irse hacia adelante cuando se le frena, tendiendo el cuerpo móvil a conservar el estado inicial. El centro de inercia de un cuerpo es el mismo que su centro de gravedad.

Cuando las fuerzas aplicadas sobre un cuerpo intentan provocar un efecto –fuerzas aceleratrices–, otras intentan contrarrestarlo –fuerzas retardatrices–. Unas y otras, a su vez, pueden obrar de forma instantánea –fuerzas instantá-

neas-, en tanto que el movimiento se está produciendo –fuerzas continuas-. Hay que aclarar que no se trata de dos tipos de fuerzas distintas, sino de dos modos de acción distintos. A partir de la ecuación que formula la fuerza como el producto de la masa por la aceleración ($F = m \cdot a$), según predomine el componente m o a se habla de fuerza pura (vencer una resistencia) o fuerza velocidad (donde lo importante es el desplazamiento, mientras que la resistencia suele permanecer invariable).

– *Trabajo*. El resultado de aplicar una fuerza sobre un punto que se mueve. Es el producto de la fuerza por el espacio ($T = F \cdot e$). Si el punto se desplaza en la misma dirección y sentido que la fuerza se dice que se trata de una fuerza motora y que su trabajo es positivo; si la fuerza se aplica en la misma dirección pero en sentido contrario al desplazamiento del punto, la fuerza se llama resistente, y su trabajo es negativo ($T = -F \cdot e$). Cuando el traslado rectilíneo del punto no está en la misma dirección de la fuerza, el trabajo es el producto de la fuerza por el camino recorrido y por el coseno del ángulo que forma las dos direcciones ($T = F \cdot e \cdot \cos X$); el trabajo es positivo o negativo, según ese ángulo sea agudo u obtuso, respectivamente.

– *Energía de un cuerpo*. Se mide por el trabajo mecánico que produce su peso al trasladarse de un punto a otro, o por lo que sería capaz de producir desde su posición de reposo hasta otro punto previamente determinado. Estos dos modos de estimar las posibilidades de producir trabajo por una fuerza, es lo que permite dividir la energía en dos modalidades: cinética y potencial. Interesando ahora especialmente la primera, la energía cinética viene dada por la fórmula:

$$E = 1/2 m \cdot v^2$$

siendo m la masa y v la velocidad.

FUNDAMENTOS DE LA TEORÍA DEL CHOQUE

En el estudio del movimiento en atención a las cuestiones que se están abordando, se ha de reparar en los de la teoría del choque, para lo que vamos a transcribir las siguientes anotaciones, según Donskoi y Zatsiorski⁶:

«En mecánica se denomina choque a la interacción breve de cuerpos, que determina la variación brusca de las velocidades de ambos. Durante tales interacciones surgen fuerzas tan grandes que es posible despreciar la acción de todas las restantes fuerzas.»

«La variación de las fuerzas de choque respecto al tiempo se produce de forma que al principio la fuerza se incrementa rápidamente hasta su valor máximo y después decrece, hasta cero. Su valor máximo puede ser muy grande. Sin

⁶ Donskoi D, Zatsiorski V, *Biomecánica de los Ejercicios físicos*, págs. 250-255, en adaptación del texto a este desarrollo. Moscú, Editorial Ráduga, 1988.

embargo, la medida fundamental de la interacción de choque no es la fuerza, sino el *impulso de choque*.»

«Durante el tiempo el choque varía. Esta variación es directamente proporcional al impulso de choque e inversamente proporcional a la masa del cuerpo. Es decir, el impulso de choque es igual a la variación de la cantidad de movimiento del cuerpo.»

«La sucesión de los fenómenos mecánicos durante el choque es el siguiente: al principio, *se produce la deformación de los cuerpos, durante la cual la energía cinética del movimiento se convierte en energía potencial de la deformación elástica; posteriormente, la energía potencial se transforma en energía cinética*. En dependencia de que parte de la energía potencial se convierta en cinética y cuál se disipe como calor, se distinguen tres tipos de choque:

a) *Choque completamente elástico*. Toda la energía mecánica se conserva. Este tipo de choque es ideal (durante el choque, siempre una parte de la energía mecánica se transforma en calor). Sin embargo, en algunos casos, los choques, por ejemplo, de las bolas de billar, se asemejan a los choques completamente elásticos.

b) *Choque inelástico*. La energía de deformación se transforma en calor. Ejemplo: el choque de una pelota de plastilina contra la pared.

c) *Choque no completamente elástico*. Sólo una parte de la energía de deformación se convierte en energía cinética de movimiento.

De otra parte, interesa también adentrarse en la biomecánica de las *acciones de choque*, llamándose así a «aquellas cuyos resultados se alcanzan mediante un choque mecánico» *.

En las acciones de choque cabe distinguir las siguientes fases:

«a) El impulso: es el movimiento que precede al movimiento de choque». Ésta es muy variable, y en ella hay que considerar la distancia entre el miembro de choque del cuerpo y el objeto, o superficie, sobre la que golpeará.

«b) El movimiento de choque: desde el final del impulso hasta el comienzo de la colisión».

«c) La interacción de choque (o choque propiamente dicho): es la colisión de los cuerpos que participan en el choque».

«d) El movimiento posterior al choque: es el movimiento del miembro de choque del cuerpo, después de que ha cesado el contacto al cual se aplicó el golpe».

Como se ha indicado en la teoría del choque, «en mecánica se presupone que el choque transcurre tan rápidamente y que las fuerzas de choque son tan grandes, que todas las restantes fuerzas pueden despreciarse». Pero esto no es absolutamente cierto, tanto que en ocasiones habrá que considerar fuerzas no dependientes del choque en sí mismo. Por ejemplo: «un automóvil que va a una

* En referencia a tales acciones de choque, véase el apartado Relación entre «delta V» en las velocidades de impacto, en los choques «offset» del capítulo 12.

velocidad de 30 km/h y choca contra un obstáculo en movimiento; en este caso hay que distinguir tres situaciones:

a) Automóvil con freno y motor desconectados (en punto muerto). En la interacción automóvil-obstáculo sólo actúan las fuerzas de choque.

b) El motor está conectado y, más aún, el automóvil se mueve con aceleración. Al final del choque su velocidad será mayor que al principio; la cantidad de movimiento (impulso) del sistema se incrementa, y sobre el cuerpo colisionado actuará, además, una fuerza complementaria provocada por la acción del motor del automóvil.

c) El motor está desconectado, pero el sistema de frenos está conectado. La velocidad y la cantidad de movimiento del automóvil disminuirá debido a los frenos.

En resumen, todas estas variables, y otras leyes físicas, que normalmente se consideran para la investigación del accidente de tráfico, influyen también, en diversas maneras, en el movimiento que experimenta el cuerpo del lesionado con ocasión de los siniestros automovilísticos, de ahí que haya que tenerlas presentes.

VELOCIDAD Y POTENCIAL LESIVO

Es un hecho real y comprobado que al menos la tercera parte de los accidentes, en general, vienen causados por velocidades excesivas, ya en atención a las condiciones del medio, ya superando los límites establecidos. A lo largo de la historia del desarrollo tecnológico del automóvil el promedio de velocidad alcanzada por los vehículos fue aumentando de forma progresiva. Con velocidades de más de 100 km/hora, la frecuencia de muertes por accidentes de tránsito puede ser cinco veces mayor que en las velocidades entre 65 y 100 km/hora⁷.

Hay que resaltar que en caso de accidente, el potencial lesivo de un cuerpo está muy ligado a la velocidad, tanto que en caso de impacto la energía cinética eficaz para determinar un efecto dañoso sobre la estructura orgánica de que se trate en cada situación crecerá en función, muy especialmente, de la velocidad desarrollada en ese momento, lo que se comprende rápidamente recordando que la energía cinética está directamente ligada a la masa y al cuadro de la velocidad ($E = 1/2 mV^2$). La velocidad junto al peso del vehículo o vehículos que intervienen en el impacto automovilístico determinan la energía liberada en el accidente.

Por ejemplo, Palfer-Sollier⁸, fruto de su larga experiencia como cirujano maxilofacial, estimaba que por debajo de 30-40 km/hora las caídas en ve-

⁷ Según notas tomadas de Cal y Mayor R. En: *Manual de educación y seguridad vial*, México, Editorial Limusa, 1978, págs. 128-129, 134 y 142.

⁸ Palfer-Sollier, en entrevista realizada por *Le Quotidien Médicale*, 28 de octubre de 1976.

hículos de dos ruedas no suelen llevar consigo lesiones graves; a partir de los 40 km/hora aparecen fracturas del hueso malar y del arco zigomático; por encima de 60 km/hora todo el «parachoques» de la cara corre todos los riesgos (nariz, huesos malares, maxilar inferior).

No obstante, y a pesar de su importancia, la velocidad no es el único factor a tener en cuenta en el impacto automovilístico, pues también hay que considerar otros parámetros como el tipo de estructura impactante, su forma, su resistencia, ya que todo ello influye de una forma determinante en la absorción de la energía cinética, al producirse el impacto al que sigue una deformación de las estructuras, repercutiendo sobre los ocupantes del vehículo, lo que a su vez está íntimamente ligado a otro parámetro denominado *variación de velocidad*, o diferencia entre la velocidad de impacto y la velocidad de choque⁹. A la velocidad hay que unir los problemas causados por la variación de la misma, aceleración y deceleración, que conllevan desplazamientos de los fluidos orgánicos y efectos sobre las propias vísceras, pudiendo originar efectos diversos.

Es evidente que el exceso de velocidad puede provocar lesiones inmediatamente mortales, y en todos los ocupantes de un vehículo, y es que «la velocidad es la verdadera fuerza que golpea», generadora de los daños en el momento del accidente.

Al efecto M. Budniok¹⁰ ha hecho las siguientes estimaciones: un automóvil y su pasajero son dos móviles que se desplaza a una velocidad dada y que están sometidos a aceleraciones y deceleraciones, y que con ocasión de las mismas diferentes fuerzas se ponen en juego, pudiendo tomar grandes magnitudes en poco tiempo. Las leyes de la física pura y más en particular de la mecánica permiten calcular el valor de esta energía cinética, pudiéndose comparar una detención brusca en 1/10 de segundo a 25 km/hora con una caída libre y desde una altura de 2,40 metros; cuando la parada se produce a 150 km/hora, la correspondencia es con una caída libre desde 88,20 metros.

El siguiente esquema, según M. Arnaud¹¹, es muy evocativo, estableciendo una comparación entre una caída libre en vertical (a X metros de altura) y la energía de deceleración brutal ante una parada a X km/hora (Fig. 3.6).

En la *resistencia dinámica el cuerpo ante el efecto de la deceleración*, Vieville y Sapin-Jaloustre¹² consideran que cuando un móvil choca contra un obstáculo fijo, su velocidad se convierte, bruscamente, en cero. La deceleración

⁹ Got C. En: *Médecine légale clinique: médecine et violences* (chapitre 3: Les accidents de la circulation). Debout M, Durigon M, Paris, Ellipses, 1994. Por otra parte, se debe tener en cuenta que «el cuerpo humano a 100 km/hora, instantáneamente, el peso aparente de las vísceras que contiene aumenta considerablemente; así, el hígado, que pesa unos 1.700 gramos, aumenta hasta 47 kilos; el corazón, que normalmente pesa 300 gramos, pasa a pesar 8 kilos» (Sánchez Serrano S, en *Lesiones que aparecen en los accidentes de tráfico*, *Jano*, marzo-abril, 1982, Barcelona).

¹⁰ Budniok M, *Accidents de circulation automobile intéressant le passager avant* (tesis doctoral, 1963, Facultad de Medicina de Lille-Francia). Semaine Hôpitaux, Informations, 26 de octubre de 1963.

¹¹ Citado por Vieville R, Sapin-Jaloustre H. En: *Hygiène et automobile*, publicado en la revista francesa *Le Concours Médical*, 18 de mayo de 1968.

¹² Vieville R, Sapin-Jaloustre H, *Hygiène et automobile*, o. c., que a su vez se remiten a notas tomadas del Documento Geigy, sobre accidentes de tráfico.

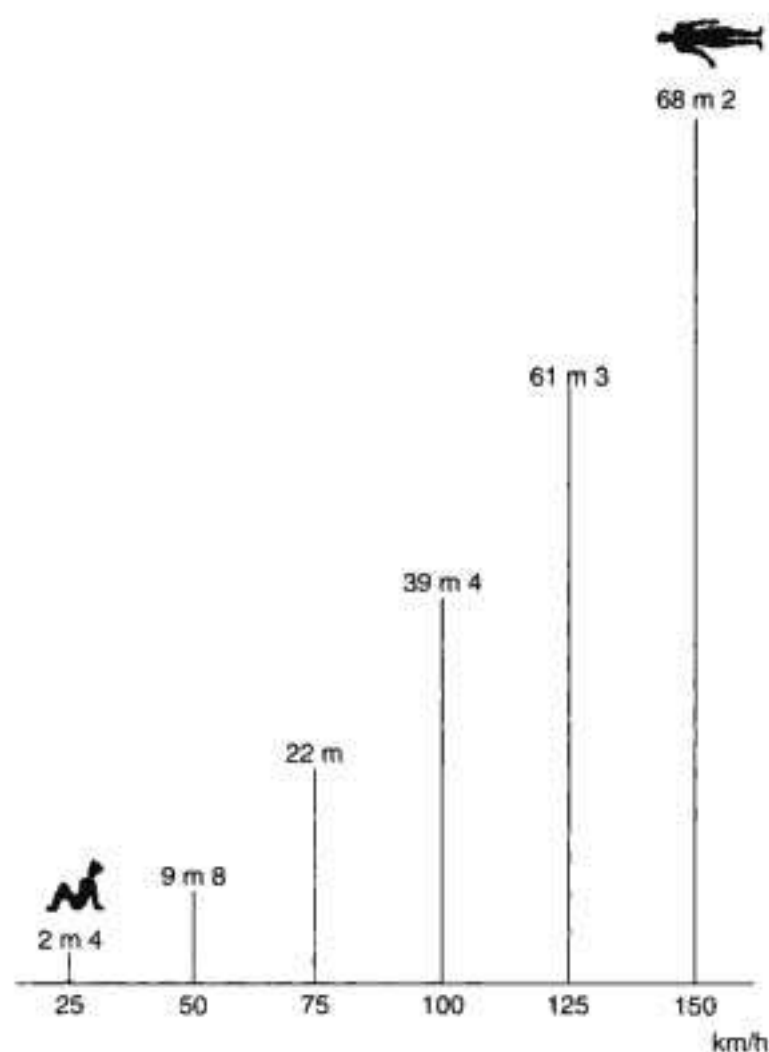


Figura 3.6.

producida (d) es proporcional al cuadro de la velocidad (V) e inversamente proporcional al doble de la distancia de la frenada recorrida (c).

De esta forma se tiene:

$$d = \frac{V^2}{2c}$$

Un automóvil de 750 kilos, que choca contra un obstáculo fijo a 50 km/hora, es decir a 13,9 m/seg, siendo la distancia de frenada 0,50 m, experimentalmente, aplicando la fórmula, la siguiente deceleración:

$$d = \frac{13,9^2 \text{ m/seg}}{2 \times 0,50} = \frac{193 \text{ m/seg}}{1 \text{ m}} = 193 \text{ m/seg}$$

El valor obtenido relacionado con la fuerza de la gravedad (9,8), resulta una deceleración de 19,7 g (un cuerpo pesa tanto como g está sometido).

Quiere esto decir que la fuerza entrante en juego es pues 19,7 veces (digamos 20) el peso del vehículo: $20 \times 750 = 15.000$ kg.

Para el pasajero, si se evalúa la distancia de frenada a 0,05 metros, se tiene:

$$d = \frac{V^2}{2c} = \frac{13,9^2 \text{ m/seg}}{2 \times 0,05} = \frac{193 \text{ m/seg}}{0,1} = 1.930 \text{ m/seg}$$

que relacionado con g (9,8), equivale a 197 g , es decir, una fuerza muy superior a la deceleración tolerada por el cuerpo humano. Para este son soportables aceleraciones entre 50 y 100 g , con la condición de que el tiempo de deceleración no sea mayor de 1.300 g/seg , y que la duración de las deceleraciones de 25 g no sobrepase los 0,25 seg, pues de lo contrario las fuerzas hidráulicas provocarían rupturas tisulares (J. P. Stap, de USA Air Force, *Human tolerance to deceleration*).

De modo general, se puede establecer la ecuación:

$$\text{SUPERVIVENCIA} = d = < 50 \text{ g}$$

Pero ello ha de ser atenuado, considerando las condiciones del impacto (M. Arnaud), ya que:

- Si el impacto es único, la muerte inmediata es frecuente, a menos que la superficie de choque sea bastante amplia y que las estructuras vecinas violentadas absorban parcialmente el choque.
- Si hay varios impactos, o politraumatismos, las posibilidades de supervivencia son mayores; el total de las fuerzas en los diferentes puntos de impacto es invariable, pero su distribución y reparto influye en la supervivencia.

Las cifras referidas tienen un carácter meramente indicativo; conciernen al choque frontal contra un obstáculo fijo (un muro, un vehículo detenido, etc.). Tratándose del choque frontal de dos vehículos, se tendrá en cuenta en el cálculo del peso, la velocidad y la distancia de frenada de cada uno de ellos, aunque en la práctica no se da un choque frontal en sentido riguroso, ya que por acción del decalaje a los vehículos se les imprime movimientos de rotación que disminuyen la deceleración.

Lo dicho ha de llevar a entender, y a modo de conclusión práctica, que «la forma en que se deforma un vehículo debe de permitir que no se sobrepasen los límites de resistencia humana; para desempeñar un efecto protector, la parte frontal del vehículo se ha de deformar de manera lenta y continua» (E. Gogler).

Además el potencial el lesivo por el efecto de la deceleración puede ser limitado e impedido por ciertos dispositivos de seguridad, como son los medios retención del ocupante del vehículo, y en concreto por la acción del cinturón de seguridad, tal como se desprende del siguiente ejemplo, referido por los citados Vielville y Sapin-Jaloustre. Así, si la velocidad terminal de un vehículo es de 50 km/h, con una distancia de frenada, para el pasajero, a 0,05 metros; no obstante esta misma distancia de frenada por el efecto de absorción del cinturón de

seguridad pasa a 0,30 metros. A partir de aquí, y aplicando los cálculos precedentes, resulta:

$$d = \frac{V^2}{2c} = \frac{13,9^2 \text{ m/seg}}{2 \times 0,30} = \frac{193 \text{ m/seg}}{0,60} = 321 \text{ m/seg}$$

Refiriendo 321 m/seg a g (9,8) equivale a 32,7 g (en lugar de 197 g), con el efecto de la deceleración sobre el pasajero está dentro de los márgenes de supervivencia antes aludidos.

Patogénesis de la deformación del biosistema

CUERPOS RÍGIDOS Y CUERPOS DEFORMABLES

Los cuerpos pueden ser rígidos o deformables, por lo que se puede distinguir entre cinemática de cuerpos rígidos y cinemática de cuerpos deformables, mereciendo esto último especial atención para el organismo humano, que está constituido por materiales sólidos, de consistencia y elasticidad variables, así como por líquidos y gases, que, participando en un sistema, accionan e interaccionan entre sí, tanto en condiciones normales como a raíz de un hecho traumático, con consecuencias diversas, según las circunstancias actuantes. Un cuerpo absolutamente rígido es aquel sólido cuya distancia entre cualesquiera de dos puntos es invariable.

De las propiedades mecánicas de los cuerpos sólidos, cabe destacar los aspectos que Remizov¹ explica:

– «El cambio de posición mutua de los puntos de un cuerpo que lleva al cambio de su forma y de sus dimensiones se llama *deformación*. Las deformaciones pueden provocarse por acciones externas (así mecánicas, también eléctricas, magnéticas) o por las variaciones de temperatura del cuerpo. Ahora se examinan las deformaciones que se producen cuando sobre un cuerpo actúan fuerzas.

– La deformación en cuerpos sólidos se denomina *elástica* si ésta desaparece después de haber cesado la acción de la fuerza. En cambio si la deformación se conserva también después de que haya cesado la acción externa, entonces esta deformación recibe el nombre de *plástica*. El caso intermedio, o sea, la desaparición no completa de la deformación, se suele llamar *elastoplástica*.

¹ Remizov AN. En: *Física médica y biológica*. Moscú, Editorial MIR, 1991, págs. 195-209.

– El caso más simple de deformación es la tracción (distensión). Ésta, por ejemplo, aparece en una barra, al actuar una fuerza dirigida a lo largo de su eje. Si la barra de longitud l se ha alargado, en este caso Δl , resulta que $E = \Delta l/l$, que es la medida de la medida de la deformación por tracción, y se le da el nombre de alargamiento relativo.

– Otro tipo de deformación es el *cizallamiento*. La fuerza actúa de forma tangente provocando una deformación, deformando el ángulo de las caras del cuerpo, que se llama ángulo de cizallamiento.

– Al actuar sobre un cuerpo una fuerza externa de deformación, la distancia entre los átomos varía. Este hecho lleva a la aparición de fuerzas internas que tienden a volver los átomos a las posiciones iniciales. Como medida de estas fuerzas interviene la *tensión mecánica* (o, simplemente, la tensión).

– La tensión no se mide directamente. En una serie de casos ésta se puede calcular por intermedio de las fuerzas externas que actúan sobre el cuerpo. De modo indirecto la tensión se puede determinar basándose en ciertos efectos físicos.

– Con arreglo a la deformación por tracción la tensión se puede expresar como relación de la fuerza al área de sección transversal de la barra (F/S).

– Para la deformación de cizallamiento la tensión viene expresada como relación de la fuerza al área con respecto de la cara a la cual la fuerza es tangente; en este caso se llama *tensión tangente*.

– Las pequeñas deformaciones elásticas están sujetas a la Ley de Hooke, de acuerdo con la cual la tensión es proporcional a la deformación.

– Una curva experimental de tracción puede ser representada en un eje de ordenadas (Fig. 4.1); el tramo OA corresponde a las deformidades elásticas, y el punto B al límite de elasticidad, que caracteriza aquella tensión máxima para la cual todavía no tienen lugar deformaciones que quedan en el cuerpo después de quitar la tensión (deformaciones residuales).»

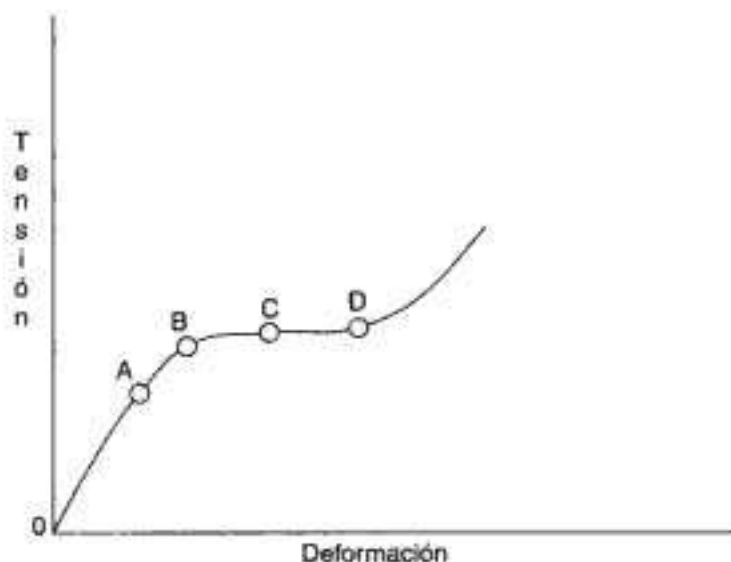


Figura 4.1.

El tramo horizontal *CD* de la curva de tracción corresponde al *límite de fluencia*, o sea, la tensión empezando, por la cual la deformación se acrecienta sin aumentar la tensión. Y, finalmente, la tensión determinada por la máxima carga que se soporta antes de la destrucción es el límite de *resistencia a la rotura*. (Ref. A. Remizov, o.c.)

– «Entre las propiedades elásticas de los monómeros (molécula individual de peso molecular relativamente bajo) cristalinos y de los materiales polímeros (elevado peso molecular) existe una enorme diferencia de principio, por ejemplo el acero, dentro de los límites de su resistencia, se rompe ya durante la tracción en 0,3 %, mientras que las gomas se pueden extender hasta un 300 %. Este fenómeno está relacionado con el mecanismo –cualitativamente distinto– de elasticidad de los compuestos macromoleculares. Durante la deformación de los sólidos cristalinos, por ejemplo el acero, las fuerzas elásticas se determinan totalmente por la variación de las distancias interatómicas.

– La estructura de los compuestos macromoleculares no es regular; estos compuestos están constituidos por moléculas flexibles muy largas, y dobladas caprichosamente, con la particularidad de que las partes de las moléculas se encuentran en movimiento térmico desordenado de modo que su forma y longitud varían con el tiempo. Al aplicar una carga las moléculas se enderezan y su longitud aumenta; después de quitar la carga, debido al movimiento térmico desordenado, la longitud de la molécula se restituye y la muestra se acorta. La elasticidad inherente a los polímeros se denomina *elasticidad cauchoide* (alta elasticidad).

– En cierta medida, los procesos que se operan en el polímero durante la fluencia corresponden al flujo del líquido viscoso. Prácticamente todos los materiales poseen fluencia (*creep*); por impacto de una carga constante tiene lugar su deformación *. En los polímeros, el enderezamiento de las moléculas al someter el material a la carga y el deslizamiento de las macromoléculas se produce más prolongadamente que, por ejemplo, la fluencia de los metales».

– «En cierta medida los procesos que se operan en el polímero durante la fluencia corresponden al flujo del líquido viscoso. La combinación del flujo viscoso y de la alta elasticidad permite dar a la deformación característica para los polímeros el nombre de *viscoelástica*.

– Es conveniente la simulación de las propiedades elásticas y viscosas de los cuerpos; este procedimiento da la posibilidad de formar una idea más patente acerca de las propiedades mecánicas de los objetos biológicos».

El mismo Remizov distingue entre:

a) *Propiedades mecánicas activas de los sistemas biológicos*. Procesos relacionados con la movilidad biológica (contracción muscular, crecimiento de las células, etc.), determinados por procesos químicos que se asegura energéticamente por el ácido adenosintrifosfórico (ATP).

* La fluencia es la deformación lenta que experimenta un material sometido a una carga permanente.

b) Propiedades mecánicas pasivas de los cuerpos biológicos.

Como objeto técnico el tejido biológico es material de composición, formado por la combinación volumétrica de componentes heterogéneos. Las propiedades mecánicas del tejido biológico se diferencian de las propiedades mecánicas de cada componente tomado por separado. Los métodos de determinación de las propiedades mecánicas de los tejidos biológicos son análogos a los de determinación de estas propiedades para los materiales técnicos.

Dentro de este apartado, como materiales principales el autor citado considera: tejido óseo, la piel, los músculos y el tejido de los vasos sanguíneos.

Tejido óseo. El hueso es el material básico del aparato locomotor; de forma simplificada se puede considerar que 2/3 partes de la masa de tejido óseo compacto (0,5 del volumen) la constituye el material inorgánico, la sustancia mineral del hueso: la hidroxapatita. Esta sustancia está representada en forma de cristales microscópicos. El resto del hueso consta de material orgánico, principalmente, de colágeno (compuesto macromolecular, proteína fibrosa que posee alta elasticidad). Los minúsculos cristales de hidroxapatita están situados entre las fibras del colágeno (fibrillas).

La resistencia del tejido óseo es de 2.400 kg/m^2 (punto de ruptura). Sus propiedades dependen de muchos factores, incluyendo la edad, las condiciones individuales de crecimiento del organismo y, naturalmente, la parte del organismo.

La estructura de composición del hueso le imparte las propiedades mecánicas necesarias: la dureza, la elasticidad y la resistencia mecánica. La relación entre tensión y deformación para el tejido óseo tiene aproximadamente la que se representa en esta gráfica (es decir, semejante a la relación análoga para el cuerpo sólido) (Fig. 4.2).

Las curvas de fluencia del tejido óseo compacto se representan de forma aproximada en la Figura 4.3.

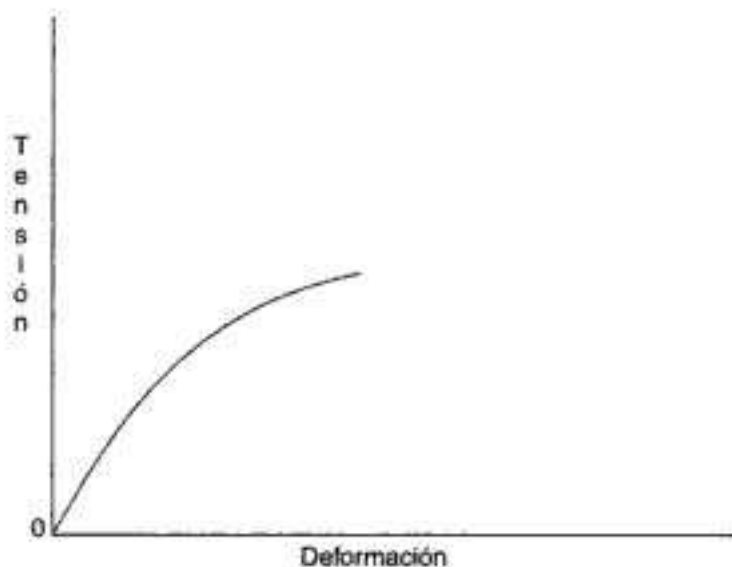


Figura 4.2.

De modo esquemático se puede deducir que el contenido mineral del hueso asegura una rápida deformación mientras que la parte polímera (el colágeno) determina la fluencia.

La piel. Este tejido consta de las fibras de colágeno, de la elastina (al igual que el colágeno es una proteína fibrosa) y del tejido principal, matriz. El colágeno constituye cerca del 75 % de la masa seca, y la elastina cerca del 4 %. La elastina se estira de modo muy fuerte (hasta 200 ... 300 %), aproximadamente como la goma. El colágeno puede estirarse hasta el 10 %, lo que corresponde a la fibra de kaprón. De lo dicho queda claro que la piel es un material viscoelástico con propiedades altamente elásticas; se estira y alarga bien.

Músculos. En su composición entra el tejido conjuntivo, el cual, a su vez, se compone de fibras de colágeno y de elastina; por esta razón las propiedades mecánicas de los músculos son semejantes a las de los polímeros.

Los músculos lisos se pueden estirar considerablemente, sin especial tensión, hecho que contribuye al aumento del volumen de los órganos huecos, o por ejemplo, de la vejiga urinaria.

En el comportamiento mecánico de los músculos se observa que para una extensión rápida a una magnitud determinada la tensión incrementa bruscamente y luego disminuye (conservando una tensión remanente). Para el músculo esquelético la relación deformación-tensión no es lineal.

Tejido de los vasos sanguíneos. Las propiedades mecánicas de los vasos sanguíneos se determinan, principalmente, por las propiedades del colágeno, de la elastina y de las fibras musculares lisas. El contenido de estos componentes del tejido vascular varía para el curso del sistema sanguíneo; la relación entre

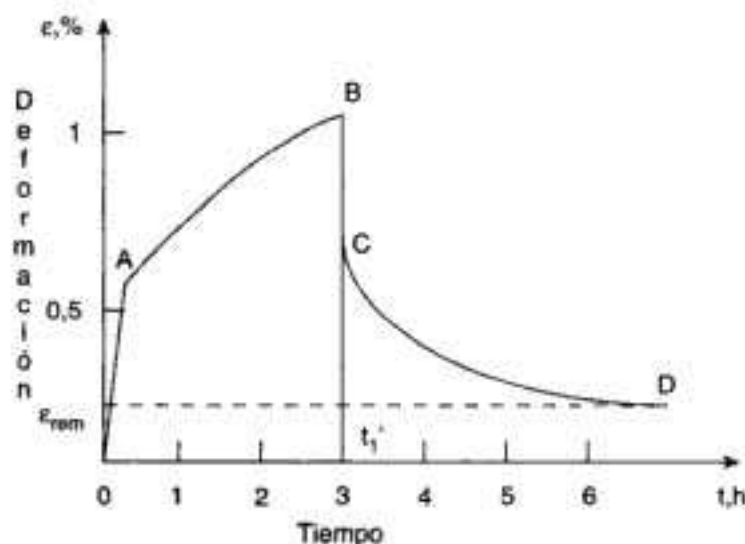


Figura 4.3. OA corresponde a la deformación rápida y AB a la fluencia. En el momento t_1 correspondiente al punto B se ha quitado la carga. La porción BC corresponde a la deformación rápida de contracción, y CD a la fluencia inversa. Como resultado, incluso en un lapso prolongado, la muestra de hueso no restablece sus dimensiones anteriores conservando cierta deformación remanente (E_{rem}) (Ref. A. Remizov, o.c.).

la elastina y el colágeno en la arteria carótida común es de 2:1, y en la arteria femoral es de 1:2. A medida de alejarse del corazón aumenta la parte perteneciente a las fibras musculares lisas, y en las arteriolas estas ya constituyen la componente principal del tejido vascular.

En *conclusión*, el conocimiento de las propiedades mecánicas pasivas de los tejidos biológicos ha de aprovechar en distintas áreas de la investigación, y tiene su importancia en las diferentes ramas y direcciones de la medicina, entre otras en la traumatología (pues los problemas de la acción mecánica son determinantes) y medicina pericial y forense (es necesario conocer la estabilidad de las estructuras biológicas respecto a diferentes deformaciones).

Remitiéndose ahora al choque, cuando un cuerpo de masa m y velocidad v se encuentra en su camino con otro de masa m' y velocidad v' , el movimiento de ambos se modifica (recibiendo tal fenómeno el nombre de choque), el cual a su vez puede ser central o directo, si el movimiento tiene lugar en dirección perpendicular al plano tangente común a los dos cuerpos, trazado por el punto de encuentro, y oblicuo, en caso contrario.

Los efectos varían según que los cuerpos estén o no provistos de elasticidad. Si se trata de un *cuerpo inelástico* en un cierto instante el choque que tiene lugar originará una deformación persistente que consumirá cierta cantidad de energía cinética, y los cuerpos se moverán con una velocidad común u en lo sucesivo.

La cantidad de energía inicial será:

$$1/2 mv^2 + 1/2 m'v'^2$$

La cantidad de energía cinética final valdrá análogamente:

$$1/2 (m + m')^2 u^2$$

Si se trata de *cuerpos elásticos*, el intervalo de choque se puede considerar dividido en dos periodos: durante el primer período cada uno de los cuerpos se deforma y, por efecto de la deformación, hay puntos del primero que avanzan respecto al conjunto del mismo, y, en cambio, hay puntos del segundo que retroceden; avances y retrocesos constituyen precisamente la deformación. De ello resulta que la cantidad total de energía cinética del primero aumenta, en tanto que disminuye la del segundo, y al terminar el primer semiperiodo los dos cuerpos se mueven con una velocidad común u , habiéndose transformado en energía potencial la misma cantidad de energía cinética que en el primer caso.

Durante el segundo semiperiodo entran en juego las fuerzas elásticas que allí no actuaban y toda la energía potencial acumulada vuelve a revestir la forma cinética; es decir, las deformaciones desaparecen: el primer cuerpo aumenta la velocidad nuevamente y el segundo disminuye más, por lo que al fin del periodo los dos cuerpos se separan, y el efecto es el mismo que si cierta cantidad de energía cinética se hubiera transportado desde el cuerpo que choca al chocado. Finalmente, si el cuerpo móvil choca con un obstáculo de

masa muy superior a la suya, retrocede con una velocidad igual y de sentido opuesto a la que llevaba.

Por otra parte, hay que considerar que el movimiento mecánico de los seres vivos se pone de manifiesto por²:

a) desplazamiento de todo el biosistema respecto a su entorno (medio, apoyo, cuerpos físicos), y

b) la deformación del biosistema mismo, o sea, el desplazamiento de algunas de sus partes respecto a otras.

Los tejidos se ven afectados por la acción del movimiento; tratándose del tejido óseo, su resistencia es menor en situaciones dinámicas, ya que la magnitud de la fuerza se ve incrementada por un nuevo factor, proporcional a la masa y al cuadrado de la velocidad con que se efectúa ese movimiento (Ley de Steinder).

Cuando se produce un hecho traumático por un accidente de tráfico, el biosistema humano va a experimentar una deformación, de tipo variable, según la intensidad del impacto, el cual, además de la impronta, pueda dejar en su proyección más directa (lesión *in situ*) otros efectos, en la manera que «toda fuerza o carga aplicada sobre un cuerpo hay que analizarla bajo aspectos de incidencia, asimilación, distribución y traslación»³; esto quiere decir que no basta con la apreciación de esa lesión local, directamente observable, pues muchas veces sus consecuencias se despliegan también a distancia.

Esas mismas consecuencias han de ser estudiadas siguiendo un orden secuencial, tal que «la fuerza o carga incide y es analizada positiva o negativamente: asimilada o rechazada; la asimilada es distribuida en función de la magnitud incidente, provocando la descomposición asimilativa; la distribuida, descompuesta, es trasladada a otros sectores del organismo, promoviendo nuevas distribuciones, descompensaciones y traslaciones que concluyen con la asimilación de una parte de la carga y trasladada al resto»⁴.

Estos aspectos, que en realidad responden a las leyes físicas de descomposición de fuerzas, tienen especial interés, entre otros, en los traumatismos craneales y sus efectos en masa cerebral (como luego se indicará) a veces apreciables, en zonas distintas de donde se produjo el impacto, con la evidencia de focos eléctricamente activos.

Por lo dicho, es de enorme importancia que la seguridad pasiva de los vehículos se vea aumentada, y por tal seguridad se entiende «la capacidad del vehículo para reducir, amortiguar o disminuir las repercusiones de las colisiones en el habitáculo de los pasajeros, preservándolos de las deformaciones peligrosas»⁵.

² Donskoi D, Zatsiorski V, o. c., pág. 12.

³ Hernández Corvo, *Morfología funcional deportiva*, Barcelona, Editorial Paidotribo, S.A., 1989.

⁴ Hernández Corvo, o. c.

⁵ González Martín F, *La carrocería del automóvil como elemento de seguridad*, Madrid, Mapfre Seguridad, n.º 18, 1985. (Según el autor que se acaba de citar, la seguridad activa de los vehículos está constituida por «todas aquellas características que hacen que el vehículo se comporte adecuadamente durante su marcha, reduciendo las posibilidades o riesgos de accidente; estas características son, entre otras, las que posibilitan la buena visibilidad al conductor, garantizan el buen comportamiento en las curvas y frenadas y, en suma, hacen que la conducción sea más adecuada».)

PRINCIPIOS CINESIOLÓGICOS DEL APARATO LOCOMOTOR ⁶

La cinesiología, o ciencia que se ocupa del estudio analítico del aparato locomotor en cuanto a la vida de relación y de las alteraciones o cambios que en esta puedan darse, Steindler la definió como «aquella parte de la fisiología del movimiento que estudia éste en tanto es producido por la acción de las fuerzas mecánicas». Cualquiera que sea su definición es indudable que hay que contar con la mecánica.

Y no sólo estudia, pues, la vertiente funcional normal del aparato locomotor, sino los estados derivados de distintas alteraciones de la misma (cinesiología patológica o *patomecánica*).

Principios cinesiológicos en relación con el sistema óseo

La estructuración del sistema óseo se basa en el sistema denominado ortogonalidad, que consiste en el cruce en ángulos rectos de distintos sistemas lamelares. Su función mecánica deriva de apoyos directos según los esquemas fundamentales de arcos de descarga, como sucede en el fémur, o sobre todo, de viga calzada sobre columnas, de la cual el ejemplo típico es la pelvis descansando sobre ambas caderas. Se prescinde, por no tener interés cinesiológico directo, de las otras funciones del esqueleto, a saber, como reservorio mineral y como elemento hematogénico.

Ahora bien, esta estructuración, esta función mecánica, puede verse alterada por la acción de fuerzas anómalas, ante las cuales se amoldan. Así se irrogan cambios que tienden a acoplar el aparato locomotor a la nueva situación. Todo esto, que entronca directamente con las situaciones estudiadas en cada segmento del aparato locomotor, viene regido por las siguientes leyes biológicas:

Leyes de la reconstrucción o de las transformaciones del tejido óseo

a) *Ley de Wolff*. «Las trabéculas óseas son capaces de reorientarse ante nuevas circunstancias, dentro de la máxima economía, manteniéndose en un campo de casi perfección matemática de acuerdo con principios clave de la ingeniería y a través de un simple proceso de absorción y aposición ósea». Esta ley, muy discutida, posee suficiente envergadura para seguir manteniéndose hoy día en un plano de prioridad.

⁶ Hernández Gómez R. *Temas de biomecánica y patomecánica*. Edita Instituto Nacional de Servicios Sociales (INSERSO), Madrid, 1987, págs. 12-25.

b) *Ley de Roux*. Equivale a la confirmación de la ley anterior y expresa que «la reorientación de los sistemas trabeculares tiene lugar de acuerdo con la acción de las distintas fuerzas de tracción y de presión, siempre dentro de la máxima economía de material».

Ley de la elasticidad de Hooke

«Existe una relación aritmética constante entre la fuerza de tracción que actúa y la elongación ósea que produce». La fuerza necesaria para elongar un cuerpo hasta donde doble su longitud se denomina «módulo de elasticidad de Young», y para el hueso es de 2.000 kg/mm^2 . El punto de rotura ante fuerzas de tracción sobreviene siempre antes y es, por tanto, fracción de este módulo. En el hueso aislado el punto de rotura sobreviene con tracciones de 10 kg/mm^2 y equivale, por consiguiente, al $1/200$ del módulo de Young para el tejido óseo.

Leyes de presión

Cuando las fuerzas que actúan sobre el tejido óseo son de presión, se han venido admitiendo clásicamente dos leyes, aparentemente antagónicas:

a) *Ley de Wolff*. «Las partes óseas sometidas a presión experimentan un estímulo que produce su crecimiento».

b) *Ley de Volkmann*. «Las partes óseas sometidas a presión sufren atrofia, en tanto que no la reciben experimentan un crecimiento acentuado.» Esta ley también se llama ley de Hueter-Volkmann o de Delpech.

Este antagonismo se ha pretendido explicar considerando que la ley de Wolff se refiere al periostio y la ley de Volkmann al cartilago de conjunción, pero lo que verdaderamente aclara la situación es el conjunto de hechos experimentales que, en principio, y en homenaje a las investigaciones que realizó en este campo, denominados «ley de Jores», «pero que también expresamos desde hace años bajo el epígrafe de “ley de las presiones”, siendo equivalentes ambas denominaciones, frutos de estudios personales» (Hernández Gómez).

c) *Ley de Jores*: «Las fuerzas de presión, al actuar sobre el hueso, estimulan su crecimiento, siempre que no sobrepasen determinado umbral, pasado el cual motivan su atrofia». Este umbral de inversión del efecto de la presión no depende sólo de la magnitud de la fuerza actuante, sino del tiempo durante el que se mantiene. Aún más: *cuando esta fuerza ejerce su acción de un modo intermitente motiva la reacción del hueso en forma de puentes y picos, tan típicos de la columna vertebral*.

Finalmente, la resistencia ósea a la presión es mayor que a la tracción y sobrepasa los 15 kg/mm^2 . Sin embargo, esto se cumple únicamente con el hueso en reposo. Cuando existe un factor en movimiento (caída) la rotura sobreviene mucho antes, según la siguiente ley.

d) *Ley de Steinder*. «La resistencia del tejido óseo a las fuerzas de presión es menor en situaciones dinámicas, ya que entonces la magnitud de la fuerza se ve incrementada por un nuevo factor, proporcional a la masa del cuerpo en movimiento y al cuadrado de la velocidad a que se efectúa el movimiento».

Principios cinesiológicos en relación con el sistema muscular

La vertiente más importante de la función muscular es su contractilidad. Entre los distintos principios que gobiernan la acción muscular hay que invocar la «ley del todo o nada», en tanto que «la fibra muscular no es capaz de dar una respuesta gradual; o bien se contrae al máximo o no efectúa contracción ninguna».

Cuando la acción muscular ha de ser incrementada en su intensidad lo hace a expensas de un mayor número de fibras actuantes, cada una de ellas contráida de forma máxima. Si esta acción muscular ha de ser mantenida, se establece una especie de relevo rotatorio de distintas fibras musculares, de tal forma que las que han mantenido la contracción pasan a fase de relajación cediendo el paso en su acción a otro grupo distinto de fibras musculares.

Esta «ley de rotación de las fibras en el efecto contráctil», negada por algunos autores, y denominada generalmente ley de la asincronía, contribuye poderosamente a retardar la fatiga muscular. En esfuerzos máximos el número de fibras en contracción simultánea aumenta proporcionalmente al trabajo exigido y las posibilidades de relevo en la acción parcial disminuyen, con lo que la fatiga sobreviene antes. Este esquema se basa en gran parte en la estructuración de las fibras musculares en unidades motoras.

Otro principio que hay que continuar admitiendo, con todas las reservas que se quiera, es el denominado principio de la inervación recíproca de Sherrington: «existe una correlación funcional en la inervación de los distintos músculos del aparato locomotor, de forma que al contraerse un grupo muscular su antagonista se relaja de forma simultánea».

Pero dado que no se produce relajación mecánica, ni siquiera en el cadáver, es mejor hablar de «contracción-decontracción». Aún más, proponemos, siguiendo a Mac Conaill, que se acepte la existencia, en el seno de la contracción isotónica sobre todo, de dos componentes activos, «contracción concéntrica», cuando ambos extremos musculares tienden a aproximarse, y «contracción excéntrica», cuando tienden a separarse. Con ello el principio de Sherrington permanecerá siendo válido sin más que cambiar de forma adecuada su enunciado, diciendo que «cuando un músculo o grupo muscular se contrae en el modo concéntrico sus antagonistas se contraen según el modo excéntrico».

Sin embargo, la contracción muscular y sus leyes no son sino el comienzo de una serie de hechos cinesiológicos cuyo conjunto constituye la *mecánica muscular*. Y el primer dato que ofrece el estudio de la mecánica muscular es el de que la contracción muscular no siempre está destinada a conseguir movimiento. En efecto, cada músculo al contraerse imparte una aceleración, y esta aceleración trata, por un lado, de aproximar una a la otra o ambas superficies de la articulación sobre la que está actuando, mientras, por el otro, se dirige a mover los segmentos óseos sobre los cuales actúa por medio de inserciones, originando movimiento. En el primer caso, la aceleración es tangencial y el músculo actúa como elemento estabilizador. En el segundo, en cambio, la aceleración tiene una dirección perpendicular a la anterior, o bien tiende a ella, y el

resultado es que el músculo adquiere una acción rotatoria, es decir, que produce un movimiento de las partes sobre las que actúa (Fig. 4.4).

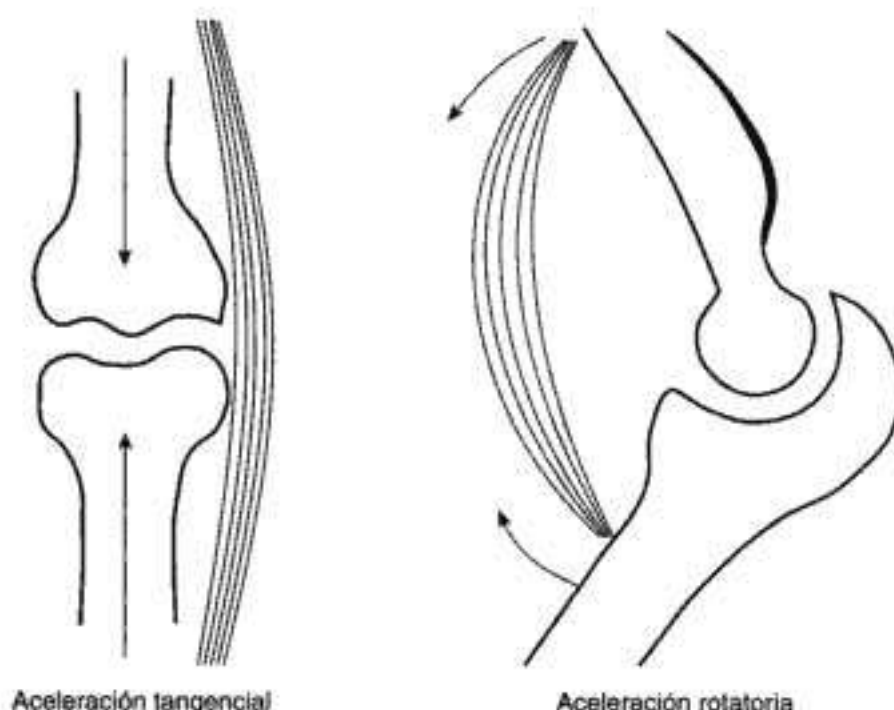


Figura 4.4. Representación esquemática de la aceleración tangencial y aceleración rotatoria, según Hernández Gómez, o.c.

Por consiguiente, el músculo posee dos acciones o posibilidades funcionales:

- Componente *estabilizador*: mediante el cual contribuye a mantener en posición los distintos segmentos del aparato locomotor.
- Componente *rotador*: permite la movilidad en el espacio de los segmentos.

En general, el componente estabilizador predomina sobre el rotador (salvo casos especiales, como el pectoral mayor).

El trabajo de un músculo equivale al producto de su superficie de sección multiplicada por el acortamiento sufrido por el músculo al contraerse, esto es, «la tensión total que es capaz de desarrollar un músculo está en razón directa con su sección y viene dada matemáticamente por la cifra de $3,6 \text{ kg/cm}^2$ » (ley de Recklienghausen). En cuanto al acortamiento muscular contráctil se puede reseñar, más por su carácter de esquema orientador que por su valor absoluto, la denominada ley de Webwe-Fick, según la cual «la longitud total del músculo en reposo es el doble de la longitud que este mismo músculo posee cuando se haya contraído al máximo».

Principios cinesiológicos en relación con el sistema articular

Los movimientos que pueden realizar las articulaciones son de acuerdo con uno de los tres siguientes temas:

a) *Deslizamiento*. De las dos superficies articulares que componen una articulación, una de ellas se desplaza sobre la otra de forma tal que un punto cualquiera considerado sobre la primera de las superficies va contactando de manera sucesiva con distintos puntos correlativos situados en la segunda. Ejemplo típico (Roud) lo constituye el patinazo de la rueda de un vehículo al frenar éste súbitamente en su marcha y desplazarse sobre el suelo por efecto de su fuerza viva.

b) *Giro*. Dos puntos contactando, situados cada uno en una de las dos superficies de una articulación, se van a separar o aproximarse al moverse ésta de tal forma que cada una guarda la misma distancia que el opuesto con relación al punto de contacto inicial. Es el caso que representa una rueda girando.

c) *Rotación axial*. El eje de una de las diáfisis osteoarticular sirve de centro de movimiento a la otra, describiendo los puntos de contacto de las dos superficies de la zona articular, círculos que se mueven en sentido contrario. Ejemplos son el movimiento del atlas sobre la odontoides del axis y de la articulación radiocubital superior.

Sin embargo, la movilidad articular adquiere verdadera importancia cinesiológica cuando son varias las articulaciones que intervienen en un movimiento, dando lugar a distintas cadenas cinéticas (cinemáticas). Y se denomina cadena cinética a la combinación de articulaciones dando lugar a una unidad motora compleja (Steindler). Ahora bien, dentro de un esquema de acción, las cadenas cinéticas se clasifican en tres tipos:

a) *Cadena cinética abierta*. Cuando la resistencia que se encuentra en su porción distal puede ser vencida, con lo que se realiza movimiento.

b) *Cadena cinética cerrada*. Cuando existe una resistencia periférica que no se puede vencer, quedando anclada en sus distintos componentes articulares, con lo cual no llega a producirse ningún movimiento. Ejemplo, al empujar un obstáculo insuperable.

c) *Cadena cinética abierta invertida*. Cuando se intenta vencer una resistencia, que resulta excesiva para nuestras fuerzas, y no se supera, y, además, se produce un movimiento que se vuelve contra nosotros.

Principios cinesiológicos en relación con la coordinación músculo-articular

Los actos motores derivan de cadenas cinéticas, cada una de las cuales deriva a su vez de una sucesión de movimientos articulares. Estos movimientos articulares, producidos por el sistema muscular en su acción rotadora, no son sino

ángulos que los distintos segmentos del aparato locomotor van componiendo en el espacio, ángulos que tienen vértice en cada una de las distintas articulaciones.

La combinación de movimientos rotatorios y angulares se traduce en distintos cambios de posición en el espacio y, aún más, en desplazamientos a través del mismo. En general, los actos de la vida motora están integrados por la combinación del «efecto traslatorio» y «suma del efecto rotatorio» (efecto que permite incrementar la capacidad de acción del aparato locomotor) de tal forma que alcanzan esquemas de gran complejidad y que permiten gran riqueza de movimientos.

Especial consideración de la cadena cinética abierta invertida (CCAI) en la producción de fracturas y otras lesiones ⁷

El concepto de cadena cinética abierta invertida (CCAI) viene a llenar el vacío establecido entre las situaciones de cadena cinética abierta (CCA) y cadena cinética cerrada (CCC), e implica la producción de movimiento, lo cual no sucede en los casos de CCC. En la CCA existe en cambio movimiento, pero este movimiento sigue la dirección que ha marcado los músculos que la engendran.

En la CCAI la dirección pretendida por el esfuerzo muscular se invierte, y toma la dirección opuesta, que es la que sigue el movimiento realizado a la postre. Ejemplos típicos son subir escalones, andar, saltar. En estos casos, se pretende hundir el pie en el escalón, en el suelo, pero al no ceder éstos, el individuo se ve obligado a remontarse sobre ellos, con lo que se consigue la importante forma de movimiento de traslación. Existen muchas situaciones, tales como las de escribir, pintar, esculpir, atornillar, en las cuales las dos situaciones creadoras de movimiento, CCA y CCAI, se superponen, imbrican o suceden.

La actividad de los seres vivos se apoya, en una gran parte, en esquemas de CCAI, tanto en situaciones de normalidad como de engarce en lo patológico. Así, un futbolista cae, todo su cuerpo es atraído hacia el suelo, pero un pie queda atrapado en el césped; los músculos de la extremidad comprometida no siguen al principio la dirección de la caída, sino que intentan desatorar el freno distal sobre la tierra. De conseguirlo el miembro, antes apresado, sigue la dirección del resto y todo se reduce a los resultados del golpe y forma de caída. Pero de no conseguirlo, quedando el pie atrapado, al ser mucho mayor la masa del cuerpo, la CCA se invierte en los músculos de la extremidad atorada, el movimiento se dirige hacia la pelvis, y si se propasa la elasticidad de los tejidos se producirán lesiones, primero en los ligamentos del tobillo, luego en los de la rodilla, en los meniscos, y, si la fuerza es suficiente, surgirán roturas en las estructuras óseas.

⁷ Trabajo facilitado por Hernández Gómez (enero/98). Repárese en que el autor se remite expresamente al término cadena cinética, el lugar de cinemática, probablemente para incidir de forma más expresa en el aspecto dinámico de las estructuras puestas en movimiento.

Algo similar sucede en los accidentes de motocicletas y de automóvil, cuando el cuerpo es eyectado hacia afuera, quedando aprisionada dentro del habitáculo alguna porción de una extremidad inferior. Las caídas propiamente dichas, como son tan frecuentes en motoristas, o las que se pueden sufrir en un salto, poseen mecánica similar. El cuerpo, la porción del mismo que contacta con el suelo, pretende hundirse en él, y como no lo consigue, o aun lográndolo parcialmente, se establece una CCAI, tanto más evidente cuanto mayor sea la magnitud del impacto.

Por supuesto, juega la capacidad elástica de las estructuras somáticas, máxima en los ligamentos, intermedia en las zonas cartilaginosas, mínima en el tejido óseo. Un esguince, si la agresión lesiva no es demasiado intensa, puede salvar de una rotura a los ligamentos, y una rotura ligamentosa atenuará el peligro de fractura en el esqueleto. Recordemos que la estructuración laminar del tejido óseo permite a éste respuestas óptimas, aunque relativas, ante fuerzas de presión, pero se encuentra en cambio casi indefenso frente a los esfuerzos de flexión, torsión, cizallamiento.

Es importante el concepto que se tenga en relación con las denominadas lesiones tardías, frecuentes sobre todo a nivel de la cadera. Se acepta que aparecen en un periodo de tiempo variable, posterior al momento traumático, sucedido sobre todo en vehículos, que suelen operar sobre alteraciones previas en estado de latencia, si bien el accidente actúa de elemento descendente, agravando tal estado anterior, pudiendo conformar con el tiempo una secuela importante.

Gran interés tiene este campo para la columna vertebral. En primer término por la frecuencia de lesiones en esta estructura; en segundo lugar por el defectuoso conocimiento que se suele tener acerca del comportamiento del raquis humano. Un ejemplo corriente es el de las fracturas en vértebras en tramos dorsal y lumbar, sin olvidar las alteraciones surgidas a nivel cervical. Caso típico es el de la zambullida en volumen insuficiente de agua, superponible al de las caídas del motorista, eyección del ocupante de un automóvil, al salir despedido del habitáculo, y, también, precipitación de trabajadores de la construcción desde altura.

En estos casos, la CCA se ve cortada por la colisión; los brazos, que intentan amparar el efecto del impacto, suelen ceder, plegándose en un esquema de CCAI, pero la cabeza poco puede hacer, desde la que se transmite un esquema súbito de también CCAI, que producirá primero esguinces y roturas ligamentosas, pero también en seguida roturas vertebrales que tendrán lugar de acuerdo con la elasticidad de cada segmento raquídeo, pero igualmente según la intensidad del choque en juego, produciéndose lesiones en zonas más próximas al punto del impacto cuanto más intenso sea éste.

Otra situación frecuente es la determinada por el «latigazo» cervical, con ocasión de los accidentes de automóvil. La CCA, desencadenada por el impacto, se invierte ante la inercia que crea el peso del cráneo, que produce un efecto similar al de las boleadoras argentinas, el cual no puede verse cumplido por la propia estructura de la zona, pero, sobre todo, por la súbita contracción de los músculos de la nuca y cuello. Con ello no sólo se pretende detener el desplazamiento craneal sino que se crea una auténtica CCAI. (Algo parecido sucede con

los boxeadores, cuyo cráneo se tiende a desplazar en CCA como resultado del impacto del puño, aunque pronto responde, a expensas de sus músculos, en esquema de CCAI).

A nivel lumbar, la respuesta igualmente es similar, cuando el conductor sentado sufre el impacto por colisión. La fuerte musculatura lumbar tratará de convertir en CCAI la CCA desencadenada por el impulso del choque. Aunque la situación puede tener lugar en motoristas, en éstos es más frecuente el mecanismo de lanzamiento en zambullida antes mencionado, donde la inversión de la dirección del trayecto se hace al contactar con el suelo u otro objeto. Si se trata de un motorista, adviértase que el casco sólo puede absorber parte del impulso que crea la CCAI al establecerse. Cuando, como suele suceder, ésta alcanza suficiente envergadura, en función de la intensidad del choque, la fuerza no absorbida seguirá su camino destructor a lo largo de los diferentes segmentos motores, siempre según el esquema citado de CCAI.

En resumen, es importante conocer la situación mecánica que se ha denominado como «cadena cinética abierta invertida», no sólo para comprender mejor la producción de lesiones, sino para ser capaces de idear mecanismos y sistemas de protección cada vez mejores para evitar esas lesiones, o, al menos, paliar su intensidad.

ASPECTOS DEL ACCIDENTE DE INTERÉS CINEMÁTICO

Por el modo que tuvo lugar el accidente ^a

Choque (contra elementos fijos).

Colisión, que a su vez puede ser:

– Colisión frontal:

- Central (ejes longitudinales coincidentes).
- Excéntrica (ejes longitudinales paralelos).
- Angular (ejes longitudinales en ángulo menor de 90°).

– Colisión en embestida:

- Perpendicular (los ejes longitudinales en ángulo de 90°).
- Oblicua (ángulo distinto a 90°).
- Anteriores centrales, posteriores, derechos e izquierdos.
- Colisión refleja (en colisiones sucesivas).

Alcance.

Raspado.

Salida de la vía (total o parcial).

- Con vuelco o salto.
- Sin salto.

^a *Investigación de accidentes de tráfico*, o. c. (Si bien este texto se ha recogido en parte en el epígrafe correspondiente a Clases de accidentes, se reproduce aquí de nuevo, con el fin de facilitar la asimilación de la materia).

Atropello.

- Peatón, animal.
- Bicicleta, ciclomotor.

Otras modalidades.

- Incendios, explosiones.
- Caída del usuario a la calzada, a cauces de agua.

Fases del accidente

Con carácter previo, conviene tener en cuenta, en el análisis de los acontecimientos involucrados en el accidente de tráfico, y con carácter general, los siguientes aspectos *:

- *La infraestructura*: sin que a priori tenga un papel en la configuración del accidente.
- *El acontecimiento inicial en el origen del accidente*: si bien el accidente a menudo es producto de varios factores, es posible considerar un primero que rompe el equilibrio, aun cuando éste no sea el acontecimiento determinante del accidente.
- *El sistema de «desfallecimiento» que origina el accidente*: se proponen seis sistemas iniciales:
 - El conductor: problemas ligados al estado psicofisiológico del conductor (fatiga, problemas de salud, etc.) que van a entrañar una disminución de sus capacidades, atención débil, distracción, etc.).
 - El entorno del conductor: problemas ligados a su entorno inmediato, esto es, al habitáculo (ejemplo: presencia de un insecto, reacción de un pasajero).
 - El vehículo: perturbaciones directamente ligadas al vehículo (así, problemas en un neumático).
 - La infraestructura: problemas ligados al estado de la carretera, a la señalización, vegetación que dificulta la visibilidad, desfase de los semáforos.
 - El entorno de la infraestructura. condiciones meteorológicas.
- *La disfunción del conductor*: acontecimientos eventuales que pueden estar presentes o no en el origen del acontecimiento inicial.
- *Clasificación de los acontecimientos iniciales en el conductor*. Se han estimado cinco clases:
 - Alcoholización: implicando una maniobra peligrosa, adormecimiento, etc.

* Mautuit, C., Damville, A., Desjaridins, C., todos ellos del Centro Europeo de Estudios de Seguridad y Análisis de Riesgos, CEESAR) y Thomas, C., (Laboratorio de Accidentología y Biomecánica PSA-Peugeot-Citroën/Renault), en *Analyse des Evénements initiateurs en études détaillées d'accidents* (Comunicación presentada en la 37 jornadas nacionales de Medicina de Tráfico), Annales de Medicine des Accidents et du trafic, n.º 49, noviembre, París, 1997.

- Tareas anexas. realización por el conductor de una actividad externa a la función de conducir ejemplo: regulación de la radio.
 - Inatención: agrupa los problemas ligados al control, la orientación mental y los recursos psicológicos involucrados en la tarea que debe realizar el conductor.
 - La hipovigilancia: se define como un estado psifisiológico mermado, pudiendo llegar hasta el adormecimiento.
 - Los errores de la conducción: la resolución de la tarea de conducir es incorrecta; el error se puede situar a nivel de la percepción, de la interpretación o de actuación. Ejemplo: mala evaluación de la distancia, de la situación, velocidad excesiva.
- *El tipo de accidente:* citando a Perron (1996), se estiman tres criterios de «ruptura»:
 - Accidentes de pilotaje: aquellos en que la maniobra ejecutada por el conductor hace salir el sistema de su funcionamiento, mientras que otra maniobra lo hubiera podido evitar.
 - Accidentes de maniobrabilidad: cuando las circunstancias impuestas al conductor le obligan a realizar una maniobra que le hace salir del sistema de funcionamiento de su dominio (ejemplo: un obstáculo que impone una maniobra para esquivarlo, lo que implica una pérdida de control del vehículo).
 - Accidentes ligados a las perturbaciones de la sensibilidad. Son de dos tipos:
 - Cuando la perturbación se proyecta fuera del dominio de funcionamiento del conductor (así, viento lateral, reventón de un neumático).
 - La perturbación del dominio del funcionamiento del sistema (ejemplo: un neumático con baja presión).

Hechas las consideraciones anteriores, en una primera aproximación, en el análisis cinemático del accidente se puede trabajar sobre el esquema que figura a continuación, distinguiendo las siguientes fases:

Pre-impacto

Supone un proceso integrado por fases sucesivas, en el cual se generan acciones a raíz de lo que el ocupante del vehículo interpreta como una incidencia crítica. Siendo así, el ocupante del vehículo capta una señal de alerta, lo cual implica:

- asimilar la situación: ha de interpretar (descodificar) la señal percibida; y, a continuación,
- adoptar una respuesta, consecuencia de la presión ejercida por el medio.

En esta respuesta se pone en marcha una secuencia de gestos motores (controlados unos, incontrolados los otros), interesando conocer:

a) Datos relacionados con el lesionado y el medio

– *Punto de partida* o lugar que ocupaba la víctima en el vehículo; pero además esto no basta, pues hay que considerar también la posición o *postura de partida*, en atención al lesionado de que se trate:

- conductor;
- acompañante: asiento delantero derecho, posterior, así como posición en que se hallaba en el momento de ocurrir el accidente, sentado normalmente * recostado hacia adelante, hacia atrás, lateral derecho, izquierdo, tendido sobre el asiento posterior, consciente, dormido;
- características antropométricas del lesionado (peso, estatura, sexo).

La posición del ocupante sobre el asiento ha de ser confortable, compatible con una adecuación ergonómica aceptable en el ámbito de la conducción de un vehículo, permitiendo que los distintos segmentos corporales (tronco, cadera, muslo, pierna, pie) estén en posición de equilibrio muscular. En este orden Palfer-Soller⁹, indica que es conveniente:

- Sostener los puntos sensibles de la parte alta de la espalda (2.ª vértebra) y de la charnela lumbosacra (L5-S1).
- Acomodar el asiento al sujeto, sin durezas.
- No comprimir la parte postero-inferior del muslo y la zona del hueso popliteo (para evitar el déficit circulatorio y la estasis sanguínea, en relación al trayecto femoral).
- Reposo de los pies en el suelo, de modo que alcancen los pedales, a partir de la rotación sobre el talón apoyado.
- Los brazos deben «caer» sobre el volante en posición de semiflexión, para permitir realizar de forma inmediata todas las maniobras y estar en posición fisiológica (ni demasiado separados, ni demasiado próximos).
- El cambio de velocidad ha de poder alcanzarse con el antebrazo en semiflexión sobre el brazo, y poder ser manipulado con la mano cerrada sin esfuerzo (al efecto el diámetro de la esfera del cambio de marchas ha de ser estudiado).
- El mismo principio ha de regir para el freno de mano, cualquiera que sea su condición.

* En condiciones habituales, los pasajeros adoptan una posición que puede considerarse una *variante de la sedestación*, en la que existe una colocación de los segmentos del cuerpo, actitud influenciada por la altura del asiento, inclinación del respaldo, longitud de los miembros inferiores, pero que, en términos generales, se puede estimar así: el tronco reposa directamente sobre el asiento en apoyo principal, actuando sobre las regiones glúteas, y la espalda descansa sobre el respaldo; los pies intervienen como apoyos accesorios; las caderas presentan una flexión de 90° o algo más, las rodillas se encuentran semiflexionadas a unos 120° y los tobillos presentan prácticamente una angulación normal; la columna lumbar y la dorsal baja se encuentran aplicadas y apoyadas sobre el respaldo, favoreciendo la flexión de las caderas que endereza la lordosis fisiológica. Al tener el respaldo una cierta inclinación, de unos 100°, la porción alta de la columna dorsal se flexiona ligeramente, aumentando la cifosis fisiológica en especial en el caso del conductor, y esto permite que la columna cervical, separada del respaldo, mantenga la cabeza horizontal, merced a la acción sinérgica de los equilibradores correspondientes.

Notas tomadas de Caballé Lancry, K., *Kinesiología del automovilista*, publicado en el n.º 274 de *Medicina Española*, Editorial Facta, enero 1961. Valencia

⁹ Palfer-Soller, *Le Quotidien Medica*, 28-10-1976.

- En lo que concierne a los diversos instrumentos, hay que tener en cuenta:
 - los elementos de señalización de cambio de dirección han de poder ser alcanzados con los dedos sin soltar el volante;
 - los órganos de control del tablero deben ser vistos con las manos en posición sobre el volante;
 - los colores han de ser vistos de la mejor manera posible: rojo, naranja y verde; el azul se ha de evitar en los sujetos de edad avanzada (por posible discromía);
- Las cifras impresas en el salpicadero en los diversos instrumentos interiores han de tener el tamaño adecuado, tal que se puedan ver rápidamente sin trabajo de acomodación visual.

Ahora bien, junto a esta descripción teórica, hay que tener en cuenta, al margen de otras muchas consideraciones que habría que hacer, el llamado «efecto submarino» –o, más correctamente, submarinismo– (que algunos fabricantes están intentando evitar, con el diseño de nuevos asientos) tanto en su presentación de forma brusca, como progresiva, en especial en los viajes prolongados (pues el sujeto tiende a deslizarse en el asiento en sentido caudal), lo que, como se dirá más adelante, puede tener sus consecuencias en el accidente, y ha de ser analizado en su caso. También hay que adelantar qué consideración especial merecen los niños cuando viajan como ocupantes en un automóvil.

De cualquier modo, la colocación correcta del cinturón de seguridad es de gran importancia, recordando las siguientes normas ¹⁰:

- Es esencial que la correa del cinturón pase por debajo de las espinas ilíacas anterosuperiores. Si no es así (ver Figura 4.5) nada va a detener el deslizamiento de la correa por encima de las crestas ilíacas. La cadera pasa pues por debajo: es el efecto submarino, de triste reputación en la producción de lesiones (con el riesgo de ruptura de hígado, de bazo, de colon, de mesenterio, lesiones en la columna vertebral, etc.).

- Un cinturón bien implantado y correctamente llevado debe permitir el paso de la correa por debajo de las espinas ilíacas antero-superiores; estas últimas constituyen una barrera difícilmente franqueable.

En el caso de que el cinturón de seguridad esté mal dispuesto, las consecuencias funestas de esta negligencia se explican así: «la energía de la desaceleración, en caso de choque frontal, es absorbida por los hombros, tórax y espinas ilíacas, siempre y cuando la banda toracoabdominal del cinturón ajuste de forma efectiva y la banda pelviana se apoye en las espinas ilíacas; de no ser así, la fuerza de la desaceleración contra el cinturón recae sobre estructuras más débiles, no capaces de absorber esta energía, produciéndose lesiones, frecuentemente en el abdomen, por un mecanismo en el que intervienen diversos componentes: compresión del cinturón sobre la columna vertebral (pared abdominal,

¹⁰ Patel A, Tarriere C, Got C, Honnart F, Thomas F (Paris, Garches). En: Les lésions abdominales: leur mécanisme au cours des accidents automobiles. *La Nouvelle Presse médicale*, 4-5-1974, 3, n.º 38.

intestino), aumentos de presión intrabdominal (diafragma) e intraluminal con rotura en los puntos de máxima debilidad o de fijación, y, cómo no, lesiones por desaceleración en las que el intestino lleno de aire o de líquido siguiendo su inercia provocaría tracciones importantes de los mesos, y lesiones por contusión directa» *.



El cinturón ha franqueado las espinas ilíacas anterosuperiores; continuará deslizándose sobre las crestas ilíacas.



Las espinas ilíacas anterosuperiores bloquean el cinturón en el ángulo femur ilíaco.

Figura 4.5. (Ref. Patel A, Tarriere C, Got C, o.c.).

* Ruiz Feliu B, Codina cazador A. Lesiones de la pared abdominal provocadas por el cinturón de seguridad en los accidentes de circulación, en *Acta Chirúrgica Catalanae*, 1985, vol. 6, núm. 4. (Según referencia de López-Muñiz Goñi, o.c., págs. 312 y 313). Actualmente el efecto lesivo de los cinturones de seguridad se ha visto aminorado, merced a modernos sistemas, desarrollados por algunos fabricantes, procurando que la tensión de este medio de retención del ocupante se vea ajustada a la intensidad del impacto, y la sujeción programada permite, inmediatamente, el aumento de la longitud del cinturón, con el fin de no aprisionar al cuerpo.

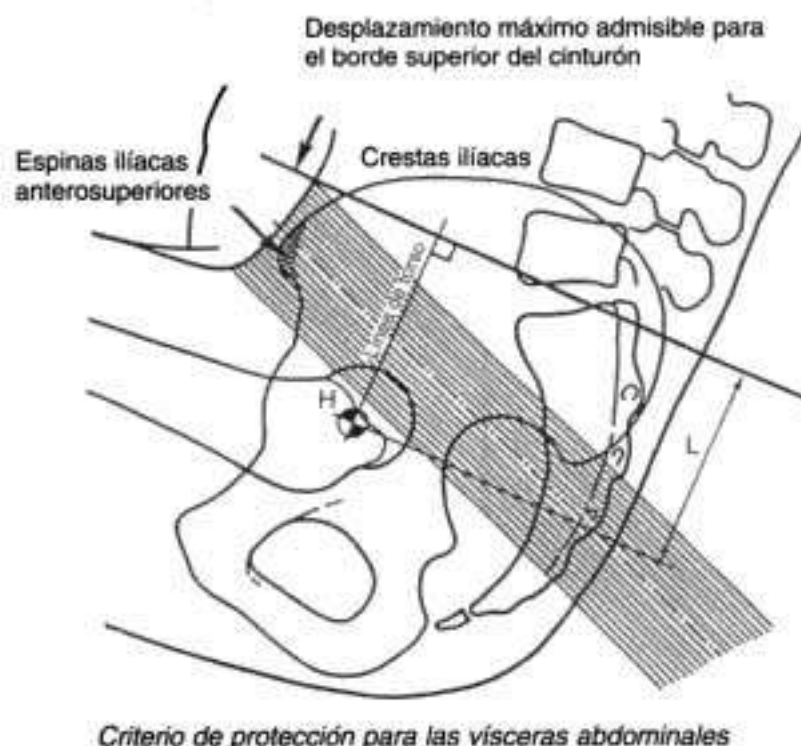


Figura 4.5. (continuación).

– *Tipo de vehículo* (automóvil particular, autobús *, ferrocarril, etc.); las características del vehículo son importantes en muchas ocasiones para determinar el cuadro lesional. «La asociación entre lesividad y clase de vehículo está en relación inversa al peso de este último» (Partyka, 1990); «en conjunto, para todos los tipos de accidente, el riesgo de fallecer en un vehículo de 900 kg de peso es 2,8 veces mayor que el de fallecer en uno de 1.800 kg. Si se consideran las colisiones entre dos vehículos, el riesgo de fallecer en el vehículo de 900 kg es trece veces superior al del vehículo de 1.800 kg»¹¹.

* De los accidentes en autobús, hay que destacar, cuando no son mortales, la especial gravedad de los mismos, apreciándose con mucha frecuencia el carácter múltiple de las lesiones en los heridos, lo que se ve favorecido por el hecho de que el pasajero viaja sin ningún tipo de sujeción al asiento (si bien está previsto que para el año 2000 todos los autobuses dispongan de cinturón de seguridad; en la actualidad pocos lo tienen), lo que explica que muchas veces sea lanzado al pasillo, golpeándose previamente en diversas partes del cuerpo (con todo cuanto encuentra en su trayectoria, así como las partes más salientes de los asientos) en especial a nivel de los hombros, cara, cráneo, para después caer al pasillo, y recibir, a su vez, el impacto de otros pasajeros que, siguiendo parecida trayectoria, se precipitan sobre el mismo, siendo determinante, en ocasiones, de traumatismos de cráneo sobreañadidos, lesiones vertebrales graves, fracturas a nivel de caderas, extremidades, etc., esto es, dando lugar a carácter multilesional de la víctima. Es por esto que el accidente de autobús merece una consideración singular. No es tanto la importancia directa del impacto (en gran medida absorbido por las estructuras del vehículo), sino lo que es más inquietante es lo que sucede dentro, lo que ocurre en el interior del habitáculo, como consecuencia de la propulsión del pasajero.

¹¹ González-Luque JC. En: *Seguridad vial y medicina del tráfico*, págs. 61 y 62 (capítulo 4: Eficacia de los dispositivos de seguridad en la prevención de los accidentes de tráfico). Barcelona, Masson, S. A., 1987.

- *Medios de seguridad* y retención del vehículo (cinturón de seguridad –y su tipo–, reposacabezas, *airbag*).
- *Detalles del habitáculo del vehículo* (posibles elementos u objetos potencialmente lesionantes; resistencia exterior).

b) La condición nerviosa de la víctima, en general

Interesa conocer en estos casos de accidente de tráfico la *condición nerviosa de la víctima*, en especial en lo que respecta a su velocidad de reacción, capacidad de coordinación de movimientos (con la sensación de constituir una sola unidad con el propio vehículo, esto es, poder desarrollar un alto grado de solidaridad en el binomio hombre-máquina), automatismo, etc., para que la víctima potencial del accidente pueda poner en marcha «su» reacción motora defensiva, ante la alerta que se crea a raíz de la percepción del fenómeno amenazante, lo que requiere, entre otras cosas, un alto grado de integración de las funciones cerebrales.

Particular importancia (especialmente en conductores) se le ha de conceder a las siguientes capacidades ¹²:

- observación de distancia –longitudinales y transversales;
- apreciación de tiempos y velocidades;
- discernimiento de ruidos;
- control emocional;
- rapidez y precisión de movimientos.

En este ámbito hay que dar entrada al *error humano*, pues es uno de los elementos que hay que considerar en el análisis del accidente de tráfico (actuando, además, en gran número de ocasiones con carácter principal). En la interrelación elemento humano-máquina-ambiente es cierto que la persona es el factor más flexible y adaptable tanto en situaciones normales como críticas, pero también es el más sensible y vulnerable.

Interesan ahora en especial los denominados errores de operación ¹³, que son los que el conductor está expuesto a cometer, aunque no siempre han de tener consecuencias graves; en tal sentido (atendiendo a su gravedad) se puede clasificar en:

- «marginales,
- críticos,
- catastróficos».

En un orden funcional, Meister y Swain clasifican el error de la siguiente forma:

- «realización incorrecta de una acción requerida;
- no realización de una acción requerida;
- realización de una acción requerida fuera de secuencia;
- realización de una acción no requerida;
- no realización de una acción requerida en el tiempo disponible».

En la génesis de error han de considerarse alteraciones en el proceso que elabora la información, pudiendo clasificarse de esta manera atendiendo a alguna de las siguientes fases:

- «percepción,
- memoria,
- procesamiento,
- decisión».

Otros autores, como Edwiynd Edwards, introducen ligeras variaciones en esta clasificación, dividiendo la ocurrencia del error en las siguientes fases:

- «fase de percepción,
- fase de valoración,
- fase de juicio,
- fase decisión».

c) El «segundo» de percepción

En concreto, igualmente se debe averiguar en qué forma asimiló el tiempo de percepción previo al impacto, imprecisamente llamado en ocasiones «segundo de percepción», aun cuando suele oscilar entre 0,50 y 2,5 segundos (Tabla 4.1), variación que viene estrechamente ligada a los condicionamientos fisiológicos que influyen en la puesta en marcha de los mecanismos reflejos del sujeto y de la capacidad de reacción en general, que se despierta en cuanto se percata de la inminencia y posibilidad de que se desencadene por un hecho traumático, y sus posibles reacciones motoras.

TABLA 4.1. Tiempos de reacción (segundos) *

Edad	De día	De noche	De noche y circulando dos vehículos en sentido contrario
18-25	0,5	0,8	1,0
26-40	1,0	1,3	1,5
41-55	1,5	1,8	2,0
> 56	2,0	2,3	2,5

* Datos tomados de la monografía titulada *La reconstrucción del accidente de tráfico* (en catalán), pág. 36. Generalitat de Catalunya. Instituto Catalán de Seguridad Vial. Barcelona, 1992.

Malaterre¹⁴, en sus trabajos sobre el *tiempo de respuesta ante maniobras de urgencia*, dentro del amplio contexto de la reconstrucción cinemática de los accidentes, plantea las siguientes consideraciones:

«Para modelizar (comprender) las respuestas de un conductor en situaciones de urgencia, hay que cuestionarse aspectos múltiples, como:

- elección de la maniobra,
- condiciones de su realización,
- y el problema del tiempo de respuesta.

Sobre esto último, la entrada y salida de la señal se lleva a cabo con cierto retraso (Perranio, 1972), y ello constituye uno de los parámetros más importantes de función. Tal retraso es muy variable, dependiendo de:

- las características de la propia señal,
- modo y condiciones de transmisión,
- tipo de respuesta, en atención al individuo, la tarea, la carga de trabajo, la fatiga, el nivel de vigilancia, etc.

Si bien es cierto que se pueden conocer los umbrales de detección de señales elementales (y con carga débil, vigilancia elevada, maniobra simple, buena visibilidad, etc.) para diferentes modalidades sensoriales y el tiempo de reacción asociado (Chocholle, 1962; Michaut, 1966), en función de la relación señal/ruido en los mejores casos, así como la duración de la transmisión en la entrada y en la salida, se conoce mucho menos lo que pasa en la «caja negra», sobre todo en situaciones complejas. En ciertos tipos de accidente se constata una especie de parálisis o de estupefacción, que parece bloquear al conductor, en el momento en que la situación no se presenta clara para él.

En este contexto, se distinguen los siguientes aspectos:

– *Tiempo de detección*. La detección consiste en extraer la señal de su entorno (actividad perceptiva).

– *Tiempo de reconocimiento*. Corresponde a la identificación o interpretación de la señal detectada (actividad cognitiva, Dewar, 1976).

– *Tiempo de decisión*. Consiste en escoger una respuesta dentro del conjunto de posibilidades percibidas (Smith, 1968; Marteniuk, 1976). Esta etapa, en teoría, puede ser dividida, pero carece de interés en el tiempo de reacción.

– *Tiempo de respuesta*. Corresponde a la transmisión de un influjo nervioso a un órgano efector.

¹⁴ Malaterre G, Temps de reponse et manoeuvre d'urgence, en *La reconstitution cinématique des accidents*, Paris, INRETS (Institut National de recherche sur les transports et leur sécurité), rapport n.º 21, decembre, 1986. Por otra parte, hace unos años se realizaron investigaciones sobre la influencia de las perturbaciones solares sobre el comportamiento psíquico del hombre, en relación con los cambios geomagnéticos, y su influencia sobre los organismos vivos y en el sistema nervioso; se ha apreciado que estos cambios determinan que la capacidad de reacción de los conductores ante las señales disminuya hasta cuatro veces. Algunos han sugerido que las alteraciones en los campos magnéticos son capaces de irritar el centro bulbar del vago. En Hungría, un investigador analizó 5.500 accidentes entre 1963 y 1964, concluyendo que «las tempestades geomagnéticas vienen acompañadas del aumento de los accidentes en un 101 %». (Referencia, Mézentsev V, *Enciclopedia*, Moscú, Editorial Mir, 1981.)

– *Tiempo de respuesta conductor/vehículo.* Adicionamiento a la precedente sobre los mandos de un vehículo hasta la más pequeña respuesta observable.

Se llama genéricamente *tiempo de reacción* a la suma de estos tiempos, pero en muchos procedimientos experimentales ciertas etapas son anuladas o des-cuidadas. Es, especialmente, cuando se da una sola señal con una sola respuesta posible.»

Interesa ahora acercarse al análisis de las decisiones del conductor ante determinadas situaciones reales, lo cual, a partir de un trabajo de Tetard¹⁵, se puede resumir así:

1) *Los diferentes sistemas de circulación:*

– El conductor de un vehículo ejerce continuamente una actividad dinámica, asumiendo sólo la totalidad de las operaciones necesarias en su desplazamiento y gobierno del vehículo, lo que constituye, en una concepción ergonómica, un sistema, sistema de circulación, concebido como «un conjunto de variables en interacción» (Leplat, 1984). Esta amplia definición permite tener en cuenta un conjunto de elementos que inciden sobre el comportamiento, como son: variables ligadas al operador, al entorno, a los vehículos, ..., e insistiendo en ello, tales variables no han de ser tratadas aisladamente, sino de forma interactiva, en cualquier situación.

– En este sistema se pueden considerar diferentes niveles, jerarquizados por una relación de inclusión, así:

- El sistema «conductor-vehículo», que es el sistema elemental. Interesa aquí la actividad ejercida por el operador sobre el vehículo y los dispositivos de información: manipulación de los mandos, visualización y control del tablero interior, etc.¹⁶.

¹⁵ Tetard C. En: *L'analyse des activités décisionnelles par l'observation des comportements en site réel*. Comunicación a las jornadas especializadas del INRETS, 9-12-1986 (L'analyse des comportements et le système de circulation routière).

¹⁶ Sobre la tipología de los tableros de a bordo de los automóviles, es interesante el trabajo de Jacquenod C. con la colaboración de Labiale G. que toman en cuenta dos categorías de parámetros: a) los que intervienen principalmente en la tarea de control de la conducción, como el taquímetro y el cuenta revoluciones; b) los que permiten controlar el estado del vehículo, y esta función de control se puede presentar gradualmente (ej., nivel de carburante), o en forma de «todo o nada» (bajo la forma de un testigo luminoso). Según las modalidades de presentación de la información, existe gran variedad de formas, destacando algunas por su originalidad, pero sin que exista un tablero de a bordo típico, pero que en cuya demanda influyen factores culturales. Desde el punto de vista funcional se estiman varias zonas visuales: a) zona primaria, situada en el campo de visión frontal del conductor, comprendiendo los indicadores más frecuentemente utilizados durante la conducción; b) zona secundaria: situada a nivel inferior, a derecha o izquierda, del campo de visión frontal del conductor, comprendiendo indicadores cuya consulta frecuente no es indispensable. En términos de seguridad, en el diseño se pueden considerar las siguientes fases: a) fase aditiva, expansiva, la cual agrega un número creciente de elementos informativos en los tableros de a bordo, lo que termina por perjudicar y comprometer la seguridad en la conducción, pues supone una información sobrecargada; b) fase de restricción, en la cual se seleccionarían los indicadores más útiles, definiendo el mejor emplazamiento y modalidades de presentación; c) fase de integración, que culminaría con la reestructuración de las prestaciones de información al conductor (pantallas multifunción, etc.). INRETS, informe n.º 83, diciembre 1988.

- El sistema «conductores-vehículo». En este nivel son las interacciones entre los sistemas elementales y entre estos últimos y el entorno lo que se ha de tener en cuenta. Un ejemplo es la intersección en un cruce.
- Los conjuntos de sistemas «conductores-vehículo».
- El sistema global, que comprende, además de los sistemas descritos, el conjunto de instituciones intervinientes en el terreno de la circulación.

Esta enumeración no es, ni mucho menos, exhaustiva. Otros niveles podrían ser definidos. Pero el aspecto fundamental del sistema de circulación es su extrema *diversidad*: diversidad de los operadores (edad, sexo, experiencia en la conducción), diversidad de los vehículos presentes (características técnicas y dinámicas), diversidad de entornos y de situaciones sobrevenidas y que se presentan ante el usuario (infraestructuras, densidad del tráfico, maniobras a efectuar, etc.).

2) La tarea de conducir

La diversidad en la que se desenvuelve el conductor obliga a que éste se adapte a un entorno perceptualmente en evolución, haciendo de la conducción una tarea compleja, implicando procesos cognitivos de tratamiento de la información y toma de decisiones.

Intentando definir tal tarea se ha dicho que «consiste en efectuar un desplazamiento de un punto a otro, por medio de un vehículo, tomando conocimiento de los estados del entorno (para detectar conflictos reales o potenciales), con el fin de mantener el vehículo en una trayectoria y a una velocidad compatible con las exigencias del sistema y los criterios de seguridad establecidos».

Monseur (1971) indicó que la tarea de conducir está constituida en fases, o alternancia de subtareas tanto en el campo sensomotriz como en el dominio cognitivo. Pero la tarea de conducir es predominantemente perceptiva: la mayoría de las informaciones necesarias en la conducción son captadas por el canal visual. La señalización en carretera, la rapidez en las maniobras, la percepción de otros cuerpos móviles en los cruces, etc., así como la anticipación a las colisiones, y otras circunstancias potencialmente peligrosas, hace que la función perceptiva sea continuamente solicitada, teniendo que estar en las mejores condiciones de disposición, evitando, ante todo, la fatiga del conductor¹⁷.

Para elaborar su decisión, el conductor ha de tener en cuenta cierto número de exigencias y de *contraintes* (carga externa): reglamentación (de la cual una parte está materializada por la señalización vertical y horizontal), las características del trazado, de las infraestructuras, del propio vehículo, los comportamientos de otros usuarios, etc.

Pero junto a esta tarea (tarea prescrita, es decir, lo que se debe hacer), hay que considerar la tarea efectiva (lo que realmente hace el conductor), tanto que cuando ese conductor se aparta de ciertas reglas de la tarea prescrita pueden provocar una disfunción (un accidente), existiendo, en tal desvío, dos tipos de

¹⁷ Malaterre G et al., en *Ergonomie Routière*, Paris INRETS (Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité), synthèse n.º 13, abril, 1989.

comportamiento: 1) formal-informal: en donde el usuario respeta la formalidad establecida, mientras que otro usuario se sale de este comportamiento; 2) informal-informal: ambos usuarios se apartan de la norma establecida.

En estas circunstancias de disfunción del sistema se puede plantear un conflicto que obliga al usuario a modificar bruscamente su velocidad o/y trayectoria, con consecuencias diversas.

En la fase de pre-impacto la víctima potencial del accidente adopta en muchas ocasiones una actitud de defensa —*postura de defensa*¹⁸—, «que precisa de una buena integridad neurológica y una aptitud psíquica, tanto mayor cuanto menor es el tiempo de alerta». Ante la situación de emergencia el sujeto muy posiblemente orientará sus segmentos corporales intentando defenderse ante la inminencia del daño, en especial las extremidades superiores, y también las inferiores (aunque quizá en menor medida), para proteger del impacto otras regiones de su economía orgánica, en una clara demostración de una reacción instintiva de conservación de la vida, y al mismo tiempo orientada a evitar lesiones de mayor importancia, en especial en la cabeza. Por eso que en gran número de casos el sujeto extiende los brazos, buscando de inmediato una zona de apoyo, lo que explica que con frecuencia en este tipo de accidentes abunden fracturas de las extremidades (y tales lesiones no se han de interpretar como fracaso de la reacción defensiva, en todos los casos en que se ha logrado el fin propuesto, sino más bien que las lesiones de defensa son el coste añadido al mecanismo de protección).

Junto a la postura aludida, hay que considerar el gesto motor que busca esa defensa¹⁹, que actúa en una fase de alerta, intentando prevenir un daño inminente, ante la situación de amenaza y peligro, así como las posibles maniobras de evasión, en el caso del conductor (como los giros bruscos de volante, aplicando la fuerza de las extremidades superiores, y el posible «arrastre» del resto del cuerpo).

El gesto supone la canalización de procesos motores de los miembros, o de cualquier otra parte del cuerpo, capaz de expresar externamente el movimiento (entendiendo que los movimientos determinan gestos, y la concatenación de éstos se puede concretar, a su vez, en actos); o también se puede decir que el gesto supone «una acción motora segmentaria y coordinada» (Hernández Gómez). El gesto arranca de un elemento básico, cual es el movimiento (que supone un cambio continuo de posiciones del cuerpo en el tiempo y en el espacio, bajo la influencia del sistema nervioso). Pero entrando en matizaciones cabe distinguir entre «gesto-instantánea» y «gesto-secuencia», en la manera que el primero sería la apreciación «congelada» de lo que hace suponer que arranca de una cadena de movimientos previos, y que, al mismo tiempo, permite deducir que tal representación plástica, «instantánea», reúne los requisitos para, a partir

¹⁸ Adaptación a este desarrollo, a partir de notas tomadas de Achaval A. en: *Lesiones viscerales cervicales en caída*. Buenos Aires (Argentina), Ediciones Ad-Hoc, 1989, págs. 77-86.

¹⁹ Sobre el gesto motor, puede verse *Revista Española del Daño Corporal*, n.º 3, 1996, págs. 57-60, Madrid, Ediciones Díaz de Santos.

de ese momento, proyectarse en una acción determinada; por el contrario, el gesto «secuencia» se concibe, y resalta, con un dinamismo evidente, bajo la observación sucesiva de un movimiento tras otro. De este modo el «gesto-instantánea» especula sobre un dinamismo en un antes y en un después, mientras que el «gesto-secuencia» es ya la manifestación de representaciones aisladas que, enlazadas entre sí, cobran un dinamismo real (y no meramente intuitivo).

Tal gesto motor ha de ser reconstruido en análisis retrospectivo, en este caso con limitaciones, obviamente, enormes, pero que de cualquier modo se pueden considerar las fases propuestas por Hainut, aunque adaptadas a este contexto, así:

- concepción del gesto en su globalidad, procurando su escisión en distintas partes;
- estudio funcional, con referencia a las cadenas óseas, a las articulaciones y actividad muscular requerida;
- análisis mecánico de los elementos puestos en juego: estudio mecánico y trayectoria descrita;
- discusión de los resultados y conclusiones.

Por su parte, G. Malaterre * se plantea las *reacciones del conductor en situación de urgencia*, estimando que: «según las reconstrucciones, los conductores tenían la posibilidad de evitar el accidente en un 35 % de los casos, escogiendo la buena maniobra. En las intersecciones por ejemplo, se observa que se sub-utiliza el desvío lateral respecto al frenado de urgencia. Por esto, hemos tratado de determinar si los conductores eran capaces de estimar hasta qué punto eran realizables estas dos maniobras (frenado y desvío lateral). Se ha mostrado experimentalmente que las ventajas eran globalmente bien percibidas, y que las estimaciones presentaban, sin embargo, fuertes variaciones intra e inter-sujetos, dejando pensar que no estaban acostumbrados a basarse en este tipo de juicio para reaccionar en situaciones de urgencia. Por otra experiencias realizadas en laboratorio, hemos podido mostrar que ciertos sujetos ante situación de urgencia simulada, preferían y justificaban en la mayoría de los casos, estrategias en dos tiempos, que consistían primero en frenar y en seguida realizar otra acción (desvío hacia adelante o hacia atrás del obstáculo) si su diagnóstico de la situación lo hacía juzgar necesario. El desvío aparece sólo cuando la visibilidad es buena y cuando hay espacio, o si no como último recurso, cuando es evidente que no es posible frenar. Se emiten serias dudas en cuanto a la eficacia alcanzada por la formación de los conductores para el uso del desvío lateral».

La capacidad de reacción está condicionada no sólo por las limitaciones propias de la fisiología del hombre, en atención a sus características personales,

* Malaterre G, Recherche - Transports - Sécurité (RTS). Revue de l'INRETS. Arcueil (Francia). Edición en español, n.º 2, 1990. Se pueden también consultar los siguientes informes del INRETS: rapport n.º 46 (septiembre 1987): *L'estimation des manoeuvres réalisables en situation d'urgence au volant d'un automobile* (G Malaterre, JP Peytavin, F Jaumier, A Kleinmann); Rapport n.º 87 (enero 1989): *Anticipation d'une collision avec un obstacle stationnaire: rôle des informations visuelles et du niveau d'expérience* (V Caballo, O Laya); rapport n.º 104 (noviembre 1989): *Experimentation des manoeuvres d'urgence sur la simulation de conduite*. Premier partie: comportement des conducteurs (G Malaterre, D Lechner).

la edad y el deterioro orgánico en general (con variaciones de unos individuos a otros). Y si bien es cierto que con la edad la capacidad refleja disminuye, hay que tener presente, en contrapartida, que la mitad de los accidentes son provocados por sujetos jóvenes, menores de 30 años. Además está muy determinada por los estados de estrés, fatiga, sueño, enfermedad, etc. Los enfermos diabéticos, epilépticos o cardíacos son potencialmente peligrosos instalados frente al volante si no se hallan bajo tratamiento adecuado.

Además interesa igualmente el condicionamiento que sobre la capacidad de reacción determina el que la víctima esté sometida a la administración de psicofármacos y fármacos en general (bien por automedicación o prescripción facultativa) u otras drogas, pudiendo causar diversos efectos negativos, como: disminución de reflejos, modificaciones en la capacidad de apreciación de las distancias, distracción, disminución de la atención, alteraciones de la agudeza visual, subestimación de la velocidad, perturbaciones motoras, euforia, aumento del tiempo de respuesta, fatiga y cansancio en general, y otras alteraciones, siendo en todo ello de gran interés el conocimiento de la farmacocinética de la sustancia en cuestión²⁰.

La fatiga, por sí misma, con independencia de otros factores, supone una alteración importante de la capacidad para conducir, y está íntimamente ligada al tiempo de conducción, con pausas en la conducción continua. Este tipo de fatiga, según Michaut y Pottier²¹, resulta principalmente de tres componentes estrechamente relacionados:

- Primero, de origen muscular, ligada al mantenimiento de la posición del conductor en un espacio restringido, no siempre bien adaptado y sometido a diversas vibraciones.
- Segundo, el efecto sobre el sistema nervioso central, provocado por la repetición de estímulos sensoriales numerosos, y actividades de percepción que exigen una atención sostenida. La necesidad de tener que percibir y decidir con rapidez, lo que exige una constante actividad refleja.
- Tercero, con ocasión de la conducción se ven perturbados y alterados con frecuencia los ritmos biológicos.

El esquema de la Figura 4.6 (según Michaut y Pottier) es bastante elocuente:

El conductor fatigado o con sueño, junto con la combinación de drogas o medicamentos, como antialérgicos con tranquilizantes y alcohol, pueden ser fatales, ya que disminuyen de forma acusada la capacidad de juicio y la vivacidad de la respuesta. Sobre el efecto negativo del alcohol, nunca se insistirá demasiado, pues basta recordar que esta droga causa el 50 % de los accidentes de automóvil (a pesar del pequeño número proporcional de alcohólicos en la

²⁰ De estos aspectos farmacocinéticos, puede verse la obra *Seguridad Vial y Medicina del Tráfico*, en el capítulo correspondiente, Álvarez FJ (coordinador), Barcelona, Masson, S.A., 1997.

²¹ Michaut G, Pottier M. En: La notion de fatigue au cours de la conduite (ONSER), *Annales de Médecine des Accidents d'automobile*, Tesis, Montpellier, 1966, citados a su vez por Vieville R, Sapin-Jaloustre H, en *Hygiène et automobile*, Le Concours Médicale, 18-5-1968.

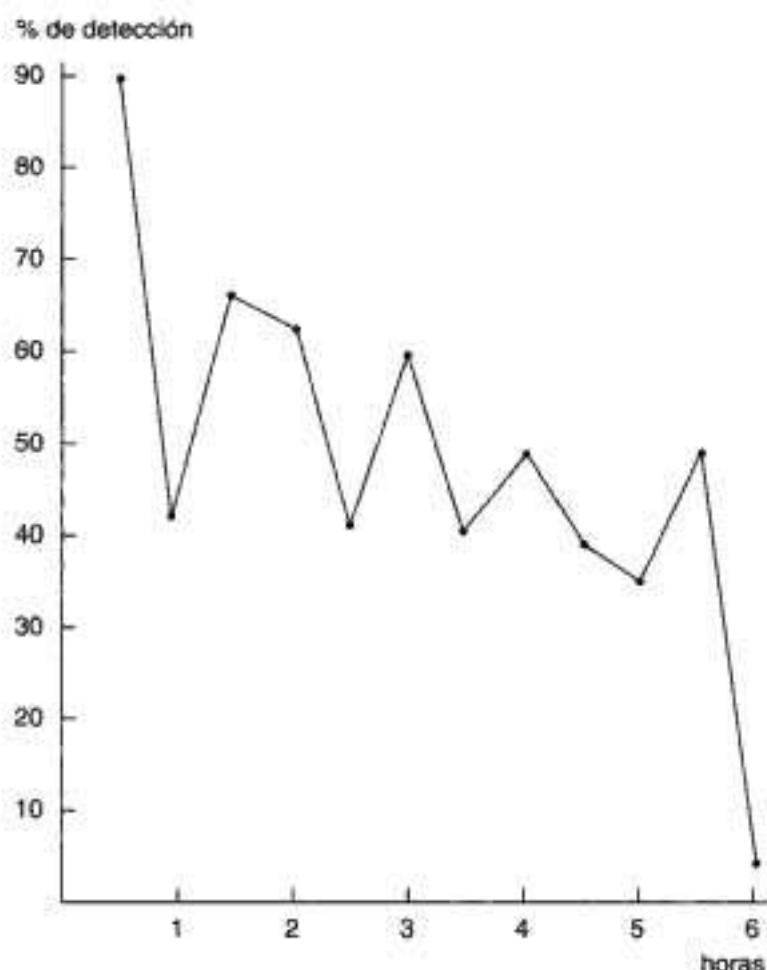


Figura 4.6.

población). Tampoco hay que olvidar que el óxido de carbono desprendido en automóviles mal acondicionados, o el mismo exceso de tabaco, pueden influir en el transporte de la sangre al cerebro o a la retina, y la visualidad con la luz escasa disminuye marcadamente con la edad²². Otras veces procesos patológicos, como la apnea del sueño, suponen un riesgo elevado para el manejo de vehículos (Terán-Santos y cols., 1999).

La Dirección General de Tráfico (Ministerio del Interior), a finales del año 1997 elaboró un folleto de divulgación, con el fin de mejorar la seguridad vial, en el que, entre otros aspectos, advertía de los efectos secundarios de determinados fármacos, y, así, entre los más utilizados, hay que destacar:

- tranquilizantes e hipnóticos: somnolencia, menor capacidad de atención, fatiga muscular y visión borrosa;

²² Enciclopedia ESPASA, o. c., suplementos 1936-1939, 1967-1968. Por otra parte, según la DGT (Dirección General de Tráfico), el 35 % de los fallecidos en accidentes de circulación presentan niveles de alcohol en la sangre por encima del límite legal (0,8 gramos por litro), de acuerdo con el resultado del estudio conjunto realizado por la Universidad de Valladolid, la DGT y el Instituto Anatómico Forense (Ref. *Diario Médico*, 17-6-98).

- antiepilépticos: somnolencia, descoordinación entre vista, manos y piernas, fatiga muscular y doble visión;
- hipoglucemiantes: mareo, lipotimia, debilidad y fatiga muscular;
- analgésicos: posibles trastornos visuales y auditivos, vertigo, somnolencia y euforia.
- antihistamínicos: disminución de la concentración, inquietud, alteración de los reflejos, somnolencia.

Últimamente se ha hablado con insistencia de la relación entre los accidentes de tráfico y el consumo de benzodiazepinas, y al efecto se considera *:

«Los fármacos que actúan sobre el sistema nervioso central pueden producir efectos adversos, como somnolencia, e incremento del tiempo de reacción y afectar a la capacidad para conducir vehículos. Existen múltiples datos que sugieren una relación causal entre el consumo de fármacos psicótrópos y accidentes de tráfico. En un informe de la Comisión Europea se sugiere que al menos el 10 % de los individuos implicados en accidentes de circulación tomaba algún tipo de medicación psicótropa que podría contribuir a una conducción deficiente»;

«Barbone y cols. (Italia, Reino Unido) han realizado un estudio sobre 19.386 conductores implicados en su primer accidente de circulación entre 1992 y 1995. De ellos, 1.731 utilizaban de forma habitual algún fármaco psicoactivo (antidepresivos tricíclicos, benzodiazepinas, inhibidores selectivos de la recaptación de la serotonina, o algún tranquilizante). El día del accidente, 189 individuos habían tomado antidepresivos tricíclicos (tasa de riesgo de accidente = 0,93; IC 95 %: 0,72 - 1,21), 84 tomaron inhibidores de la recaptación de serotonina (0,85; 0,55 - 1,33); 235 benzodiazepinas (1,62; 1,24 - 2,12) y 47 otros fármacos psicótrópos (0,88; 0,62 - 1,25)»;

«El riesgo asociado con la ingestión de benzodiazepinas disminuyó con la edad del conductor y fue mayor cuando el test del aliento para el consumo de alcohol resultó positivo. El incremento del riesgo con benzodiazepinas fue significativo para fármacos de vida media prolongada, utilizados como ansiolíticos, y para inópticos de acción breve (zopliclona)»;

«Por lo tanto, los autores concluyen que *los pacientes que son tratados con benzodiazepinas y zopliclona no deben conducir, ya que muestran riesgo de sufrir accidentes*».

Frente a la inminencia de un daño, el sistema determinado por la interacción persona-vehículo-entorno ha de ser aprovechado al máximo, tanto que el desorden que inicialmente se puede introducir en dicho sistema por la incidencia crítica de que se trate, habrá de corregirse de inmediato, con el fin de reducir al mínimo la entropía. De ahí que la capacidad de reacción del sujeto, y el tiempo de reacción, toman un protagonismo principal, y ha de ser considerado cualquier factor que contribuya a la merma de la puesta en marcha de estas capacidades.

* The Lancet, según noticia publicada en 7 Días Médicos (7 DM), n.º 386, 4-12-98.

Impacto

Efecto de la fuerza aplicada bruscamente; y, dicho en términos generales, para este contexto, efecto del choque sobre la víctima del accidente.

Los resultados obtenidos a través de los programas de investigación experimental en el terreno de la accidentología, según Chevalier *, evidencian los siguientes aspectos:

1. Configuración de los choques:

Rattenbury y cols., después de un estudio bibliográfico, concluyen que el choque frontal es el más frecuente en todos los países, con la excepción quizás de Canadá. Globalmente la frecuencia de los choques frontales varía entre el 40-60 %. Según los autores, tales choques son la causa principal de heridas graves y fatales, incluso en los países donde la obligatoriedad de llevar el cinturón es respetada. Además, la síntesis de diferentes estudios bibliográficos muestra que las colisiones automóvil-automóvil representan, entre los choques frontales, la configuración más frecuente.

2. Influencia de la agresividad de los vehículos:

La agresividad de un vehículo viene dada por su masa, su geometría y su arquitectura. La masa es el parámetro más fácil de cuantificar. Los resultados obtenidos son los siguientes:

- cuanto más pesado es el vehículo, su agresividad externa es más considerable, tanto para el conductor antagonista como para los peatones;
- los conductores mejor protegidos son los que están en el interior de los vehículos pesados (en relación con el vehículo antagonista).

Respecto a la geometría de un vehículo, especial significación tiene en los vehículos todo-terreno, por su gran altura con respecto al suelo y por un chasis más rígido que otros automóviles, pudiendo representar un peligro considerable para los ocupantes de los vehículos tradicionales.

En cuanto a la rigidez, apunta la autora que se está citando, es el parámetro más difícil de cuantificar, pues la rigidez delantera de los vehículos no es uniforme. Si la deformación alcanza el habitáculo, aumentan los riesgos de heridas debidas a los fenómenos de intrusión. Si, por el contrario, el habitáculo queda intacto, el riesgo de lesiones en cada vehículo estará en función de la forma en que se deformen; en este caso, tratándose de dos vehículos en colisión, aumentar la rigidez de uno o del otro puede implicar un aumento de la aceleración interior de los vehículos y, consecuentemente, un aumento de lesiones debidas a este fenómeno.

* Chevalier MC, *Enseignements tiés de l'accidentologie pour la définition de programmes de recherche expérimentaux*, dentro de las jornadas especializadas sobre *L'agresivité des vehicules dans les accidents* (bajo la organización de JA Bloch), Bron (Francia) del 20 de marzo de 1997. Publicación del Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS), Actes n.º 56, Arcueil (Francia, junio 1997).

3. Consecuencias sobre el ocupante:

Las lesiones sufridas por el ocupante están en función de las fuerzas ejercidas por los sistemas de retención, así como las deformaciones del habitáculo cuando los fenómenos de intrusión se producen. Respecto a este punto, todos los estudios accidentológicos están de acuerdo en que la intrusión es un factor muy importante en la generación de las lesiones más graves, especialmente a nivel de los miembros inferiores.

Junto a lo anterior, en el choque entre vehículos, hay que introducir la noción de *Compatibilidad* *, como medio para asegurar a todo ocupante de un automóvil el mismo nivel de protección, a nivel de la energía total de la colisión equivalente. La compatibilidad entre vehículos permite reducir el número de víctimas, asegurando la protección cualquiera que sea la masa del vehículo, y para ello se ha de buscar la armonía entre la masa, la arquitectura y la rigidez (ver Figuras 4.7 y 4.8).

La masa de los vehículos implicados en una colisión, indica A. Dubos **, es un factor importante, ya que la variación de velocidad que van a sufrir los vehículos y sus ocupantes es inversamente proporcional a esta masa: esto es un

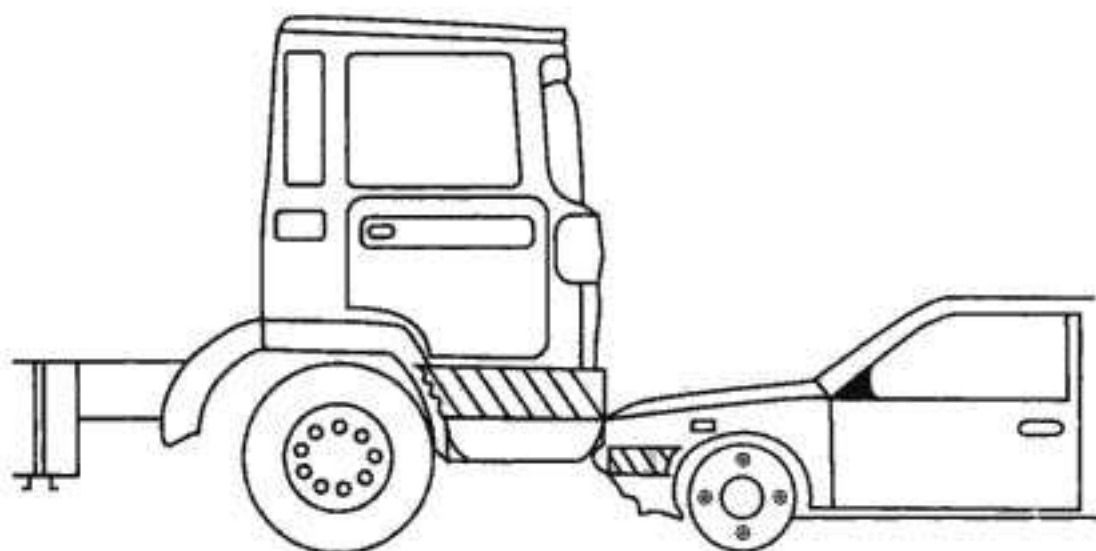


Figura 4.7. Ejemplo de incompatibilidad entre vehículos. Ref. H. Desfontaine (Renault). INRETS (Actes n.º 56), junio 1997.

* Brutel G, Foret-Brumo JY, Laboratorio de accidentología y biomecánica PSA Peugeot Citröen-Renault, en *La compatibilité "Voiture/Voiture" telle qu'elle apparaît au travers de l'analyse des véhicules accidentés*, dentro de las jornadas especializadas sobre *L'agressivité des véhicules dans les accidents* (bajo la organización de JA Bloch), Bron (Francia), del 20 de marzo de 1997. Publicación del Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS), Actes n.º 56, Arcueil (Francia), junio 1997.

** Dubos A. En: *Compatibilité entre VP et VI en cas de collisions frontales: actions engagées para Renault V.I.*, dentro de las jornadas especializadas sobre *L'agressivité des véhicules dans les accidents* (bajo la organización de JA Bloch), Bron (Francia), del 20 de marzo de 1997. Publicación del Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS), Actes n.º 56, Arcueil (Francia), junio 1997.

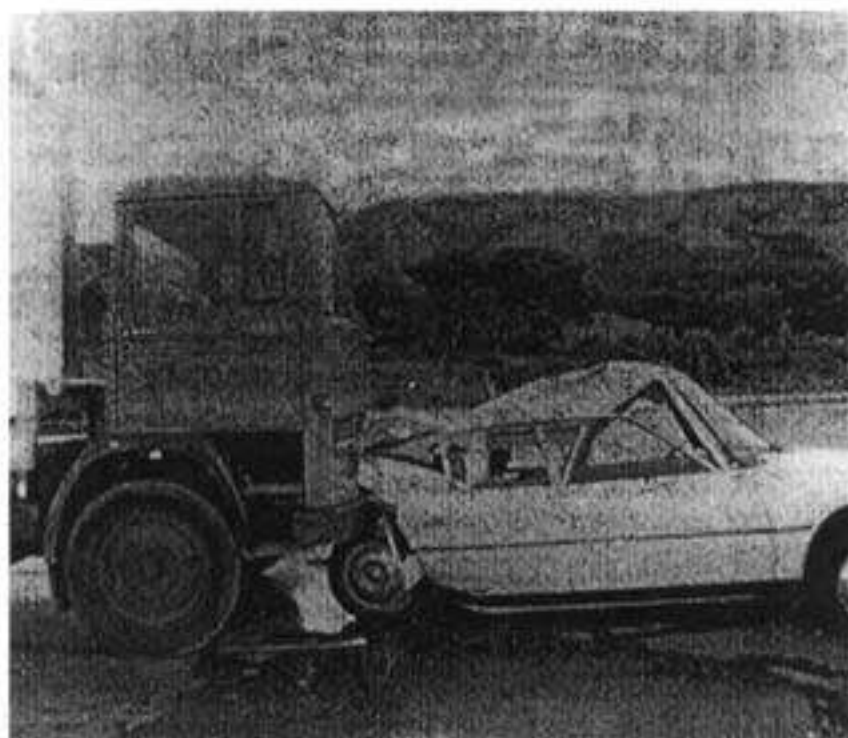


Figura 4.8. Choque frontal en condiciones de incompatibilidad. Ref. M Ramet y G Vallet (Revue de l'INRETS, RTS, n.º 9-10, junio 1986).

hecho contra el que no se puede hacer nada, ya que está gobernado por la ley física de la conservación de la cantidad de movimiento; así, un vehículo percutiendo (o percutido) un camión de 16 toneladas a 65 km/h va a sufrir una variación de velocidad de 62 km/h, mientras que no será más de 3 km/h para el camión; de este modo, los vehículos ligeros sufren variaciones de velocidad importantes y, en consecuencia, tendrán necesidad de sistemas de retención con al menos tan buenos resultados como los que se utilizan en los vehículos pesados.

La gravedad de los accidentes entre dos vehículos de turismo (vehículos ligeros, VL, gravedad interna) y los accidentes implicando a un peatón (gravedad externa) o un vehículo de dos ruedas (igualmente gravedad externa), en atención al peso de los vehículos se expresa bien, según H. Fontaine * en el gráfico de la Figura 4.9.

Aclárese que el concepto de *intrusión* supone un fenómeno de deformación de las paredes del habitáculo, que tiene como consecuencia la aproximación de la pared al ocupante durante el choque. De esta forma, un cinturón de seguridad

* Fontaine H. En: *Gravité différentielle des véhicules-conducteurs*, dentro de las jornadas especializadas sobre *L'agressivité des véhicules dans les accidents* (bajo la organización de JA Bloch), Bron (Francia), de 20 de marzo de 1997. Publicación del Institut National de recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS), Actes n.º 56, Acreuil (Francia), junio 1997.

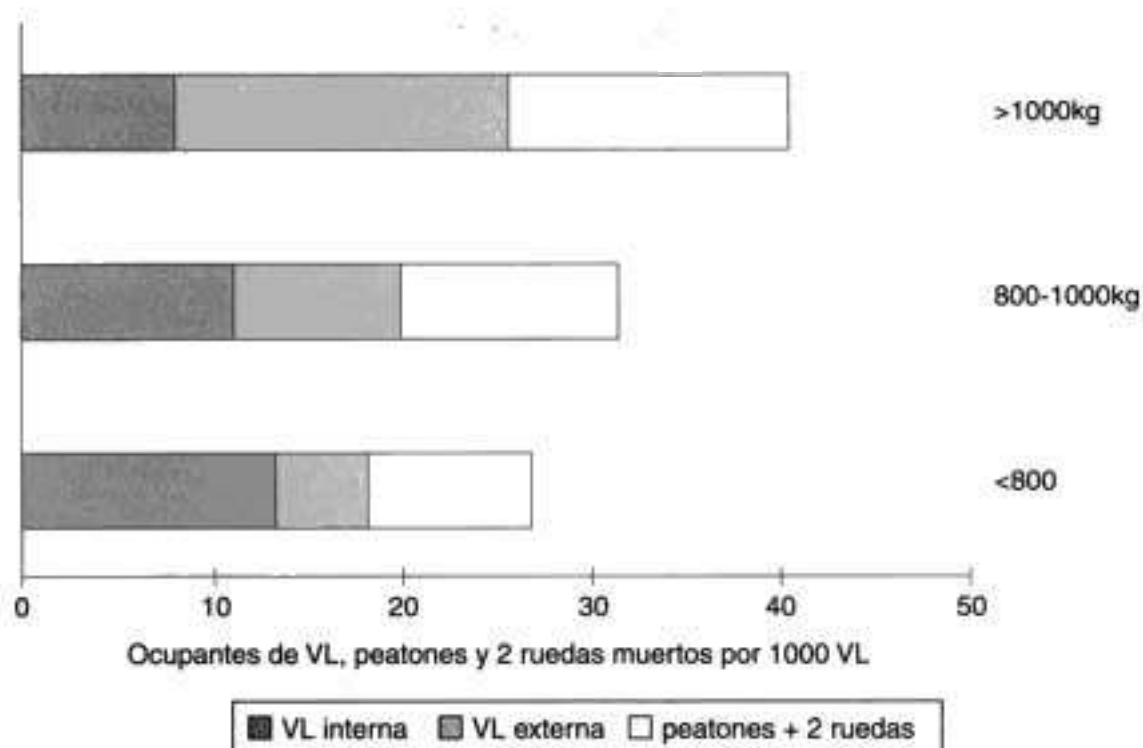


Figura 4.9. Este gráfico representa la gravedad interna y la gravedad externa, según el peso de los vehículos (VL) en los accidentes entre dos VL y los que implican a un peatón o a un vehículo de 2 ruedas. Se aprecia que el efecto del peso de VL sobre la *mortalidad externa* es muy evidente: la tasa de usuarios externos muertos aumenta con el peso del vehículo y esto a la vez para los ocupantes del otro vehículo, los peatones y los conductores del vehículo de dos ruedas. En *mortalidad interna*, el grupo más protegido es el de los vehículos pesados (>1000 kg). El balance global de gravedad interna y externa es más elevada para los vehículos pesados (41 muertos por 1000 vehículos pesados implicados, frente a 27 en el caso de vehículos ligeros). (Ref. H Fontaine, INRETS, Actes n.º 56, junio 1997.)

tiene necesidad de cierta distancia libre en dirección del choque para asegurar correctamente su función de retención. Para cuantificar correctamente la intrusión conviene determinar a la vez la distancia de desplazamiento de la pared y la velocidad a la cual esta pared se desplaza, y en particular en el momento en que viene a impactar contra el ocupante²³. Siendo el habitáculo del vehículo el espacio vital de los ocupantes del mismo, ha de garantizar la mayor estabilidad posible en caso de accidente, mediante el adecuado complejo de refuerzos, uniones y sistemas capaces de resistir un determinado impacto, reduciendo el grado de intrusión con el fin de que el riesgo de lesiones se vea disminuido al máximo.

En el impacto, en sus consecuencias sobre las estructuras orgánicas, conviene destacar:

²³ Cesari D. En: Comment mieux protéger les occupants d'automobile en cas de choc latéral. INRETS-LCB (Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité Laboratoire des chocs et de biomécanique, Francia), *Revue de L'INRETS*, marzo, 1986.

- Análisis de las resistencias que a raíz del efecto impactante pudo encontrar la víctima en el recorrido de su trayectoria, al ser impulsada y proyectada fuera del lugar que ocupaba inicialmente.
- Posible descomposición del movimiento, para su mejor análisis en sus respectivas acciones cinesiológicas, globales y segmentarias, y, a su vez, en sus cadenas cinemáticas (abiertas, cerradas, abierta invertidas –con especial consideración de esta última, como puede suceder en el caso de fracturas de las extremidades a raíz de posiciones de defensa–).
- Posibles reacciones motóricas del lesionado (movimiento voluntario, involuntario, gesto defensivo, acciones reflejas; desplazamientos segmentarios activos/pasivos –en flexión forzada, o en extensión, abducción, rotación, etc.– conscientes, inconscientes, aproximación biomecánica y patomecánica con los correspondientes momentos de fuerzas actuantes en relación con el proceso traumático).

Por lo tanto, dentro del impacto, en atención a las aludidas reacciones motóricas del accidente, habrá que considerar los elementos de retención fisiorgánicos de los que dispone el individuo para hacer frente al insulto accidental que irrumpe súbitamente, con el fin de protegerse y aminorar la intensidad de esa violencia. Tales elementos de retención serán tanto más activos cuanto mayor sea la integridad de las estructuras organofuncionales que lo sustentan, en atención a la potencia y fuerza muscular, la resistencia, rapidez, habilidad, capacidad de equilibrio estable (y, en general, su eficacia suele ser inversamente proporcional a la edad, al margen de otras consideraciones), y están en relación con factores como: capacidad refleja, tiempo de reacción, memoria refleja e inteligencia motórica para la adecuación del gesto motor secuencial para hacer frente a las situaciones de pre-impacto e impacto (que se enriquece con la experiencia; en este sentido, esa inteligencia motora se ha de presumir mermada en los casos de impactos no frontales, si bien su eficacia, en cuanto a la utilidad de la reacción, vendrá muy ligada a la intensidad del impacto actuante en ese momento; de la misma manera, la eficacia de las cadenas cinéticas puestas en marcha estará muy condicionada por el control, semicontrol o no control en el momento del impacto).

Al respecto hay que considerar las experiencias con diferentes modelos de *dummy* –maniqués antropométricos, es decir, muñecos representados en distintos grupos de seres humanos, según forma, altura, peso y distribución de masa, con extremidades articuladas como los hombres, mujeres o niños de tipo promedio– están limitadas, por cuanto el muñeco de medición no puede producir en ningún caso las reacciones motóricas aludidas; a ello hay que añadir que las velocidades que se suelen emplear para los estudios en general no sobrepasan los 35 km/hora, en caso de «peatones» y de los 65 km/hora en los ocupantes, en caso de choque contra elementos rígidos. Es evidente que todo esto supone cierta distorsión si se pretende comparar los resultados experimentales con lo que realmente ocurre en determinadas situaciones muy concretas, aunque en cualquier caso tales estudios tienen siempre, cuando menos, un valor orientativo y son de utilidad.

Cabe especial mención a lo que ha sido llamada la *segunda colisión*, es decir, lo que realmente sucede en el interior del vehículo en el momento del accidente; ya hace años, mediante películas producidas por la universidad de California -UCLA-, por la General Motors y otras instituciones, al proyectarlas en cámara lenta, se ha podido estudiar lo que sucede en el interior del automóvil cuando el vehículo choca de frente, o contra un muro sólido; igualmente se ha estudiado esta situación sobre maquetas de vehículos a escala natural, lanzada a gran velocidad hacia adelante y súbitamente detenida por un mecanismo de frenaje, simulando una colisión frontal; las pruebas se hacen a partir de diferentes velocidades y resulta verdaderamente impresionante ver cómo en una fracción de segundo después del choque, los cuerpos son lanzados hacia adelante, golpeándose contra el interior, rebotan, se sacuden y se contorsionan violentamente, para quedar al fin en posición grotesca. En ocasiones, como sucede en algunas colisiones laterales, la fuerza del impacto y la deformación de la carrocería provoca la apertura de las puertas, pudiendo ser lanzado fuera del vehículo el cuerpo del ocupante, después de recibir varios golpes en el interior²⁴.

La revista española *Tráfico*, en su número 132, septiembre/octubre 1998, recoge un interesante trabajo sobre la utilización de maniquíes para su uso en la investigación de los accidentes, del que se reproducen a continuación algunas de sus partes. Los primeros *dummies* nacieron hace 30 años y fueron contruidos para estudiar exclusivamente el comportamiento del cinturón de seguridad. En la actualidad, son capaces de aportar 100 mediciones diferentes y existe uno para cada tipo de investigación a realizar. Los tres modelos más usuales son:

- TNO-10, desarrollado exclusivamente para estudiar el comportamiento del cinturón de seguridad; representa un adulto del percentil 50, con una masa de 75,5 kilos. Al no ser necesario tomar mediciones, carece de la parte inferior de los brazos y sólo tiene una pierna común.
- EUROSID, para choques laterales; representa el adulto de tipo medio, y sin la parte inferior de los brazos. La cabeza se basa en el Hybrid III. Incorpora sensores que miden la aceleración registrada. En el tórax son las costillas y las vértebras inferiores las que llevan sensores que recogen el desplazamiento y las cargas que soportan estas zonas. En el abdomen se han instalado tres células de carga. La pelvis se ha reforzado con más instrumentación, ya que son las caderas las que registran más fracturas. Las piernas son el diseño estándar del «Hybrid II».
- HYBRID III, para choques frontales. Su primer diseño se debe a la General Motors (EE. UU.). Respecto a su predecesor, presenta una respuesta mucho más humana en la cabeza, el cuello y se le han incrementado en número los sensores. Las costillas y la zona de la pelvis, junto con la columna vertebral, son las partes más reforzadas. En las piernas se han

²⁴ Párrafo elaborado con notas tomadas de Cal y Mayor R. En: *Manual de educación y seguridad vial*, México, Editorial Limusa, 1978, pág. 196.

perfeccionado las rodillas, y equipado con más sensores el fémur y la tibia. De este modelo se han desarrollado diversos percentiles (50, 95 y 5 th).

- THOR, modelo que actualmente está en fase de desarrollo, con la intención de conseguir respuestas con la mayor aproximación a un humano de verdad.

Es posible considerar que el comportamiento del cuerpo humano en casos de impacto automovilístico se asemejará tanto más al del maniquí, cuanto más atenuada se vea la reacción defensiva, o no exista (por ejemplo en situaciones de inconsciencia), ya que en tales situaciones las acciones cinesiológicas que se ponen en marcha son mínimas o no se van a dar, adoptando un comportamiento pasivo (como ocurre en los muñecos de uso experimental)²⁵.

- Conocer si hubo arrastre o lanzamiento de la víctima fuera del vehículo.
- Características del terreno en que tuvo lugar el accidente (punto del accidente, forma de la vía –recta, curva, llano, pendiente, rampa–, obstáculos en la calzada).
- Tipo de superficies contra las que pudo impactar la víctima (dura, semi-dura, plana, con aristas, etc., habiendo de tomar en consideración los aspectos señalados sobre la teoría del choque, y la naturaleza de los elementos impactantes, según se trate de cuerpos elásticos o inelásticos).

Post-impacto

– Estado y posición final en que es encontrado el cuerpo de la víctima: consciente, aturdido, inconsciente, decúbito supino, decúbito prono, decúbito lateral (tumbado boca arriba, hacia abajo, de lado), vivo o muerto²⁶, consecuencia del acomodamiento en el espacio (posición en el interior del vehículo), junto a las características del medio, siendo útil tomar unos puntos de referencia en el mismo escenario del accidente; estado de la ropa de la víctima.

²⁵ El Instituto de Medicina Legal de la Universidad de Heidelberg entre los años 1972 y 1989 utilizó unos doscientos cadáveres (entre ellos 8 de niños) para la realización de los test de simulación en situaciones de choque. Igualmente, en Francia, el Instituto de Investigación Ortopédica del Hospital Raymond-Poincaré (Garches), junto con el Instituto de Biomecánica y Accidentología (Ambroise-Paré, Boulogne) han sometido a uso experimental alrededor de cuatrocientos cincuenta cadáveres, con el fin de hacer progresar las investigaciones y conocimientos en el terreno de la seguridad en la carretera. Según estos expertos, incluso los provistos de avanzados sistemas electrónicos, no proporcionan datos suficientes, pues únicamente aportan medidas, no pudiendo reemplazar al cuerpo humano. Para estos especialistas, no se puede avanzar en este terreno efectivamente si no se extraen datos de la realidad. (Información tomada de *Le Quotidien du Médecin*, 26 de noviembre de 1993). Por otra parte hace años en Francia algunos expertos propusieron la necesidad de la autopsia sistemática de los fallecidos por traumatismos de carretera (IV Congreso Internacional de Medicina del Tráfico, celebrado en Francia, septiembre de 1973).

²⁶ En ciertos casos de muerte súbita en accidente de tráfico, especialmente en los conductores, la víctima queda en una posición que la fija, por ejemplo, al volante, fruto de la instauración rápida de un espasmo cadavérico que también se da con ocasión de otras muertes violentas, como por ejemplo la contracción en posición de defensa en los casos de muerte por arma de fuego. Pudiendo partir de una casuística, tal alusión quizá tenga interés para comprender mejor las acciones cinesiológicas que se pueden poner en marcha a raíz del hecho traumático provocado por el impacto automovilístico.

– Lesiones directamente apreciadas (erosión, herida, contusión, estallido, aplastamiento, hundimiento, fractura, hematoma, hernia, conmoción, hemorragia, etc.).

– Posición y estado final en que queda el vehículo, tanto en su apreciación exterior (si es posible, datos sobre la velocidad aproximada con que circulaba en el momento del accidente) como interior (ya que ello ayuda muchas veces para conocer mejor la naturaleza y alcance de posibles contusiones del lesionado). Interesa también recabar posibles huellas biológicas, tanto en el interior como en el exterior del vehículo. En cualquier caso, disponer de fotografías de revelado instantáneo puede ser de gran ayuda.

– Forma, manera y tiempo (desde que se produjo el accidente), en que se lleva a cabo el rescate de la víctima: extracción, movilización y evacuación (considerando la posibilidad de que en esta fase se hubieran producido lesiones sobreañadidas, debido, por ejemplo, a una movilización errónea). Adviértase que frente a la reacción precipitada de aquellas personas que tratan a toda costa de auxiliar a la víctima, comprensible humanamente, hay que tener muy presente que la movilización y posterior traslado del herido se ha de llevar a cabo con las máximas garantías y rigor técnico (todavía más si se trata de politraumatizados –camilla de cuchara, colchón de vacío, etc.–, atendiendo de forma especial al raquis cervical; vigilancia de la permeabilidad de las vías respiratorias, reanimación cardiopulmonar en su caso; tratándose de mujer en estado de gravidez, en lo posible el traslado interesa que se haga con la paciente de costado, y en todo caso evitar el sufrimiento y la presión a nivel del útero). Tampoco hay que olvidar que ya una vez en un centro hospitalario un manejo incorrecto del lesionado puede producir lesiones adicionales.

MECANISMO DE PRODUCCIÓN DE LAS LESIONES

En general

Como mecanismo se ha de entender el modo y orden en que actúa la causa responsable del hecho traumático, la manera en que incide, se proyecta y desarrolla sobre el organismo, por lo que no ha de ser confundido con la causa. Tanto es así que el mecanismo tiene un carácter marcadamente activo, y se pone en marcha una vez que la causa se origina.

En otra apreciación, para I. Roche*, el término de «mecanismo lesional» se puede definir como «la causa mecánica de la lesión de un órgano específico»; «permite relacionar la naturaleza y la dirección de la fuerza aplicada a la estructura y a las características mecánicas de los órganos lesionados».

* Roche, I. *Lesiones abdominales: revue des mécanismes et de la tolérance au choc*. INRETS (Francia). Informe LBSU n.º 9707, agosto, 1997.

Sánchez Serrano²⁷ considera tres mecanismos patogénicos:

a) *Mecanismos directos*. Así actúan los impactos que se proyectan directamente desde el exterior; son los mecanismos comunes del resto de la traumatología tradicional. Incluyen las lesiones por golpes directos contra distintas partes del vehículo, obstáculo o suelo. Si los impactos son en el mismo sentido, los traumatismos desencadenados serán: equimosis, contusiones, heridas contusas y fracturas por mecanismo directo (hundimiento y aplastamiento). Si los impactos son múltiples, simultáneos o sucesivos, lo son en sentido opuesto o divergente, como ocurre sobre todo en la traumatología vial, las lesiones serán complejas: roturas viscerales, por cizallamiento, estallido, etc.

b) *Mecanismos indirectos*. Son casi exclusivos de los traumatismos de la carretera, son independientes de todo impacto contusivo, estando determinados por los procesos cinéticos de aceleración y deceleración brusca, originados en estos accidentes, que modifican los pesos de los diversos elementos orgánicos del cuerpo, y provocan las peores proyecciones internas de los órganos, que tienden entonces hacia el desgarro y al estallido.

Entre éstos es posible citar:

- cizallamiento de los pedículos vasculares: hematoma subdural, desinserción mesentérica;
- roturas por inflexión: desgarros hepáticos;
- contusiones por contragolpe: contusiones encefálicas polares;
- estallidos de tabiques intracavitarios: rotura del diafragma;
- conmociones vibratorias: conmoción cerebral;
- despegamiento de las ramas de los sistemas canaliculares: desgarros bronquiales, aórticos, etc.

c) *Mecanismos mixtos*. Ambos tipos de mecanismos se combinan habitualmente, produciéndose lesiones debido a la resistencia mecánica del cuerpo, en el primero de los casos, y en el segundo por la posición del cuerpo y la resistencia dinámica de los órganos. La conjunción de estos mecanismos se da igualmente en las lesiones por expulsión violenta del ocupante fuera del vehículo en el curso de una colisión, o en los siniestros consecutivos a los mecanismos de «vuelta de campana» o de caída de un vehículo ocupado a un precipicio. Las gamas lesionales son pues de gran riqueza en relación a los mecanismos variados de estas causas agresivas.

Muy someramente, con carácter descriptivo se pueden invocar también tres mecanismos²⁸ (Fig. 4.10):

a) Impacto directo: heridas, fracturas, hundimientos, etc.

b) Por «plicatura» del raquis, con especial incidencia en la región cervical y lumbar (produciéndose luxaciones, fracturas vertebrales, etc.).

²⁷ Sánchez Serrano S; Lesiones que aparecen en los accidentes de tráfico, según la región anatómica afectada. *JANO*, 26 de marzo-6 de abril 1985.

²⁸ *Gran blessé de la route*, publicado en Francia (sin constancia de otra referencia bibliográfica).



Figura 4.10. Descripción simple de tres mecanismos de producción de lesiones en los accidentes de tráfico. (Ref., desconocida.).

c) Por proyección de las vísceras en sus cavidades (así, el encéfalo en el cráneo, el corazón en el pecho, el hígado o el bazo en el abdomen) determinando contusiones, estallidos y hemorragias internas.

Buscando una descripción más detallada, se puede considerar los siguientes modos de actuación del impacto:

«a) Directo: impacto sobre la zona afectada; ejemplo: fractura de fémur transversa.

b) Indirecto, o a distancia; ejemplo: luxación de cadera por impacto en la rodilla, con flexión de ésta el 90°.

c) Mecanismo de torsión; ejemplo: fractura espiroidea de la tibia, al quedar fijo el pie y girar la rodilla;

d) Por flexoextensión; ejemplo: fractura de cuerpo vertebral.

e) Cizallamiento; ejemplo: rotura de víscera u órgano.

f) Por mecanismo de aceleración-desaceleración; ejemplo: lesión orgánica a nivel cerebral.

g) Aplastamiento; ejemplo: estallido de víscera hueca»²⁹.

Tratándose de fracturas (fractura: solución de continuidad en un hueso producida bruscamente) conviene ahora recordar, brevemente, los mecanismos capaces de producir las mismas³⁰, ya que la acción de las fuerzas externas es capaz de variar la forma del hueso más o menos, según su elasticidad. Tales variaciones motivan que en el interior del hueso se produzcan desplazamientos moleculares, según el sentido en que actúan las fuerzas, pudiendo describir tres mecanismos fundamentales: a) presión (aproximación de molécula); b) tracción; c) deslizamiento lateral (mecanismo de tijera); y, en consecuencia, es posible la fractura del hueso.

Siguiendo el orden anterior, el análisis del mecanismo de las fracturas puede hacerse desde una doble perspectiva: estática (de fuerzas en equilibrio); dinámica (obliga a considerar elementos de vecindad). Clásicas son las explicaciones de Zuppinger (1913), distinguiendo:

a) Fracturas por arrancamiento (en la inserción de los ligamentos, en la rótula, olécranon, etc.).

b) Fracturas por flexión (al agotarse la elasticidad del cilindro óseo se produce la fractura, dado que la resistencia del hueso a la presión es menor que su resistencia a la tracción).

c) Fracturas por deslizamiento (mecanismo de tijera), que se origina por la entrada en acción de dos fuerzas opuestas, pero que no se encuentran.

²⁹ Alonso Santos J. En: *Seguridad vial y medicina del tráfico*, pág. 191 (obra coordinada por Álvarez González, FJ). Barcelona, Editorial Masson, S.A., 1997. También puede verse en *JANO*, vol. XLV, n.º 1062, 3-9 diciembre, 1993, tema monográfico dedicado a la prevención de los accidentes de tráfico, en sección sobre «lesiones y secuelas de los accidentes de tráfico», págs. 49 a 51, Alonso Santos J.

³⁰ Argüelles R, *Manual de patología quirúrgica*, tomo I, págs. 427-431. Madrid, Editorial Científico-Médica, 1962.

- d) Fracturas por compresión.
- e) Fracturas por torsión (que se suelen combinar con un mecanismo de flexión).

Finalmente, hay que tener presente que en el accidente de tráfico suelen actuar varios mecanismos a la vez. En general *los accidentes por hechos de la circulación marcan una diferencia frente a los accidentes comunes*³¹, en tanto que:

- Los efectos de la energía cinética liberada con ocasión del traumatismo, y los fenómenos de aceleración y deceleración muy intensa y brusca, generan daños diversos, con impactos directos, y explica la localización múltiple de las lesiones.

- Los politraumatismos son más frecuentes, las lesiones más numerosas; abundan traumatismos con lesiones graves en diversas partes del cuerpo (en tanto que en los accidentes comunes, graves, las lesiones suelen ser únicas).

- La localización en el hemicuerpo derecho/izquierdo simultánea, al mismo tiempo, es más elevada en los traumatismos de carretera, sin que se puedan establecer subgrupos para justificar una lateralización preferente en la localización de las lesiones.

- Las lesiones del cráneo, del tronco, en particular de la columna vertebral y del tórax, tienen una especial incidencia en este tipo de accidentes.

- Las lesiones graves son más frecuentes en individuos de edad avanzada.

- En el aspecto médico-forense, se debe considerar los problemas de imputabilidad que plantea una secuela tardía o una muerte que se demora en el tiempo, después del accidente: *ciertas fracturas o lesiones internas a veces permanecen sin diagnosticar durante las horas, o los días, que siguen al tratamiento de un politraumatizado por accidente de tráfico.*

En este último aspecto, y tal como ya se indicó (véase Introducción) existen lesiones que pueden pasar desapercibidas, sobre todo ante la existencia de un cuadro clínico principal y grave, que polariza y desplaza toda la atención médica hacia la situación por el mismo creada (muchas veces de auténtica urgencia vital), tanto que no permita un diagnóstico lesional completo. Al efecto F. Camps³² ya señaló en su día que «en la valoración de los resultados y de las consecuencias de un accidente *sólo se suelen considerar lesiones importantes, ..., aunque también es importante la observación de las víctimas durante cierto tiempo después del accidente, dado que pueden producirse lesiones de cierta gravedad que no se manifestaron inmediatamente.*»

³¹ Mercier G, Lambert C, Götz R, Wiringer P, Desmarez JJ, *Laboratoire de Médecine Légale. Université Libre de Bruxelles. Comparaison entre les lésions provoquées par des accidents de roulage et celles causées par d'autres traumatismes*, Bruxelles-Médicale, n.º 4, abril 1968.

³² Camps F (Inglaterra), Primer Congreso de la Asociación Internacional de Medicina de los Accidentes y del Tráfico, Roma, 25-30 de abril de 1963. *Boletín de Información de la Asociación Nacional de Médicos Forenses*, pág. 171, núms. 40-41 y 42 (abril, mayo y junio 1963), Madrid.

Por su parte Sánchez Serrano³³ marca tres observaciones para mejor comprender la auténtica dimensión de los politraumatizados de la carretera y su mecanismo de producción:

a) Concieme a la intensidad de la fuerza de impacto nacida de la energía que libera una masa que a cierta velocidad es detenida. Se puede calcular la relación aproximada entre la velocidad de parada y las lesiones corporales resultantes. Así, por ejemplo, la detención brusca de un vehículo rodando a 50 km/hora equivale a una caída de 9 metros de altura, y para 100 km/hora el daño equivale a 39 metros de altura.

b) Sobre un cuerpo humano a 100 km/hora, detenido instantáneamente, el peso aparente de la viscera que contiene el cuerpo aumenta considerablemente, pudiéndose hacer las estimaciones del incremento del peso de las diferentes vísceras ante una detención brusca del cuerpo humano según la Tabla 4.2.

c) Las víctimas de los accidentes de carretera que sufren los mecanismos de eyección y proyección que producen los politraumatizados son afectados por tres diferentes tipos de lesiones que aparecen simultáneamente:

- las debidas a los impactos directos, visibles en la superficie del cuerpo en todos los puntos impactados (cara, tórax, miembros, etc.), bajo la forma de heridas, erosiones, equimosis, etc.;
- las producidas indirectamente, y debidas a los movimientos bruscos del cuello y de la columna; son invisibles y consisten en luxaciones, fracturas, esguinces vertebrales;
- lesiones indirectas e invisibles, como las anteriores, pero provocadas por conmoción y desgarras de las vísceras profundas, sobre todo de las particularmente móviles en las cavidades que las encierran, tal como cerebro en el cráneo, corazón y la aorta en el tórax, o bazo e hígado en el abdomen.

TABLA 4.2. Incremento del peso de las diferentes vísceras ante una detención brusca del cuerpo humano

Viscera	Peso normal (en kg)	Peso ostensible en parada brusca o choque	
		60 km/h	100 km/h
Hígado	1,500	28,300	47,600
Riñón, corazón	0,300	5,070	3,400
Bazo	0,150	2,530	4,200
Páncreas	0,070	1,185	1,960
Encéfalo	1,500	25,330	42,000
Sangre	5,000	84,500	140,000

Ref. Sánchez Serrano, o. c.

³³ Sánchez Serrano S. Lesiones que aparecen en los accidentes de tráfico, según la región anatómica afectada. *JANO*, 26 de marzo-6 de abril, 1985.

La superposición de estos tres tipos de lesiones –matiza el autor referido–, es lo que confiere características particulares y especial gravedad a los politraumatizados de la carretera.

Atención especial a los traumatismos cráneo-encefálicos

En los casos de TCE, en cuanto al mecanismo lesional, hay que distinguir entre las lesiones ligadas al choque de la masa cerebral contra el hueso por impacto directo o por el contragolpe, frente a las lesiones profundas debidas a los fenómenos de deformación del cerebro. Al efecto se transcriben, por su enorme interés, las siguientes anotaciones³⁴:

Sobre el efecto impactante:

- Hundimiento óseo (por impacto del obstáculo).
- Incurvación elástica de la bóveda por el impacto. En los destrozos que se producen tienen lugar en el curso de dos etapas: la depresión y, en sentido inverso, la reposición de la bóveda en su sitio.
- Contragolpe: la masa cerebral viene a chocar con los relieves de la base del cráneo.
- Si el impacto se produce sobre una zona de la bóveda muy resistente, como una protuberancia frontal, no se produce una depresión elástica (no puede producirse), pero puede tener lugar una lesión directa por transmisión axial de la onda de choque. Por otra parte, existen deformaciones del sistema nervioso en el curso del choque. Las deformaciones del parénquima cerebral y el hecho de que el cerebro esté constituido por dos masas hemisféricas, separadas por una estructura intermedia de pequeña dimensión, tiene su importancia, siendo lógico deducir de ello que la transmisión de la onda de choque en el tejido no es lineal y que las nociones de traslación, fenómenos de rotación y sobre todo de distorsión, se producen tal como los describió Ommaya. Esta distorsión es debida a una indepen-

³⁴ Vigouroux RP, Baurand C, Guillermain P, Reynier Y, Gómez A, Lena, G, Vincentelli G, Gondin-Oliveira, J, Traumatismes cranio-encephaliques, en *Encyclopedie Médico-Chirurgicale*, París, 1982. Por otra parte, de la obra de López-Muñiz Goñi M (*Accidentes de Tráfico: problemática e Investigación*, Madrid, Editorial Colex, 1995) se extraen las siguientes anotaciones: «especialmente peligrosas son las lesiones producidas por colisión frontal de un automóvil contra la parte trasera de la caja de un camión, situación en la que se produce una especie de cizallamiento de toda la región cefálica, entre dicha caja y el vehículo de la víctima. Si la cabeza es golpeada por fuerzas que van dirigidas directamente hacia su centro de gravedad, el cerebro es afectado por una aceleración lineal capaz de producir gradientes de presión en el interior del mismo incluso sin haber producido deformación del cráneo. Esto se considera la causa principal de las lesiones cerebrales focales. En cambio si la dirección de las fuerzas no va dirigida hacia el centro de gravedad, se produce una aceleración angular de rotación, que permite una deformación interior de la sustancia cerebral que puede ser la causa tanto de lesiones focales como difusas del cerebro» (Cladellas, Villagrasa, Alcalá, en relación con conclusiones mantenidas por Nahum, 1968, Ommaya, 1971, Daw-Son, 1967, Voigt, 1969, en Lesiones craneoencefálicas producidas por accidentes de tráfico en medio urbano. *Revista Médico-Quirúrgica de Barcelona*, 1987).

dencia relativa de los dos hemisferios, el uno con respecto al otro, responsable de las lesiones de las estructuras intermedias.

El comportamiento de la onda de choque y su propagación

A nivel del punto del impacto, la energía cinética puede ser parcialmente absorbida por una fractura eventual. Este fenómeno explica el estado de consciencia conservado de muchos lesionados que presentan lesiones óseas importantes. La onda de choque no es pues íntegramente transmitida a los tejidos subyacentes. El interés que los autores antiguos atribuían a la noción de fractura de cráneo carece de objeto por el pronóstico de las lesiones encefálicas.

Cuando la energía cinética resultante del impacto no consigue fracturar la bóveda, se transmite casi totalmente en sentido axial o lateral:

- *En sentido axial.* Esta onda de choque va a provocar una lesión directa del tejido cerebral y una lesión por contragolpe, en las «antípodas» del impacto, después de haber atravesado el cráneo.
- *En sentido lateral.* La onda de choque se propaga hasta la base, en particular a la altura del agujero occipital.

Bien entendido que esta teoría ha de ser modulada. Un golpe puede provocar lesiones directas importantes (golpe-lesión de Ommaya). Pero también es cierto que muchas contusiones cerebrales difusas con coma profundo se presentan sobre estructuras de cráneo intactas.

Mecanismos de las lesiones cerebrales

A costa de este fenómeno cinético global, hay que invocar como mecanismos patogénicos en las lesiones profundas del cerebro los siguientes:

- La percusión de la masa intraventricular en el curso de la deceleración contra las estructuras medianas o profundas en general. Teoría ésta muy controvertida, aunque esté bien avalada por los estudios experimentales.
- Fenómenos de aceleración-deceleración en el interior del tejido cerebral, creando presiones negativas, responsables de fenómenos de succión o de cavitación.
- Deslizamiento de las capas tisulares de densidades diferentes, constituyendo un fenómeno lesional un poco equivalente al anterior, llevando las secciones de los microvasos y a pequeñas hemorragias profundas.

Tales mecanismos pueden producir distintos tipos de lesiones, como son: la contusión cerebral, dilaceración (la destrucción del tejido nervioso, de los vasos y de las meninges es mayor), el edema cerebral, las hemorragias y la necrosis.

De otra parte, Sánchez Serrano³⁵, sobre las fracturas de cráneo, considera los siguientes factores:

³⁵ Sánchez Serrano S, Lesiones que aparecen en los accidentes de tráfico, *Jano*, marzo-abril, Barcelona, 1985.

– *Masa y velocidad del vehículo.* «A este respecto se debe considerar que la magnitud de las lesiones vendrá dada por la energía que se libera en el accidente y ésta dependerá de su masa y de su velocidad (energía cinética = $1/2 m \times v^2$), pero hay que tener en cuenta que la influencia de la velocidad es mayor debido a que ésta se eleva al cuadrado».

– *Duración del choque* (o tiempo que tarda en liberarse la energía). «El cráneo y el organismo en general soportan una cantidad de energía mayor cuanto más tiempo tarda ésta en liberarse, pero existe una duración crítica del choque para la cual el cráneo entra en resonancia, condición óptima para la producción de una fractura».

El estudio del factor tiempo muestra que la energía necesaria para producir una fractura simple es absorbida, por término medio, en 12×10^{-4} segundos. El acolchamiento que supone el cuero cabelludo ocupa la primera mitad de este plazo, la segunda mitad representa el tiempo de deformación del hueso, procediendo inmediatamente la fractura».

– *Absorción local del choque.* «El efecto del choque depende también de la superficie que recibe el impacto».

– *La masa de la cabeza.* «Se han notado diferencias considerables en los valores de fuerza necesarias para producir un mismo efecto de unos cráneos a otros, según su peso, siendo el golpe en la misma región».

– *El espesor del cuero cabelludo.* «La energía necesaria para producir el estallido del cráneo, tanto en el sujeto vivo como en el cadáver, son distintas a las necesarias para producir el estallido en un cráneo seco. Se ha llegado a calcular que la energía necesaria para fracturar un cráneo seco es diez veces menor».

«Esto demuestra las propiedades de amortiguación del cuero cabelludo, excelente absorbedor de la energía, antes de que se produzca el proceso de deformación y fractura del hueso. Es igualmente probable que el sustrato proteico del hueso fresco, la oseína, favorezca la deformidad elástica del cráneo, contrariamente al cráneo fresco, más rígido».

– *Topografía del punto del impacto y localización de la fractura.* «El lugar de choque sobre el cráneo no es indiferente, pues la estructura del hueso no es uniforme. Existen unas diferencias dinámicas que varían según el punto donde se produjo el impacto, ya que para obtener un mismo grado de deflexión es necesario utilizar, por ejemplo, el doble de energía en la región frontal que en la región occipital».

«A veces de distintas técnicas se puede prever con buena aproximación la zona de aparición probable de fracturas en función del lugar del impacto».

– *La deformidad del cráneo.* «Cuando el cráneo choca contra un objeto, se aplasta directamente en el punto del impacto; después tiende a volver a su forma primitiva por reducción de la deformación. Sin embargo, alrededor de la superficie de choque se producen ondas de deformación internas y externas que llevan a la rotura de la tabla externa de la bóveda craneal. La tabla externa del cráneo cede en un área y es empujada dentro del diploe, que primero se comprime y luego se destroza. La fuerza que ahora se está difundiendo al hueso cir-

cundante procede de la tabla interna, que se abomba primero y cede después en un área bastante mayor que la tabla externa».

— *Otros factores.* «La influencia de los caracteres fisiológicos y morfológicos ha sido evocada por autores americanos; se han examinado el estado de salud, el sexo y la raza; sin embargo estos factores no están bien precisados».

De estos aspectos, y de muchos de los que siguen, interesa no sólo el relato de la víctima del accidente, cuando su estado se lo permite, sino también los testimonios de sus acompañantes, así como de otros posibles testigos, informe de la policía de tráfico, etc.

CRITERIOS DE GRAVEDAD DE LAS LESIONES CAUSADAS POR ACCIDENTES DE AUTOMÓVIL

Índice de gravedad de las lesiones ³⁶

0. *Indemne*

Ausencia de lesiones.

1. *Menor*

Contusiones y erosiones, laceraciones superficiales, esguince o luxación, quemaduras de primer grado y de menos de 10 %.

Pequeño traumatismo craneal (TC) sin pérdida de consciencia (PC).

Lesiones dentarias.

Esguince cervical, latigazo cervical, sin prueba anatómica ni radiológica.

2. *Medio*

Quemaduras del 10-20 %.

Heridas faciales importantes.

Laceraciones con peligro de hemorragia.

Fracturas múltiples nasales.

T.C. con P.C., de 5 a 30 minutos.

Fractura de cráneo sin hundimiento ni lesión intracraneal.

Úlcera corneal.

Fracturas complicadas de los dedos, fractura de escafoides, de rótula sin desplazamiento, fractura de extremidades sin desplazamiento.

Fractura de costillas.

Contusión costal.

Contusiones musculares muy importantes.

Fracturas cerradas de huesos largos sin desplazamiento.

³⁶ Patel A, Pasteur, Tarriere, con la colaboración del Prof. Bourret, Critères de severité des lésions causées par les accidents d'automobiles. *La Nouvelle Presse Médicale*, n.º 17, 22-4-1972.

3. *Grave* (con supervivencia asegurada)

Quemaduras 20-30 %.

Laceraciones con hemorragia, pérdida de sustancia de 10 cm².

Fractura de cráneo desplazada sin pérdida de conocimiento.

Traumatismo de cráneo con pérdida de conocimiento de más de 30 minutos hasta 3 horas, no implicando lesiones intracraneales.

Fractura facial con desplazamiento.

Pérdida de un ojo.

Fracturas de las vértebras cervicales sin signos neurológicos.

Fracturas múltiples de las costillas.

Hemotórax. Pneumotórax.

Ruptura diafragmática.

Contusiones abdominales.

Ruptura subperitoneal de vejiga.

Hemorragia retroperitoneal.

Fractura del raquis dorsal o lumbar sin lesión neurológica.

Fractura aislada de un hueso largo, abierta o cerrada, con desplazamiento.

Aplastamiento de extremidades, mano o pie.

4. *Grave* (supervivencia probable)

Quemaduras del 30 al 50 %.

Fracturas faciales y traumatismo craneal con signos neurológicos. Pérdida de consciencia de 3 a 24 horas.

Pneumomediastino. Hemopericardio. Heridas torácicas.

Ruptura de órganos intraabdominales, bazo, riñón, cola del páncreas, arrancamiento de órganos genitales. Ruptura intestinal. Ruptura intraperitoneal de vejiga.

Fractura del raquis dorsal o lumbar con signos neurológicos.

Fracturas múltiples, simples, de huesos largos abiertas o cerradas.

Fracturas con desplazamiento del cotilo.

Disyunción de la cintura pelviana (2 fracturas).

Amputación de un miembro.

5. *Crítico* (supervivencia incierta)

Quemaduras de más del 50 %.

T.C. con P.C. de más de 24 horas, o signos de hemorragia intracraneal o edema cerebral.

Fracturas de raquis cervical con tetraplejía.

Traumatismo torácico con importante repercusión respiratoria (lesiones bilaterales, contusión pulmonar).

Hemomediastino, ruptura traqueal.

Fisuración aórtica.

Rupturas hepáticas, importantes lesiones mesentéricas.

Traumatismo duodeno-pancreático.

Fracturas conminuta de las extremidades, abiertas o cerradas.

Ciertas asociaciones 3 y 4.

6. *Muy grave* (supervivencia posible)

Politraumatismo (asociación de más de tres lesiones del índice 3).

Asociación grave de lesiones de tórax y cráneo.

Asociación de una lesión del índice 3 y una o dos del índice 4.

7. *Fatal*

Fallecimiento en las primeras horas.

8. *Muerte a la llegada*

S.D.: severidad desconocida.

L.D.: lesiones desconocidas.

Por otra parte, es muy manejada «la escala conocida por las siglas AIS (Abbreviated Injury Scale –escala abreviada de las lesiones–, de la Association for the Advancement of Automobile Medicine– AAAM, o Asociación para el Avance de la Medicina del Automóvil, EE. UU.), que es un código breve destinado a la evaluación *inicial* de la gravedad de los traumatismos por accidentes de automóvil (sin considerar el devenir de los lesionados). La AIS actualmente es el sistema más utilizado en el mundo y debe ser considerada como una referencia obligatoria para todos los estudios comparativos, habiendo sido objeto de varias revisiones. Utiliza una escala que contiene seis grados de gravedad: 0 normal; 1 menor; 2 moderada; 3 importante; 4 severa; 5 crítica; 6 mortal. Las lesiones son referidas a siete partes de la anatomía humana (cabeza, cuello, tórax, contenido abdominal y pelvis, raquis, miembros inferiores y piel). Además, para la evaluación de un politraumatizado se han propuesto dos índices globales: ISS, establece una puntuación de gravedad recurriendo a la Injury Severity Score o ISS (puntuación de la severidad de las lesiones), haciendo la suma de los cuadrados de las tres regiones más gravemente dañadas (el valor más grave es de 75); AIM, que se calcula efectuando la suma de todos los valores de la AIS.

Para la evaluación de las deficiencias que origina un traumatismo, por la misma asociación referida (AAAM) ha sido condebida la Injury Impairment Scale (IIS) o escala para evaluar el menoscabo de la lesión, intentando completar la AIS y aproximarse a las consecuencias del traumatismo inicial en el ámbito funcional. Tal escala, IIS (según edición de 1994) invoca seis grados de severidad, así: 0 función normal; 1 deficiencia compatible con la mayoría de las funciones, pero no todas; 3 deficiencia compatible con algunas funciones; 4 deficiencia impidiendo funciones importantes; 5 deficiencia impidiendo funciones esenciales; 6 deficiencia impidiendo *todas* las funciones esenciales. Para hacer tal estimación se identifican nueve zonas: cabeza (cráneo y cerebro); cara (comprendido oído y ojo); cuello; tórax; contenido abdominal y pelviano; raquis; miembro superior; miembro inferior; revestimiento interno (tejido cutáneo y subcutáneo, quemaduras de diverso origen: químicas, eléctricas y térmicas)»³⁷.

³⁷ Este párrafo y el anterior han sido tomados del trabajo *État actuel du suivi et du devenir des traumatisés, victimes des accidents de la route*, de JM André, publicado en la revista francesa RTS (Recherche – Transports – Sécurité) editada por el INRETS, n.º 49, diciembre 1995, Arcueil (Francia).

La AIS, en su primera versión, fue publicada en los EE UU en 1971, sufriendo progresivas modificaciones (1974, 1975, publicándose en 1976 un repertorio con más de 500 lesiones). Las versiones de 1980 y 1990 (AIS90) ha contribuido a una mejor acotación de las lesiones cerebrales y lesiones penetrantes; la severidad de una lesión evoluciona en función del progreso de la medicina, y ello explica la necesidad de la continua revisión de tal escala.

La AIS90 permite describir cada lesión con código numérico de seis caracteres, complementando el valor AIS de la gravedad de la lesión*:

- El primer carácter (R) identifica el territorio corporal.
- El segundo (T) caracteriza la estructura anatómica.
- El tercero y cuarto (SS) identifican:
 - la naturaleza de la lesión si una región completa ha sido interesada;
 - en los otros casos, una estructura anatómica específica (en el caso de lesiones externas: la naturaleza particular de la lesión).
- El quinto y sexto identifican el tipo de daño lesional en el seno de un mismo territorio corporal
- El último carácter representa la severidad propiamente dicha, según la AIS, según la escala de la 6 (menor, moderada, seria, severa, crítica, máxima).

Por otra parte, se debe tomar en consideración la Clasificación Internacional de las Deficiencias, Discapacidades y Minusvalías de la OMS (según publicación de 1980), en la que se hace un análisis sistemático de estas situaciones ³⁸.

Cuestión de interés, de otro lado, tratándose de análisis experimentales, es la manera en que se han de cuantificar las lesiones, como cuando se quiere conocer la tolerancia humana a los choques. Así, para JP Verriest y cols. ³⁹ «es un hecho que la gravedad de las lesiones y su importancia dependen de múltiples factores, tanto objetivos como subjetivos, difíciles de enumerar y cuya influencia, para algunos, no parece estar claramente establecida. En el plano individual, la edad y el estado de salud en el momento del accidente condicionan el potencial letal de una herida y sus posibilidades de recuperación. La rapidez y la calidad de los cuidados recibidos por el lesionado, la evolución de las técnicas de reanimación, de reparación quirúrgica y de readaptación funcional pueden cambiar la gravedad de las consecuencias de una lesión dada, según, por ejemplo, el lugar geográfico del accidente».

«La estimación de la gravedad de las lesiones, siguen diciendo los autores anteriormente citados, es, pues, una cosa difícil en la medida en que el análisis

* Según notas tomadas de Perrin, C., Cavallero, C., Bonnoit, J., Fernández, F. En: *Enquête multidisciplinaire sur les accidents de la circulation*. INRETS, Laboratoire de Biomécanique appliquée, Marseille (France). III coloquio National sur la Sécurité Routière, Casablanca (Marruecos), 5 y 6 de diciembre de 1996.

³⁸ Para mayor información en este aspecto, puede consultarse *La incapacidad para el trabajo*, MR Jouvencel, JM Bosch (ed.), S. A., Barcelona, 1993.

³⁹ Verriest JP, Chapon A, Cesari D, Ramet M. En: *La tolerance humaine aux chocs. Contribution du laboratoire des chocs et de biomécanique*. Publicado en la revista francesa RTS (Recherche - Transports - Sécurité) editada por el INRETS, n.º 9-10, junio 1986. Arcueil (Francia).

racional de los accidentes implique que se pueda disponer de valores cifrados con fines de comparación. En el momento actual, la forma más extendida para constatar los resultados experimentales, en el mundo entero, en la materia de evaluación de los traumatismos es la AIS, escala de seis puntos, cuyo valor más elevado corresponde a un traumatismo con fallecimiento inmediato. Esta escala representa un compromiso entre los diversos aspectos evocados anteriormente y su relación con las lesiones constatadas en las víctimas reales de los accidentes. No está, de esta forma, realmente adaptada para valoración de los resultados experimentales. Por ejemplo, las autopsias sistemáticas realizadas después de un test permiten observar y cuantificar las lesiones mucho más finamente que en las víctimas reales. Desde este punto de vista, la escala AIS no puede ser considerada como una variable métrica: no existe gravedad negativa, ni superior a 6, y una herida calificada como 6 no es dos veces más grave que una valorada como 3. Esta escala no es de manejo cómodo si se quiere comparar. Es por ello que en los estudios de laboratorio se recurre a otras escalas en vez de la AIS, prestándose más fácilmente al estudio estadístico y dando cuenta mejor de la graduación de las lesiones».

Además, con el fin de facilitar un rápido conocimiento y consulta ágil de la situación del lesionado, se puede trabajar sobre el esquema adjunto (Fig. 4.11, Organisme National de Sécurité Routière, Francia), sobre el cual se pueden hacer las anotaciones pertinentes al caso, tal como se indica en la página siguiente.

Posibles lesiones en atención a las características cinemáticas del accidente

De un trabajo realizado por la Universidad de Creighton (Omaha, Nebraska), editado en forma de vídeo-sonora¹, sobre los accidentes de tráfico, se han tomado las notas que a continuación se transcriben (en forma de textos entrecomillados) entendiéndose que pueden ser de gran utilidad práctica, desde el momento que se recibe al lesionado en el centro de atención correspondiente.

Según el tipo de accidente se puede distinguir, esquemáticamente, las siguientes situaciones:

- «colisiones posteriores,
- impacto lateral,
- impacto rotatorio,
- colisiones frontales».

COLISIONES POSTERIORES

En este caso se ha de explorar cuidadosamente; se puede producir: síndrome del latigazo cervical, fractura de luxación en el raquis cervical, con o sin lesión medular grave*.

¹ Los textos entrecomillados que figuran bajo este epígrafe han sido tomados de la exposición vídeo-sonora de Jeanne O'Brien RN, Rempt P, *Traumatismos por accidente de tráfico*, Omaha, Nebraska, Creighton University, Editado por Health Sciences Consortium, North Carolina (EE UU).

* «Si el apoyacabezas está bajo en el momento del impacto, la cabeza será impulsada, primeramente, hacia atrás, y, luego, hacia adelante, causando probablemente lesión vertebral o/y medular grave».

IMPACTO LATERAL

Las colisiones laterales suelen ser muy llamativas y espectaculares, pues interesan a los flancos, a las partes laterales en general, que son más débiles, con menor resistencia en caso de impacto. Ocupan el segundo puesto en términos de severidad, después del choque frontal.

Como lesiones posibles se anotan las que siguen:

- «Distensión muscular en el cuello *.
- Fractura vertebral, fractura de clavícula **.
- Contusión torácica (con lesión pulmonar subyacente).
- Fractura de húmero.
- Fractura de pelvis.
- Fractura de tibia o/y peroné.
- Lesiones en hígado, bazo, intestino y pulmones».

IMPACTO ROTATIVO

Importa conocer la velocidad aproximada de cada automóvil, o, al menos, cuál de ellos circulaba a mayor velocidad en el momento del impacto, por cuanto los autores de este trabajo precisan que: «cuando dos coches chocan, la persona situada en el punto de mayor pérdida de velocidad es la que experimenta las lesiones más graves».

En cuanto a las lesiones que puedan producirse, hay que considerar:

- «Si el vehículo da vueltas las lesiones son imprevisibles. En cada vuelta los ocupantes son proyectados contra la otra parte del vehículo».
- «Si la víctima sale despedida fuera del vehículo, las lesiones sufridas estarán en relación con los objetos que el cuerpo encuentre en su trayectoria: un parabrisas, otro vehículo, una señal de tráfico, un puente o cualquier otra cosa».
- «La probabilidad de lesión medular en la persona que sale despedida de un automóvil se incrementa en un mil trescientos por ciento (1.300 %) y la posibilidad de muerte en un trescientos por ciento (300 %)».

No obstante también hay que considerar que en ocasiones en los accidentes con vuelco su gravedad puede verse aminorada en atención a la lenta disipación de la energía cinética, aunque la frecuente eyección es un factor agravante con una tasa de mortalidad elevada; las estructuras laterales y el parabrisas son el

* «Se puede causar por intrusión; en este caso el cinturón ofrecía escasa protección. El cuerpo tiende a desplazarse por debajo de la cabeza, produciéndose una flexión lateral del cuello con distensión muscular y posible fractura vertebral».

** «El impacto de la puerta del coche en la víctima puede causar fracturas de clavícula, costillas, contusión torácica...».

origen de numerosas lesiones; el cinturón de seguridad tiene un papel beneficioso, aunque no impide el choque con las estructuras laterales, y el desvío (de la víctima) es siempre posible dada la disimetría de la retención en los impactos sucesivos y desordenados (Lando, 1979*).

COLISIONES FRONTALES

Con carácter general, «lesiones producidas por el cinturón de seguridad» **

- «Fracturas de clavícula.
- Lesiones a nivel de tráquea y tórax.
- Contusión pulmonar.
- Compresión vesical (con posible ruptura).
- Fisura o fractura de pelvis.
- Traumatismo facial superior».

Además hay que considerar que el cinturón de seguridad puede actuar como fulcro sobre el cual se produce una hiperflexión de la región lumbar a raíz del impacto, lo que Sánchez Serrano describe así: «en el choque automovilístico con frenazo brusco se produce una violenta hiperflexión al ser impelido el pasajero o el conductor, con gran fuerza hacia adelante, siendo favorecido este mecanismo por el fulcro del cinturón de seguridad, produciéndose un componente de compresión en las porciones anteriores de los cuerpos vertebrales y un componente de tensión en las porciones posteriores, pudiéndose producir el aplastamiento vertebral anterior y la rotura de ligamentos posteriores, o la disyunción ósea, o ambas simultáneamente»².

Y es que no hay que olvidar que en las situaciones de deceleración brusca de la región dorsolumbar se puede ver involucrada considerablemente, muy en

* Lando, R. *Toncaux et retournement lors d'accidents automobiles*. These Marseille (Francia), 1979.

** La función del cinturón en la seguridad es enorme. Los cinturones de seguridad, especialmente los que toman la sujeción en tres puntos, confieren posibilidad de supervivencia en el 50 % de los casos, o más, al evitar que el pasajero sea arrojado fuera del vehículo. En Suecia se ha comprobado la eficacia de estos cinturones, reduciéndose en los casos de muerte en un 85-90 %. De hecho ningún conductor, entre los que lo llevaban *correctamente colocado* resultó muerto en accidentes ocurridos a velocidad menor a 95 km/hora, mientras que otros conductores sin cinturón murieron ya en accidentes ocurridos a 25 km/hora [*Enciclopedia Espasa*, o. c., suplemento 1967-1968]. En relación a la aludida colocación correcta del cinturón de Seguridad, la Dirección General de Tráfico española advierte sobre el efecto nefasto del uso de pinza sobre este elemento de seguridad, diciendo que está técnicamente probado que un solo centímetro de holgura en la banda del cinturón se transforma en ocho en caso de impacto. Si para ir más cómodo se dan cuatro centímetros de más, éstos se convertirían, multiplicados por ocho, en treinta y dos; y esta cifra habría que añadirla a otros veintidós centímetros que aproximadamente se alarga la banda del cinturón para sujetar sin dejar oprimido el cuerpo. El resultado sería que la cabeza impacta con el parabrisas («un enemigo transparente», como le han llamado algunos, así, Bernard JA, Lecoq PJ, 1972).

² Sánchez Serrano S. Lesiones que aparecen en los accidentes de tráfico según la región anatómica afectada. *JANO*, 26 de marzo-6 de abril, 1985.

especial en las zonas de mayor movilidad, como son el raquioma L4-L5 y la propia charnela lumbosacra; no obstante, tales desplazamientos van estrechamente ligados a la disposición de los segmentos corporales sobre el asiento en el momento del impacto, por cuanto ese desplazamiento varía según el grado de excursión del tronco en el asiento: si el sujeto se ha ido deslizando hacia abajo, hayándose «encajonado» en el asiento en el momento del impacto, primarán los desplazamientos de los segmentos vertebrales superiores, mientras que si la disposición postural es tal que se pretenden guardar el mayor alineamiento del sinusoide vertebrado, el efecto del impacto sobre el raquis cervical será menor (los mecanismos orgánicos de retención serán más efectivos), ya que el eje raquídeo responde de forma solidaria en su conjunto, implicando más que en el caso anterior a la región lumbar y lumbosacra.

Entrando en matices, según la trayectoria de la víctima, también muy esquemáticamente, cabe distinguir dos situaciones:

«La víctima es dirigida hacia arriba y por encima del volante»

Se pueden producir «lesiones torácicas» (causadas por el volante), incluyendo:

- «Fractura costal única con o sin hemorragia *.
- Traumatismo torácico (external, frontal, lateral o posterior), y, a su vez, puede determinar:
 - contusión miocárdica,
 - taponamiento miocárdico,
 - neumotórax,
 - lesiones de grandes vasos».

Además, hay que considerar la «lesión de la bolsa de papel»: el conductor anticipa el accidente, hace una inspiración profunda, guarda el aire, y al recibir el impacto puede hacer estallar los pulmones en la ausencia de fractura costal.

La manera en que un trauma grave puede conducir a una insuficiencia respiratoria es analizado por Said y Butter³ en los siguientes términos:

a) Lesión directa de pulmones y tórax, por ejemplo contusión y laceración de los pulmones, fracturas de costillas, *flail chest* (tórax en movimientos paradójicos), hemotórax, neumotórax, rotura diafragmática.

b) Lesión cervical superior de la médula, que lleva a la parálisis de los músculos respiratorios.

* «No hay que olvidar que debajo de cada costilla hay una vena, una arteria y un nervio; una fractura costal puede determinar laceración de la arteria costal, causando una hemorragia severa.»

³ Sami I. Said, Buttler PM. En: *Politraumatismos*, pág. 55, en capítulo dedicado a la insuficiencia respiratoria postraumática. Obra coordinada por Wilder RJ, Barcelona, Editorial «El Ateneo», S.A., 1988.

c) Lesiones cefálicas, con menoscabo de la consciencia y daño de los centros de respiración.

d) Lesiones térmicas del epitelio respiratorio, causadas por calor intenso.

e) Lesiones químicas del pulmón, por inhalación de sustancias químicas que producen broncoespasmo.

f) Otras formas, no por causas directas, y que pueden aparecer después de traumas severos, por lo general con un intervalo de 1-2 días, determinando una insuficiencia respiratoria postraumática (que, a su vez, se conoce con diversos nombres: pulmón de shock, pulmón húmedo traumático, colapso masivo pulmonar postraumático), siendo su mortalidad inaceptablemente alta.

Respecto a los *traumatismos torácicos*, conviene recordar las siguientes formas *:

- conmoción torácica, alteración funcional, sin lesión aparente;
- contusión torácica, existe lesión visible y demostrable;
- compresión torácica, creando un problema de espacio en la caja torácica, que ocasiona compresión del pulmón y desviación del mediastino.

Fisiopatológicamente pueden determinar:

a) pérdida de automatismo de los movimientos de la pared torácica, por reflejos visceroparietales y parietoviscerales, irritación pleural, o por el dolor que determina respiración superficial (hipoxia, retención de CO₂, ...);

b) pérdida de la barostosis fisiológica (por neumotórax, enfisema mediastínico, hemotórax, quilotórax, hernia diafragmática);

c) incompetencia de la pared torácica, con pérdida de rigidez de la pared costal (que se acompaña de movimiento paradójico en la pared libre);

d) alteraciones de la transferencia de gases;

e) alteraciones cardíacas (por lesiones directas o secundarias al desplazamiento mediastínico);

f) crisis agudas del tórax (vía vagal o por alcance de los centros respiratorios).

«Lesiones abdominales (causadas por el volante), a nivel de:

- hígado,
- bazo,
- intestino,
- vejiga urinaria,
- riñones».

* García-Sancho Martín L. Fisiopatología de los traumatismos torácicos. *Noticias Médicas*, n.º 3704. Madrid, noviembre 1998.

Por otra parte, hay que tener presente la *ruptura traumática del diafragma*, cuyo mecanismo lesional, según han observado algunos autores, se debe a impactos de alta energía, con heridas *no penetrantes* (97,7 % casos observados, 44/45), en ocupantes con cinturón de seguridad en la mayoría de los casos. Ref. Garbuio, P., Doury, L., Gagneux, E. Vichard, Ph. En: *Ruptures traumatiques du diafragme: a propos de 45 observations*. Annales de Medecine des Accidents et du trafic, n.º 49, noviembre, Paris, 1997.

«Lesiones producidas por el parabrisas *:

- faciales,
- cerebrales,
- vertebrales».

En las lesiones abdominales, es importante considerar los siguientes aspectos**:

- lesiones por la penetración de objetos.
- lesiones causadas por las fuerzas de compresión y de cizallamiento.
- lesiones debidas a la deceleración.

En tanto que no haya una intrusión mayor en el habitáculo, las grandes causantes de las lesiones abdominales son el cinturón, el volante y el tablero de a bordo. Estos agentes provocan lesiones en segmentos corporales específicos: el cinturón y el volante pueden ser responsables de lesiones torácicas y abdominales; el volante determina en algunas ocasiones heridas en la cabeza, y el tablero de a bordo puede ocasionar heridas en los miembros inferiores. No obstante, las heridas ocasionadas en un determinado segmento pueden entrañar heridas a nivel de otro segmento corporal. Así, Rattenbury (1979) ha demostrado que las fracturas de las costillas inferiores eran con frecuencia responsables de serias heridas abdominales.

Los análisis accidentológicos muestran que las lesiones abdominales están ligadas en forma no despreciable a la tolerancia de la región al choque, siendo todavía materia de investigación muy actual. Es cierto que en general las lesiones abdominales interesan más a los órganos macizos que a las vísceras huecas, y que su frecuencia depende significativamente de la dirección del choque. Los órganos más afectados son el hígado y el bazo. El riesgo de lesiones es menor si el ocupante lleva cinturón.

La cinemática del ocupante con cinturón, cuando la retención de la cadera no es eficaz, se describe como «submarinage», y se corresponde con los casos en que el cinturón está correctamente situado contra los huesos de la cadera, pero el abdomen del ocupante se desliza durante el choque por debajo del cinturón ventral.

En Francia, Stoppa, propuso en 1982 seis configuraciones diferentes para reagrupar las lesiones, incluyendo las del abdomen:

- a) abdomen + cabeza + miembros
- b) abdomen + cabeza + tórax + miembros
- c) abdomen + tórax
- d) abdomen + tórax + miembros y abdomen + miembros
- e) abdomen + cabeza + tórax
- f) abdomen + cabeza

* «La víctima puede seguir avanzando hacia arriba y por encima y golpearse la cabeza contra el parabrisas», dando lugar a las lesiones anotadas.

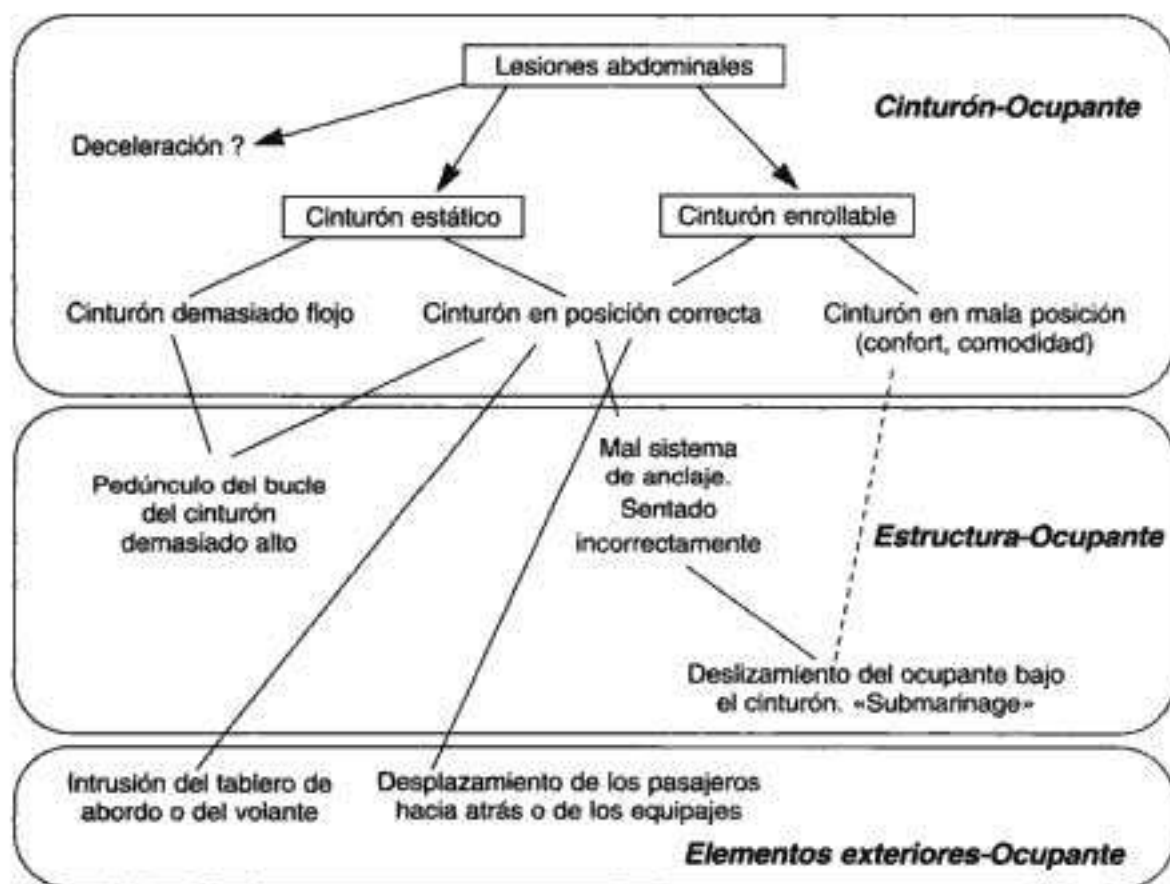
** Según notas tomadas de Roche, I. *Lésions abdominales: revue des mécanismes et de la tolérance au choc*. INRETS (Francia), Informe LBSU n.º 9707, agosto, 1997.

Estos agrupamientos lesionales son buenos indicadores de sus mecanismos productores. El grupo anotado en el punto d) son asociaciones lesionales características del «submarinage». Las lesiones de la cabeza (o más precisamente del cráneo) son incompatibles con el deslizamiento del ocupante. El autor no ha buscado aislar la asociación de las lesiones de la cadera y las lesiones de las vísceras abdominales no pelvianas; las lesiones de la columna vertebral y de la cadera no aparecen disociadas de las lesiones del nivel abdominal.

J. H. Neidhart y cols. (Lyon) han demostrado, a partir de un estudio de 261 politraumatizados, la existencia de asociaciones binomiales (abdomen + tórax + miembros), asociaciones trinomiales (abdomen + cráneo + miembros) y asociaciones polinomiales, de 4 a 6 componentes (abdomen + cráneo + raquis + cadera o miembros).

Leung y cols. anotan que las fracturas dorsolumbares son a menudo asociadas al «submarinage»; a veces incluso sin lesión abdominal. El agrupamiento más corriente, característico del «submarinage», es la asociación de lesiones abdominales, de la columna dorsolumbar y del eje rodilla-fémur-cadera (el choque de la rodilla contra el tablero de a bordo puede engendrar lesiones de fémur y cadera).

La patogénesis lesional en las lesiones abdominales, en atención al papel desempeñado por el cinturón de seguridad, se contiene en este esquema, según I. Roche.



Las *lesiones hepáticas* en los accidentes de circulación, fueron objeto de especial estudio por Lirón de Robles Sanz⁴, del que se apuntan en especial estos aspectos:

En general, el cuadro clínico es bastante inespecífico; el síntoma más frecuente es el dolor abdominal, que suele presentarse en hipocondrio y vacío derecho, aunque en ocasiones es más difuso. El signo de Kerh (dolor en hombro derecho, izquierdo o en ambos), debido a la inundación del espacio subfrénico por sangre y bilis procedentes de la lesión aparece en más del 50 % de los casos.

Entre las lesiones que se pueden producir, el autor citado destaca:

- El lóbulo más afectado es el derecho, el que más se lesiona, dado su mayor volumen y menor protección, aunque los tipos de lesión son de lo más variable; le siguen, en orden de frecuencia, la lesión de ambos lóbulos, y, por último, los casos en que sólo se lesiona el lóbulo izquierdo.

- Los tipos lesionales descritos como más frecuentes son las laceraciones (simples o múltiples), seguidas de estallidos, roturas y, por último, los hematomas subcapsulares.

- En bastantes ocasiones se producen desgarros fisurarios o irregulares del parénquima hepático y de su cápsula, de localización y extensión variables, que pueden llegar a producir rotura e incluso separación de fragmentos.

- Otras veces se produce un estallido del hígado, total o parcial.

- Otro tipo de lesión es la rotura central, con indemnidad de los tejidos periféricos y de la cápsula de Glisson; a la exploración el aspecto del hígado puede ser engañoso.

- Mucho menos frecuente es el hematoma subcapsular primario, con rotura limitada del hígado por debajo de la cápsula de Glisson; puede pasar inadvertido hasta la rotura de la cápsula.

El mecanismo de producción de las lesiones traumáticas de la viscera hepática puede ser:

- *Directo*. Cuando la acción del trauma actúa sobre el hígado, como ocurre en choques, aplastamientos por rueda de vehículo, atropellos en general, etc.; en este grupo hay que considerar la lesión hepática producida por presión del cinturón de seguridad aplicado sobre el abdomen. Lo más frecuente es la compresión del hígado entre la columna vertebral y el esternón, al ser golpeado por el volante del vehículo.

- *Indirecto*. Lesiones hepáticas por aumento de la presión intrabdominal, sin que exista un trauma directo sobre el hígado; también en lesiones por contragolpe, al chocar el hígado contra las costillas o la columna vertebral. Igualmente, las lesiones por rectificación de curvaturas del raquis, o por hiperflexión, debidas a la poca elasticidad del hígado.

⁴ Lirón de Robles Sanz C. *Lesiones traumáticas en los accidentes de circulación* (Tesis Doctoral), Facultad de Medicina, Cátedra de Medicina Legal, Universidad de Zaragoza, 1977.

Hay que considerar el volumen y superficialidad de la glándula hepática, que facilita que se vea interesada en estas violencias traumáticas. Y si una parte de la víscera tiene una buena protección por la arcada costal, la misma, por otra parte, se ve contrarrestada por su escasa elasticidad y comprensibilidad. Es uno de los órganos que con más frecuencia se lesiona en estos traumatismos abdominales.

Además, las fracturas desplazadas de costillas, tan frecuentes en los accidentes de circulación, pueden lesionar al hígado con sus fragmentos.

Según este trabajo, el mayor número de lesionados tiene lugar en los conductores, seguido de peatones y ocupantes de vehículos. Y es una conclusión a la que llegan la mayoría de los autores preocupados por esta materia, aunque algunos, como Hardy, estiman que se da con más frecuencia en peatones.

El hígado es más vulnerable a fuerzas de distorsión que el pulmón o tejido muscular. Esto es debido a que la fuerza que actúa se halla intensificada por un efecto hidrostático (Edmonson y Anderson). En cualquier caso hay que considerar que aquí la capacidad lesional está ligada a la energía cinética.

Finalmente, indica Lirón de Robles que casi todos los autores coinciden en la gran importancia de las lesiones asociadas, de alta frecuencia en los accidentes de circulación. Su tipo es muy variado, destacando en especial las fracturas, las lesiones craneoencefálicas, torácicas, gastrointestinales, de bazo, riñón, destacando por su gravedad las craneoencefálicas, muchas veces mortales por sí mismas, o que pueden retardar el diagnóstico de la lesión hepática.

«La víctima se desplaza hacia abajo y por debajo del volante»

- «Traumatismos en rodillas.
- Traumatismos en caderas.
- Luxación posterior.
- Hemorragias.
- Lesiones intestinales *.
- Lesiones del raquis lumbar».

Hay que anotar que en la actualidad ya existen diseños de asientos para evitar este desplazamiento del viajero (asientos de efecto antisubmarino, pues tal excursión del pasajero en el asiento, hacia abajo, se conoce con el nombre de efecto submarino).

El impacto frontal tiene especial importancia y gravedad en general, tanto por su violencia (pues hay que considerar la suma de velocidad de los vehículos participantes en el choque) junto a su alta proporción (pues suponen más del 70 % de las colisiones entre vehículos), a pesar de que su número va en disminución a medida de que va en aumento la construcción de las autovías.

* «Con frecuencia, en los viajes largos, el pasajero se relaja y desliza hacia abajo en el asiento, lo que determina que el cinturón puede quedar alto, y su posición durante la colisión determinar lesión intestinal o en el raquis lumbar».

Junto a esto, Alonso Santos⁵, refiriéndose también al impacto frontal, resume las siguientes formas de lesiones:

- a) Traumatismo craneoencefálico por impacto contra el parabrisas o volante. La extremidad cefálica destaca por el hecho de que constituye una gran concentración de visceras con un destino sensorial y una encrucijada aerodigestiva.
- b) Fractura-luxación de cadera, por impacto del salpicadero sobre la rodilla cuando ésta se encuentra flexionada (aproximadamente en 90°).
- c) Traumatismo torácico por impacto de la parrilla costal contra el volante, con la consiguiente repercusión visceral.

Para conocer mejor la patogénesis lesional, conviene traer a colación los aspectos señalados por Jiménez Collado⁶, quien recordaba las siguientes fases o tiempos de impactación del ocupante sobre áreas y superficies del vehículo, fases que condicionan las lesiones, al ser indicativo de los desplazamientos, que esquemáticamente analiza así (Fig. 5.1):

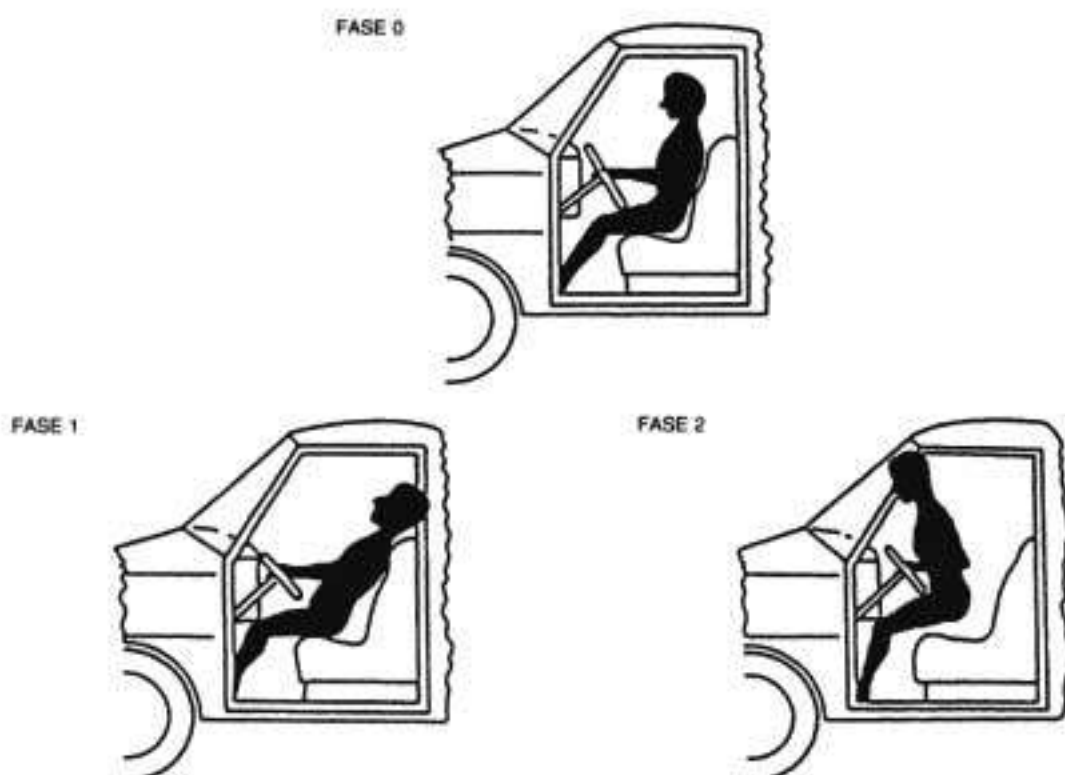


Figura 5.1. (Ref. J. Collado, *El cuerpo humano ante el accidente*, Mapfre Seguridad, n.º 1, 1981.)

⁵ Alonso Santos J, *Seguridad vial y medicina del tráfico* (o. c.), pág. 191. Barcelona, Editorial Masson, S.A., 1997.

⁶ Jiménez Collado J, *El cuerpo humano ante el accidente*, Mapfre Seguridad, n.º 1, Madrid, 1981. Por otra parte, en 1967, un film de la Swedish State Power Board mostraba la descomposición del movimiento en las distintas fases del accidente, tal como se acaba de aludir; para mejor información puede consultarse *Documenta Geigy: Les accidents du trafic routier*, por M. Gogler.

Fase 0. Posición normal de partida.

Fase 1. La porción inferior del cuerpo, esto es la correspondiente a las zonas apoyadas en el asiento y porción inferior del respaldo, se desplazan hacia adelante, en dirección frontal, hasta que las rodillas impactan con el borde inferior del panel de indicadores o con la bandeja portaobjetos, situada por debajo de él (Fig. 5.2).

Si la colisión es grave, se produce un doble impacto: no sólo es el cuerpo el que se desplaza hacia adelante, sino que el panel de indicadores y bandeja son retropropulsados hacia el habitáculo del conductor. En *colisiones laterales* y dependiendo de la intensidad, la rueda del lado del conductor puede ser desplazada hacia detrás, distorsionando la base o suelo. Estas fuerzas pueden ser transmitidas desde la pierna a la pelvis, causando no sólo heridas penetrantes, sino fracturas a distinto nivel (patela, cóndilos femorales, cuello de fémur, etc., y luxaciones, generalmente posteriores de cadera).

Fase 2. Se caracteriza por el impacto de la cabeza sobre la parte superior del cristal parabrisas, condicionando heridas faciales y fracturas de cráneo, asociadas por la transmisión de la fuerza de deceleración a la columna cervical, a luxaciones y desplazamientos vertebrales en los que es más frecuente observar fracturas vertebrales, sobre todo de la apófisis odontoides, 3.ª, 4.ª y 7.ª vértebras cervicales, acompañadas de lesiones oculares y grandes hematomas palpebrales. En ocasiones el espejo retrovisor condiciona heridas penetrantes y grandes desgarros. A veces la huella de grasa impresa en el cristal indica el grado de extensión de la cabeza y del cuello.

Fase 3. Está caracterizada por las lesiones en el tórax y abdomen, como consecuencia de lesiones de costillas, pulmón y estructuras mediastínicas en las que no es infrecuente la presencia de alteraciones del ritmo respiratorio, respiración paradójica, pericarditis traumática e incluso ruptura ventricular izquierda y arco aórtico, lesión ésta cuyo mecanismo causal es el desplazamiento brusco en dirección ventral del mediastino, con el consiguiente arrastre del arco aórtico, a cuyo nivel y como consecuencia del anclaje o fijación de la aorta descendente, se produce la lesión, que varía en gravedad desde la sección completa a pequeñas rupturas y aneurismas traumáticos. Conjuntamente se observan rotura del bazo y diafragma e incluso estallidos de asas intestinales (Fig. 5.3).

Fase 4. Se caracteriza por el mayor e intenso contacto de la cabeza con el parabrisas, ruptura e incluso penetración a través; es típico en esta fase fracturas máxilo-faciales y de bóveda, complicadas con graves heridas por desgarró, observándose en ocasiones secciones laringeas o lesiones del paquete vasculonervioso del cuello, etc. En los *impactos laterales*, se acompañan de lesiones graves torácicas y abdominales, así como desplazamientos y luxaciones de la columna vertebral (Fig. 5.4).

Sin embargo, la exacta apreciación y valoración diagnóstica es difícil en estos casos, fundamentalmente por la presencia de gran número de lesiones que a veces enmascaran el cuadro así como por la ausencia en ocasiones de determinados signos de instauración tardía (Jiménez Collado).

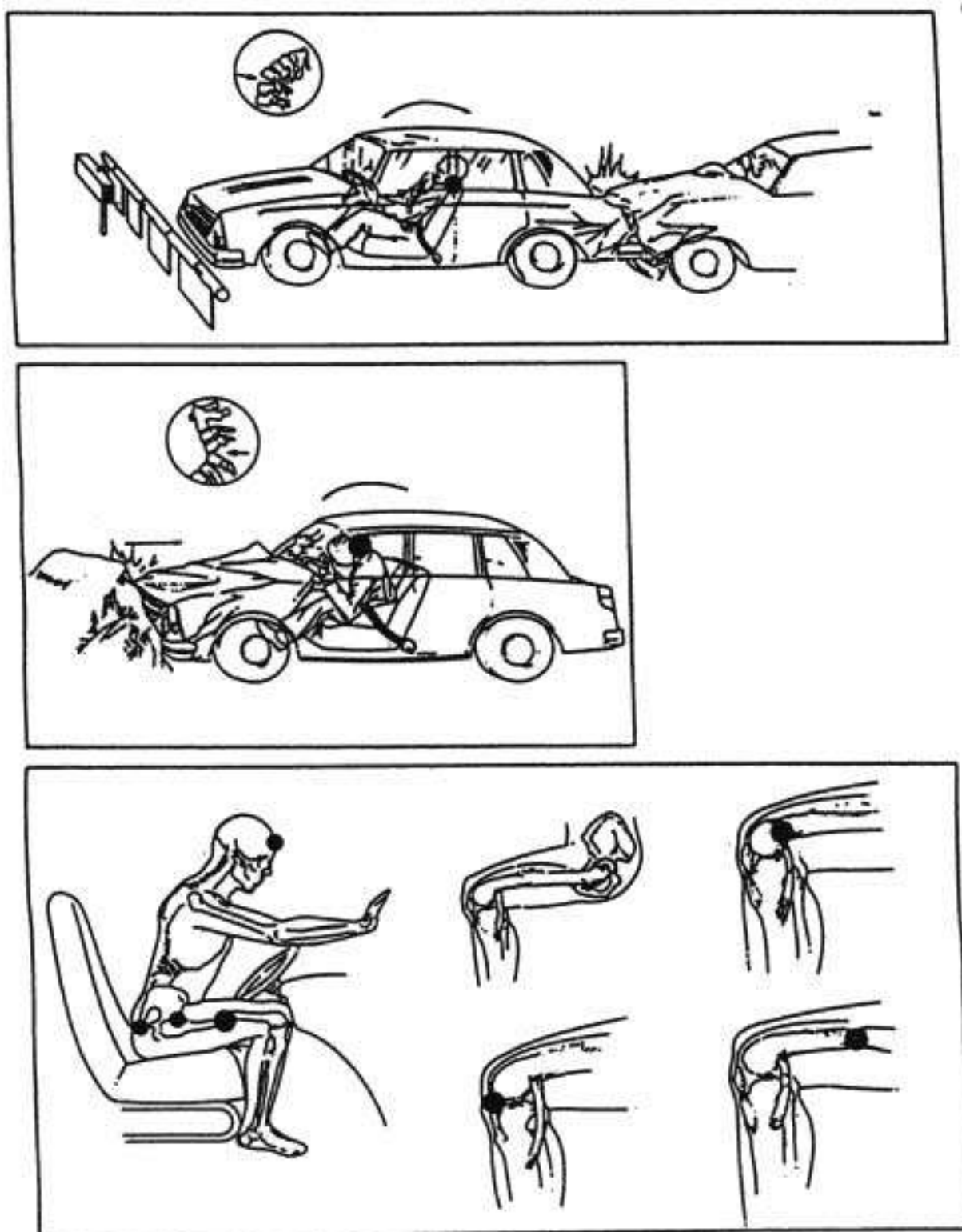


Figura 5.2. Cuando el accidente de tráfico ocurre con una desaceleración rápida y el acompañante no lleva cinturón de seguridad, el pasajero es lanzado hacia adelante y la rodilla golpea el salpicadero y se pueden producir fracturas en cadena del miembro, rótula, fémur y fractura-luxación de cadera.

Ref. P. Guillén García, *Lesiones osteoarticulares en accidente de circulación*. Mapfre Seguridad, n.º 9, primer trimestre, 1983.

FASE 3



Figura 5.3.

FASE 4



Figura 5.4.

Lesiones cervicales

Además de lo ya aludido, la lesión cervical con ocasión del accidente de automóvil merece una consideración especial, dada su frecuencia y el carácter de importancia que puede tomar.

Como ya se ha indicado, la cabeza, por intermedio de la articulación atlanto-occipital, constituye una palanca de primer género, y, por su biomecánica, explica que se generen cadenas cinéticas cerradas, y cadenas cinemáticas abiertas invertidas, todo ello en atención a la naturaleza del impacto a raíz del accidente de automóvil.

Bajo este apartado del traumatismo cervical, no sólo se hará referencia a aquellas derivadas de impacto frontal directo, sino también a las que se producen bajo otras condiciones cinemáticas, ya referidas.

J. Krämer¹, en su obra *Patología del disco intervertebral*, hace un estudio bastante pormenorizado de traumatismo cervical, «columna vertebral cervical» (CVC), dentro del contexto que ahora interesa en el marco de este desarrollo, y que ahora vamos a transcribir en sus aspectos más significativos:

«*Capacidad de resistencia de la CVC.* La CVC está expuesta a lesiones, por su situación biomecánica desfavorable entre la cabeza y el tronco. Si una de ambas masas es acelerada o frenada con independencia de la otra, se someten a las partes blandas de la CVC –entre ellas el espacio intervertebral– a fuerzas de tensión muy importantes».

«*Cambios degenerativos preexistentes.* En estos casos, las lesiones del disco intervertebral de la región CVC son más frecuentes. Los segmentos móviles más afectados por cambios degenerativos pueden ser más fácilmente lesionados. Según sea la dirección e intensidad de la fuerza externa, pueden ser posibles diferentes mecanismos de lesión de la CVC. Los más frecuentes son la flexión y extensión exageradas en relación con accidentes de coche. Los mecanismos lesionales pueden dar lugar, según la intensidad del traumatismo, a desgarros, roturas discales o fracturas vertebrales».

«*Traumatismos en flexión.* En una flexión máxima de la cabeza, sin tope, aparece la hiperflexión de la CVC (*anteflexión*) con extensión de las porciones posteriores del segmento móvil y compresión de las anteriores. En estas condiciones pueden aparecer fracturas por compresión anterior y desgarros dorsales del anillo fibroso, en el ligamento longitudinal posterior, así como en el ligamento interespinoso (ver Fig. 5.5, pág. 107).

También la cápsula de la articulación vertebral puede estar afectada; con agresiones externas fuertes se desgarran la cápsula de las articulaciones vertebrales. Las superficies articulares se desplazan una sobre otra y engatillan en una posición de flexión. En la musculatura de la nuca aparecen desgarros de fibras musculares y hematomas circunscritos. Cuando hay una posición anormal de las vértebras, existe la posibilidad de una compresión lateral de la arteria vertebral con síntomas clínicos de un síndrome cervicocéfálico».

«*Traumatismos en extensión.* Cuando la cabeza recibe una aceleración fuerte hacia atrás, manteniéndose el tronco estático, se desarrolla una hiperextensión de la CVC (reclinación, hiperextensión), que tiene como consecuencia una hiperdistensión de las partes blandas del cuello y de las partes anteriores del disco. Como hallazgo regular en estos traumatismos se cita un hematoma retrofaringeo (Hinz, 1970), considerado como sustrato morfológico de las molestias de deglución de los lesionados. Además, la compresión del nervio occipital mayor puede dar lugar a neuralgias occipitales postraumáticas persistentes. En las agresiones externas fuertes aparecen fracturas de las apófisis articulares con posibilidad de luxación vertebral. Las lesiones por hiperextensión de la CVC aparecen, entre otros motivos, al acelerar el vehículo de forma repentina (ver Fig. 5.6, pág. 107).

¹ Krämer J, con la colaboración de Scheleberger R, Hedtmann A, *Patología del disco intervertebral*. Barcelona, Ediciones Doyma, 1989, págs. 91-94.

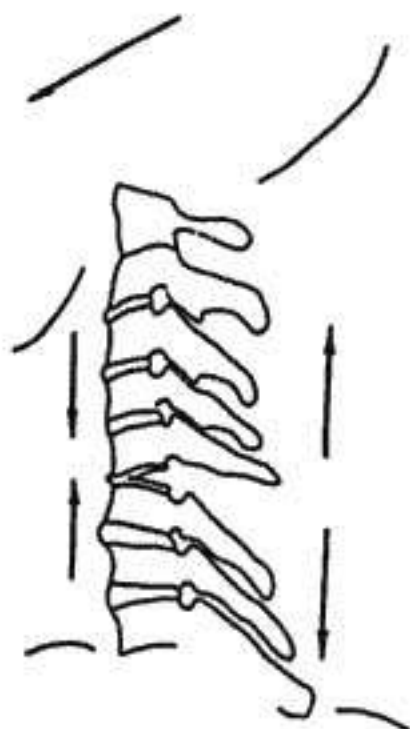


Figura 5.5. Traumatismo en anteflexión de la CVC con compresión anterior y distensión posterior de los segmentos móviles de la parte media e inferior de la columna cervical. (Ref. J. Krämer, o. c.).



Figura 5.6. Traumatismo en retroflexión (traumatismo con hiperextensión) de la CVC con distensión anterior y compresión posterior de los segmentos móviles de la parte media e inferior. (Ref. J. Krämer, o. c.).

«*Traumatismo por latigazo*. El movimiento pendular de la cabeza en un movimiento repentino es, en principio, posible en todas las direcciones. Cuando un automóvil choca frontalmente contra un obstáculo y el pasajero está sujeto al asiento con el cinturón de seguridad, tiene lugar, en primer lugar, una anteflexión seguida de una retroflexión. En las colisiones laterales es posible el movimiento de latigazo de la cabeza bajo ciertas condiciones; sin embargo, son más frecuentes e importantes los movimientos de latigazo de la cabeza por una lesión frontal».

«Cuando un vehículo lento, incluso parado, es alcanzado por detrás, se ve impulsado repentinamente hacia delante. Mientras el tronco del pasajero es impulsado por el asiento con la misma velocidad hacia delante, la cabeza permanece, en relación a su peso, en su sitio, y describe un movimiento de hiperextensión máxima. El movimiento por anteflexión en la segunda parte del traumatismo por latigazo es mayor cuando el vehículo choca frontalmente contra un obstáculo. Este proceso y el alcance posterior con choque frontal subsecuente se da, por ejemplo, en los choques en serie» (Fig. 5.7).

«Con un protector estable para la nuca se puede evitar la hiperextensión, en la primera fase del traumatismo por latigazo. Un traumatismo en anteflexión no puede evitarse de esta manera, cuando el tronco (como está prescrito) está fijado por el cinturón de seguridad. En la posición sentada relajada, con el respaldo reclinado en 45° , el movimiento de anteflexión de la CVC es menos fuerte, ya que una parte de las fuerzas de aceleración anterior se distribuye en dirección axial».

En cuanto a las lesiones cervicales producidas por el cinturón de seguridad, Concejero López^{*} destaca los siguientes aspectos:

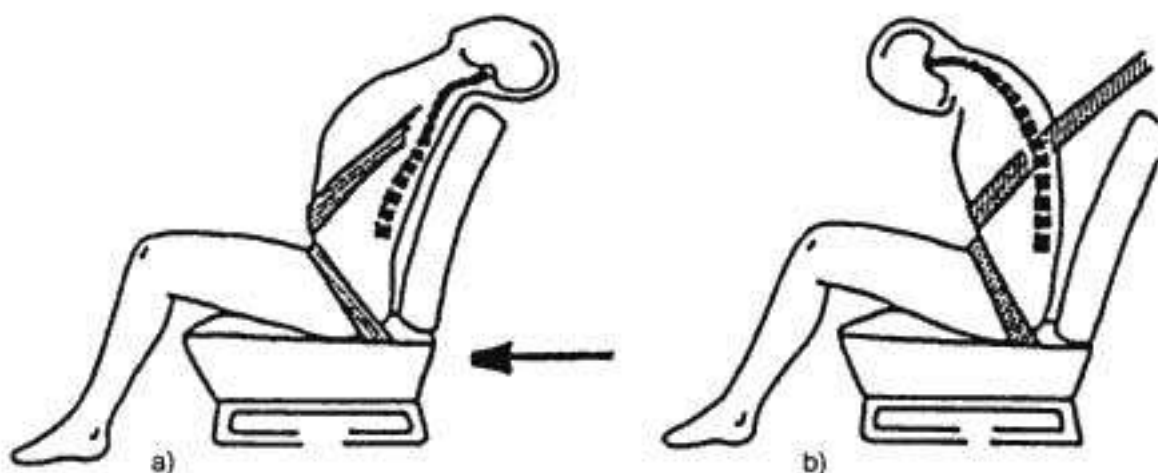


Figura 5.7. Traumatismo en latigazo de la CVC: a) primera fase: el tronco es impulsado hacia adelante en forma repentina, con extensión de la columna cervical; b) segunda fase: latigazo de la cabeza en flexión. (Ref. J. Krämer, o. c.).

^{*} Concejero López. *Mapfre Seguridad*, n.º 4, 1981.

- *Lesiones por hiperextensión.* Afectación ligamento común anterior, desinserción del disco del cuerpo vertebral, pequeña fractura del pico antero-inferior del cuerpo vertebral superior, ligamentos posteriores intactos, reducción espontánea, poco quirúrgicas.
- *Lesiones por hiperflexión cervical.* Afectación ligamentos posteriores, lesión discal, más inestables, más quirúrgicas.

«Para juzgar un traumatismo por latigazo es importante, además de indagar si se contaba con un protector para la nuca, si el accidente fue previsto o no. Con los músculos relajados la amplitud de movimiento es mayor que cuando la musculatura de la nuca y de los hombros esperan contraídos».

Además, Krämer advierte que «*el término de traumatismo por latigazo describe solamente un mecanismo de lesión y no representa un diagnóstico clínico*». La patología que puede venir ligado al mismo se denomina «síndrome cervical postraumático»⁹.

Para una mejor comprensión de la biocinemática lesional, será de utilidad exponer el planteamiento de Hernández Gómez¹⁰ que se transcribe a continuación:

En las colisiones, sobre todo cuando se sufren sobre las estructuras traseras del vehículo, el conductor y los ocupantes de aquél acusan el impacto, de forma más o menos violenta, que tiende a desplazar el cuerpo hacia adelante, si el impulso es posterior; si el golpe se recibe por delante, el cuerpo se desplaza hacia atrás. El raquis actúa entonces como un látigo, de forma que el movimiento que se inicia en el mango (pelvis y columna lumbar) se transmite hacia la punta (o guasca), que es la zona cervical, donde tendrá lugar el desplazamiento de máxima amplitud de la correa o ramal del látigo raquídeo. De este modo se llegan a producir lesiones, que a veces son importantes, en el tramo cervical. Aún más, el cráneo posee peso apreciable y ello incrementará la inercia de la zona, y con ello la amplitud del desplazamiento. Algo similar a lo que sucede con las boleadoras argentinas, si bien el látigo raquídeo no cuenta con la presencia de dos o tres bolas pequeñas, sino de una sola, aunque de gran tamaño, que es el cráneo.

Dicho de otra forma, el movimiento impartido por la colisión recorre la correa o ramal del látigo representada por el raquis, hasta que, al llegar a la

⁹ Con frecuencia en este tipo de traumatismos se hace el diagnóstico de «esguince cervical»; no obstante ello ha de ser objeto de matizaciones. Al efecto, téngase en cuenta que «desde un punto de vista conceptual, el diagnóstico de esguince cervical se comprende como una distensión ligamentosa, con o sin rotura del mismo, y que da lugar a un cuadro de dolor local, inflamación y disminución de la movilidad cervical como consecuencia de la contractura muscular que sucede como mecanismo de defensa; así pues, un paciente con un trauma cervical, con las características citadas, que presenta una clínica de dolor local, rigidez y ausencia de signos radiológicos, sufriría con toda probabilidad un esguince cervical. Sin embargo, cuando el paciente presenta semiología diferente, especialmente déficit muscular o sensitivo, o por el contrario, dolor o/y parestesias, que sugieren irradiación en el territorio correspondiente a una o varias raíces nerviosas, el diagnóstico de esguince cervical ha de ser considerado, cuando menos, incompleto». Heredero Luiglesia, J.L., en *Revista Española del Daño Corporal*, n.º 5. Madrid, Ediciones Díaz de Santos, 1995.

¹⁰ Hernández Gómez R., *Revista Española del Daño Corporal*, n.º 6. Madrid, Ediciones Díaz de Santos, 1997.

punta o guasca, se encuentra con el cráneo, al que tendrá que impartir un movimiento de cadena cinética abierta que, ayudado por la propia inercia del cráneo, llevaría a lanzarlo fuera, arrancándole de su inserción. Músculos y ligamentos impiden que esto ocurra, pero su acción frenadora invierte la dirección del movimiento, que pasa a inscribirse en un esquema de cadena cinética invertida. Esto lleva al cráneo a intentar un desplazamiento excéntrico, similar al que siguen las bolas en el látigo de los gauchos. Como ello no es biológicamente posible, se crean tensiones y respuestas activas en ligamentos y músculos del tramo cervical, que llegan a producir roturas, esguinces, luxaciones, distensiones o simples molestias por contractura muscular. La importancia cinesiológica de todo esto reside en el hecho, poco atendido, de que tanto el movimiento de dirección ascendente establecido en el látigo raquídeo, como el descendente al producirse la inversión del recorrido, pueden encontrarse, a lo largo del ramal que componen las vértebras, con zonas de deterioro, verdaderos puntos débiles, por lesiones o deformidades anteriores, incongruencias locales que, si no se advierte que están localizados en el trayecto del látigo, serán achacadas al impacto sobre el tramo cervical de forma exclusiva.

De aquí la importancia que tiene hacer una exploración completa de todo el raquis, aun en los casos en que parezca claro que la acción y todo el comportamiento lesivos se han limitado al tramo cervical. No sólo importa esto en relación con posibles implicaciones o culpabilidades, sino, y sobre todo, desde el punto de vista terapéutico. Las habituales minervas y collarines pueden resultar mucho menos efectivos que la actuación sobre alteraciones existentes en un nivel vertebral inferior. El corolario lógico de esta deducción es que sería interesante diagnosticar y tratar muchas alteraciones raquídeas que han pasado desapercibidas o que, lo cual es aún peor, se consideraban irremediables.

Lesiones por tracción del plexo braquial

En los impactos frontales (aunque también en otros) merecen atención especial las posibles *lesiones por tracción del plexo braquial*, pues en la actualidad una de las principales etiologías de tales lesiones se encuentra en los accidentes de automóvil, produciéndose lesiones cerradas por estiramiento del plexo con ocasión de traumatismo del cuello y del hombro, ya no sólo en accidentes de automóvil, sino también de motocicleta.

Este origen, tal como señala Sunderland¹¹, se ve favorecido, entre otros, por los siguientes motivos:

¹¹ Sunderland S, *Nervios periféricos y sus lesiones*, págs. 879 y 880. Barcelona, Salvat Editores, 1985. Por otra parte, no se puede desconocer la trascendencia de estas lesiones y su complejidad de tratamiento cuando se ha de recurrir a la microcirugía, así como su posterior prolongada rehabilitación (continua y pesada), que nunca obtiene una recuperación completa (Santos Palazzi, IX Congreso de la Asociación Española de Microcirugía. Referencia: *Diario Médico*, 28 de octubre de 1988, Madrid).

– La flexión de la cabeza y el cuello produce tensión sobre las raíces nerviosas.

– En caso de flexión lateral extrema, las raíces espinales contralaterales son tensadas. Roaf (1963) ha señalado que las lesiones de la columna cervical por flexión lateral se «complican a menudo por una lesión del plexo braquial, así como de la médula espinal».

– La rotación de la cabeza y de la columna cervical casi siempre origina tensión sobre las raíces cervicales del lado opuesto a aquel al que ha girado la cabeza.

– La flexibilidad y elasticidad de la columna cervical, y la considerable libertad de movimiento que por lo común tiene, implican tensiones y deformaciones que son mayores en la región cervical baja. Esto y la mayor movilidad de la cintura escapular sobre el tronco y el brazo a nivel del hombro constituyen el fundamento de una combinación de movimientos que aumenta la tensión sobre el plexo. En este aspecto es importante:

- a) la abertura del ángulo supraclavicular entre el cuello y el hombro;
- b) la flexión lateral de la columna cervical;
- c) la rotación de la cabeza y la columna cervical;
- d) la depresión del hombro;
- e) la tracción sobre el brazo.

Si estos movimientos, concluye Sunderland, superan los límites normales de forma súbita e intensa, la tracción sobre el plexo pueda alcanzar niveles patológicos.

Lesiones en atención a la región anatómica interesada en el accidente

Del trabajo de Sánchez Serrano ¹ sobre las lesiones que aparecen en los accidentes de tráfico según la región anatómica afectada se extrae ahora el siguiente resumen:

LESIONES EN LA REGIÓN CEFÁLICA

Lesiones craneoencefálicas

En este apartado se han de considerar tres tipos de lesiones:

- fractura de cráneo,
- conmoción cerebral,
- contusiones y dislaceraciones cerebrales.

Lesiones maxilofaciales

LESIONES EN LA COLUMNA VERTEBRAL

Lesiones en la columna cervical

- Lesiones por impacto directo sobre la cabeza (con fuerza transmitida directamente a la región cervical).

¹ Sánchez Serrano S, Lesiones que aparecen en los accidentes de tráfico según la región anatómica afectada. *JANO*, 1985, 26 de marzo-6 de abril.

– Lesiones debidas a movimientos de flexión o extensión forzada sin impacto directo sobre la cabeza:

- lesiones por hiperflexión,
- lesiones por hiperextensión,
- lesiones por hiperflexión e hiperextensión.

Lesiones en la columna dorsolumbar

– *Lesiones producidas en colisión.* En caso de violenta hiperflexión del tronco hacia delante, se puede producir aplastamiento vertebral anterior y rotura de los ligamentos posteriores.

– *Lesiones en atropello.* Lesiones variadas: fractura-luxación de la columna toraco-lumbar, contusiones variadas de la región sacra o bajolumbar, retrolistesis de las vértebras; además, la parte superior del tronco sufre secundariamente una hiperextensión por inercia.

LESIONES TORACO-ABDOMINALES

Lesiones torácicas

- Contusión torácica.
- Compresión torácica.
- Fractura de costillas.
- Fractura de esternón.

Lesiones abdominales

- Lesiones de vísceras huecas, vasculares y de los mesos.
- Lesiones de vísceras macizas.

LESIONES EN LOS MIEMBROS INFERIORES

Lesiones en pelvis

Lesiones de la articulación coxofemoral

- Fractura luxación posterior.
- Fractura luxación central.

Lesiones en el fémur

- Fractura de cuello de fémur.
- Fractura de la extremidad inferior del fémur.

Lesiones en rodilla

- Fractura de rótula.
- Fracturas en cadena (fractura de rótula, fractura de cuello femoral, fractura de luxación de cadera).

Lesiones en la pierna y pie

- Fractura de los huesos de la pierna.
- Traumatismo tibio-tarsiano.
- Fracturas bimalleolares.
- Fractura luxación tibiotarsiana.
- Lesiones complejas de aponeurosis y mortaja.

LESIONES EN LOS MIEMBROS SUPERIORES

- *Fracturas en cadena*. Dos tipos:
 - Fractura *baby-car* (por cizallamiento del codo del conductor de automóvil pequeño, asomado por la ventanilla, por falta de espacio y que recibe un golpe exterior). Se combinan las siguientes lesiones: fracturas de la parte media de la diáfisis humeral; fractura conminuta del olécranon; luxación del codo.
 - Fractura del húmero-olécranon.

Mediante maniqués, de acuerdo con lo que publica la revista española *Tráfico*, n.º 132, septiembre/octubre 1998, y según la fuente procedente de Renault y Volvo, son siete las partes del cuerpo humano en las que se concentran los puntos de medición, ya que representan el mayor número y más graves lesiones que se sufren en los accidentes. Gracias a las informaciones conseguidas a través de los ensayos se han desarrollado elementos de seguridad que reducen considerablemente los efectos de las colisiones. Los principales puntos de medición, así como el porcentaje de daños que sufren los ocupantes del vehículo en esas zonas, junto con los elementos de protección desarrollados (a partir de los ensayos con los «dummies») son los siguientes:

1. Cabeza

Se mide la aceleración lineal (en línea recta) en un impacto frontal y que puede hacer que la cabeza se golpee contra el volante.

Lesiones: fractura de hueso frontal, así como el choque del cerebro contra la cavidad craneal. Las más graves pueden ir del coma a la lesión cerebral mortal.

Frecuencia: 0,5 % y 5,7 %, respectivamente.

Protección: airbag frontal y lateral, cinturón de seguridad y columna de dirección deformables.

2. Cara

Se miden los puntos de contacto con elementos duros como el parabrisas, volante, etc.

Lesiones: lo más frecuente es la fractura maxilofacial. Hay que añadir importantes secuelas psicológicas que pueden quedar en los afectados.

Frecuencia: 6,4 %.

Protección: airbag frontal y lateral, cinturón de seguridad y columna de dirección deformable.

3. Cuello

Se mide la fuerza y el momento de flexión en el punto donde la cabeza se encuentra con el cuello. Aún no se pueden medir los efectos del «movimiento de látigo» (que se produce cuando un vehículo es alcanzado por otro por detrás) y que causa severas lesiones neurológicas.

Lesiones: fracturas cervicales. En los niños menores de 2 años se incrementa la gravedad.

Frecuencia: 6,4 %.

Protección: apoyacabezas regulable. Para menores de 2 años, sillas colocadas en sentido contrario a la marcha.

4. Pecho

Se mide la aceleración que se produce en el pecho. En el Hibrid III, la desviación del pecho; es decir, hasta qué punto es aplastado y cuánto tiempo). También se cuantifica la aceleración media en las costillas y en la vértebra doce dorsal, que indica el índice de traumatismo torácico. Se está intentando medir el «criterio de viscosidad», que indica si se han producido fracturas en las costillas y lesiones en órganos internos, como pulmones o hígado.

Lesiones: fractura de costillas con hemorragia interna.

Frecuencia: 19 % para el conductor, 28,8 % para el pasajero.

Protección: cinturones de seguridad con pretensores, airbags, columna de dirección deformable, sistemas antisubmarino de los asientos.

5. Abdomen

Las mediciones en este campo acusan todavía un importante vacío. En las colisiones laterales se valoran las fuerzas máximas que soportan en tres puntos.

Lesiones: hemorragias internas. Más graves en niños de 3 a 10 años.

Frecuencia: 24,1 %.

Protección: cinturones de seguridad con pretensores, asientos con protección antisubmarino, asientos de seguridad para los niños.

6. Cadera

Se miden las fuerzas de aceleración en el centro de la cadera y el EURO-SID permite conocer la fuerza creada entre dos puntos de las caderas.

Frecuencia: 8,6 %.

Protección: cinturones de seguridad con pretensores, airbag lateral y sistemas de protección para el habitáculo (barras laterales).

7. Piernas y pies

Se mide la fuerza en sentido longitudinal de la pierna. En colisiones frontales graves, la rodilla se empotra en el salpicadero, produciendo fracturas de fémur. Su fiabilidad es bastante buena. No así los puntos de medición de la rodilla y tobillo.

Lesiones: fracturas diversas.

Frecuencia: 32,2 %.

Protección: cinturón de seguridad con pretensores, sistemas de protección de las rodillas.

Tipología lesional de los accidentes de tráfico en los ocupantes según el tipo de vehículo implicado¹

Por su interés se reproduce el siguiente trabajo, del que son autores M. Ramet y G. Vallet, quienes respondiendo al epígrafe que preside este capítulo, y a partir de 5.459 informes, estudian y clasifican las lesiones tomando en consideración los siguientes apartados:

a) Clase de vehículo implicado en el accidente

- vehículos ligeros;
- transportes ligeros
- vehículos pesados;
- vehículos de dos ruedas sin motor;
- vehículos de dos ruedas con motor menor de 125 cm³;
- vehículos de dos ruedas con motor superior a 125 cm³.

b) Regiones anatómicas estudiadas

- cabeza;
- columna vertebral;
- tórax;
- cadera y abdomen;
- miembros inferiores.

USUARIOS DE VEHÍCULOS LIGEROS

Lesiones en la cabeza

Esta región es ampliamente alcanzada tanto a nivel del cráneo como de la cara, especialmente en el choque frontal, más aún en los que no portan el cin-

¹ Ramet M, Vallet G. En: *Typologie des accidents du trafic routier a partir de 5.459 dossiers*. Laboratoire de Chocs et de Biomécanique (LCB). INRETS, rapport n.º 41. Bron (Francia), 1987.

turón de seguridad, por el contacto con el parabrisas o por encima del tablero de instrumentación.

En el choque lateral los contactos son más aleatorios, pudiendo incidir los cristales laterales, el techo, pero también la proyección de los ocupantes entre ellos. Como lesiones graves se considera que la bóveda del cráneo es una zona «negra», dándose numerosas lesiones severas: fracturas en zonas variadas, con predilección para la zona temporo-frontal, y sobre todo una lesión temible: la fractura de cráneo alcanzando el tejido nervioso, que se corresponde a menudo con fallecimientos en el acto o en las horas siguientes al accidente.

A nivel de la cara, además de heridas, se dan lesiones graves a nivel del macizo facial y de las disyunciones cráneo-faciales. Estas lesiones son debidas a los impactos sobre obstáculos poco deformables, en especial cuando un obstáculo penetra y viene al encuentro del ocupante, como en el aplastamiento de la cara sobre el parabrisas cuando la cabeza se presenta en hiperextensión.

Las lesiones del aparato ocular se limitan a menudo a heridas en los párpados (por el parabrisas, espejo de cortesía, ...) y la presencia de los modernos parabrisas elimina la casi total inclusión de cristales en el globo ocular.

Lesiones en el cuello y columna dorsolumbar

El segmento cervical se muestra mucho más frágil que el dorsolumbar, tanto que el ocupante del vehículo ligero es solicitado más a menudo a este nivel, por hiperflexión, hiperextensión (especialmente en choque posterior), hiperflexión lateral, pero también el «efecto telescópico» en las vértebras —especialmente en el retorno—, dando lugar a una patología variada, que en la mitad de los casos se etiqueta como «luxación sin alteraciones nerviosas», siendo los signos radiológicos raramente evidentes, hasta el punto de que la lesión es tan difícil de objetivar como de rechazar.

Por el contrario, hay un número importante de luxaciones con alteraciones asociadas (transitorias, con mayor frecuencia) y fracturas con ciertas paraplejias asociadas.

La columna dorso-lumbar está menos sometida a los movimientos excesivos en el choque automovilístico, y cuando así es, el riesgo de lesión nerviosa asociada es reducido. Estas lesiones son debidas a movimientos de hiperflexión y se dan retornando o volviendo, ligados a los movimientos complejos del ocupante. En el ocupante con cinturón de seguridad, se constatan a veces lesiones dorsales altas debidas a la proyección de los pasajeros hacia atrás o por efectos de una carga.

Lesiones del tórax óseo y de las vísceras intratorácicas

El tórax es un segmento muy frecuentemente alcanzado en el accidente de automóvil, y también de forma grave, ya que los límites de deflexión admisibles para la caja torácica se sobrepasan con frecuencia, en particular en el cho-

que frontal, en el impacto contra el volante; en el choque lateral, cuando la intrusión provoca el contacto con la parrilla costal, lo que ocurre también en el ocupante con cinturón, pues el apoyo del cinturón puede originar lesiones de las costillas y del esternón.

Las lesiones graves son numerosas: fracturas múltiples de las costillas, interesando o no a la parrilla torácica, pero sobre todo asociadas a lesiones subyacentes interesando a las vísceras intratorácicas. Las lesiones costales están muy a menudo asociadas a heridas del parénquima pulmonar, heridas provocadas por fragmentos de las costillas (fenómeno que representa el 70 % de las lesiones graves de las vísceras intratorácicas). Hay que temer que un número elevado de lesiones cardíacas, de pequeños o grandes vasos, pasan desapercibidas, tanto que un estudio de las causas de la muerte en vehículos ligeros revela que la mitad de los sujetos eran portadores de lesiones mayores intratorácicas.

Lesiones de la cadera y de las vísceras abdominales

Las lesiones óseas de la cadera son poco frecuentes, pero son a menudo severas (AIS igual o mayor a 3). Se dan lesiones bien conocidas, como el síndrome del tablero de a bordo: en choque frontal, la rodilla golpea el tablero y según la superficie de contacto y la fuerza ejercida, las lesiones se producen a lo largo del muslo, herida o fractura de rótula o fractura de fémur, y más lejos, fractura del cotilo (por efecto telescópico) de la cabeza femoral en la cúpula cotiloidea; se encuentran fracturas del cotilo asociadas a fracturas de las ramas de la pelvis.

Las fracturas de las palas ilíacas o de las ramas de la pelvis están más ligadas a los choques laterales: la intrusión de la superficie lateral toma contacto, chocando, con la cadera del ocupante situado en ese lado, y ocasiona una compresión con fractura, ya en el punto de apoyo (pala ilíaca) o a distancia, a nivel de los puntos débiles (ramas ilíacas e isquípúbicas).

Las lesiones de las vísceras abdominales están raramente ligadas a las de la cadera; se observan lesiones de la vejiga que no van acompañadas siempre de lesiones óseas, pero sí a compresiones abdominales (por ejemplo, por la acción del volante) sobre una vejiga repleta. Otra víscera bastante alcanzada es el intestino, aunque es difícil determinar sus mecanismos lesionales.

El estómago, hígado y bazo son vísceras lesionadas en choques altos, a nivel de la base del tórax, y estas lesiones están frecuentemente asociadas a fracturas de las costillas. El mismo diafragma se rompe en general cuando hay una lesión asociada al tórax óseo.

Las lesiones renales se deben raramente a un traumatismo directo, ya que el alojamiento renal está muy atrás, a lo largo de la columna vertebral, y protegido por masas musculares de la espalda; los riñones con frecuencia se lesionan en el momento de grandes movimientos de hiperflexión y a veces asociados a fracturas de la columna dorsal.

Todas estas lesiones son severas (AIS igual o mayor a 3).

Lesiones de los miembros inferiores

Son numerosas y con frecuencia graves, anotando en especial la fractura de fémur, no sólo en choque frontal (síndrome del tablero de a bordo), sino también en el lateral; en ambos casos hay que considerar el desplazamiento de fragmentos seguido de retracciones musculares (ante la acción de los potentes músculos de la zona). En el choque frontal se observan verdaderos estallidos de los cóndilos femorales, de la rótula, siendo estas lesiones intraarticulares de pronóstico sombrío en el aspecto funcional. Pero la rótula se fractura más particularmente ante un contacto con una superficie limitada (así, llaves de contacto, empuñadura del freno).

Se dan numerosas lesiones en el tobillo/pie: en el choque frontal son frecuentes las deformaciones del suelo y las distorsiones de los pedales, produciéndose un verdadero encarcelamiento de la parte distal del miembro inferior, con destrozos de ligamentos y óseos; fractura tibio tarsiana, luxación del pie o del tobillo, fractura de los huesos propios del pie. Igualmente, el mismo tipo de lesiones, dado el espacio reducido del habitáculo a nivel de los pies, en el choque lateral violento.

De manera global, se constata que el accidentado de los vehículos ligeros es un polileionado, con frecuencia politraumatizado. Las lesiones graves interesan esencialmente a la bóveda craneana y contenido, al tórax óseo y visceral y a los miembros inferiores. Las lesiones de la columna cervical, así como las de la cadera y de las vísceras abdominales son más frecuentes en relación a los usuarios de otros vehículos.

USUARIOS DE TRANSPORTES LIGEROS (-3,5 toneladas)

Lesiones en la cabeza

Muy frecuentes, pero a menudo poco graves. Las estructuras susceptibles de ser agredidas en esta zona corporal se muestran distantes en relación con los vehículos ligeros, dado que el parabrisas es muy vertical y, por otra parte, la posición del conductor en el asiento es diferente, con lo que la cinemática del individuo es modificada.

Por el contrario, en los vehículos de cabina avanzada y cuando el choque es severo, la misma estructura de la cabina se precipita delante del ocupante. Se constata que al lado de las heridas benignas existen grandes daños: estallido del cráneo, fractura masiva del macizo facial, que se pueden relacionar con los aplastamientos de la cabina con penetración muy importante de estructuras lesivas.

Lesiones de la columna vertebral

Menos frecuentes y menos graves que para el ocupante de vehículos ligeros, pero ha de soportar más carga externa a nivel de la columna dorsolumbar.

Esto se puede explicar por las diferencias cinemáticas, pues el cuerpo del usuario del transporte ligero tiene la posibilidad de hiperflexionarse, en tanto que casi nunca utiliza el cinturón de tres puntos. Estas lesiones por hiperflexión pueden dar lugar a luxaciones del raquis lumbar, sin alteraciones neurológicas.

Lesiones torácicas

Numerosas y graves, lo que se puede explicar por varias razones: por una parte, la ausencia de cinturón de seguridad; por otra, una posición ante el volante/columna de dirección bastante agresiva para el conductor, y que en las cabinas avanzadas, recula con las estructuras delanteras, muy frágiles en este tipo de habitáculo.

Se pueden encontrar fracturas múltiples de las costillas y fracturas de la parrilla torácica, lesiones en las vísceras intratorácicas, hemotórax y perforación del parénquima pulmonar.

Lesiones de la cadera y del abdomen

No son frecuentes. Las lesiones renales halladas están más relacionadas con la patología dorsolumbar que con las lesiones directas en el abdomen. Se hubieran podido suprimir con el uso del cinturón. Las lesiones del bazo y del hígado se ponen en relación con las agresiones al tórax óseo dañado por volante.

Lesiones de los miembros inferiores

Frecuentes y graves, incluso más que para el ocupante del vehículo ligero. Se corresponden con el encarcelamiento de los miembros inferiores en la estructura deformada de la cabina avanzada, pues no hay casi ninguna protección entre las extremidades inferiores y la parte delantera de la cabina. Si las lesiones del fémur y de la rótula revelan el clásico síndrome del tablero de a bordo, la tibia es aquí directamente lesionada, en tanto que las lesiones del pie están ligadas al retroceso de las estructuras delanteras.

USUARIOS DE VEHÍCULOS PESADOS

Lesiones en la cabeza

Frecuentes tanto a nivel del cráneo como de la cara, siendo las lesiones del cráneo graves. En efecto, las lesiones de la cara se limitan a heridas o fractura de la nariz. No se constatan importantes daños faciales como en el caso de los vehículos ligeros; esto se explica por la cinemática del usuario de estos vehícu-

los pesados, dada su posición en el asiento, que no lo dirigen tanto hacia el parabrisas, por otra parte, muy vertical en estos vehículos.

Por el contrario, se aprecian lesiones de la bóveda del cráneo, tipo fractura, con salida de tejido cerebral: este tipo de lesión suele estar más relacionado con un choque directo contra el objeto impactante (obstáculo fijo rígido, parte trasera de un camión), que implica deformaciones masivas del laminado de las cabinas avanzadas, sin protección frontal.

Lesiones del cuello y de la columna dorsolumbar

Relativamente frecuentes, siendo, además, graves en la mitad de los casos. Mayormente se deben a mecanismo de retorno a las eyecciones, por un mecanismo de compresión de la columna: el peso del cuerpo imprime un efecto telescópico en el segmento cefálico, mientras que la columna dorsolumbar realiza angulaciones forzadas. Las lesiones cervicales son las más severas.

Lesiones torácicas

El tórax óseo es asiento de lesiones severas debidas a importantes aplastamientos del habitáculo que viene a contactar con el ocupante. Se han visto (en dos casos) lesiones mayores de las vísceras endo-torácicas (una lesión de aorta, y otra de la arteria pulmonar). Hay que señalar que la ausencia de autopsias sistemáticas disminuye el conocimiento de este tipo de lesiones.

Lesiones de la cadera y del abdomen

Las lesiones de la cadera se pueden producir por mecanismos directos, por el apoyo de un volante amplio, rígido y muy plano, o por mecanismos indirectos tipo síndrome del tablero de a bordo.

No se han visto lesiones de vísceras abdominales, de las encontradas clásicamente, pero la elevada tasa de fallecimientos explica sin duda que se pierda la información a este nivel.

Lesiones de los miembros inferiores

Muy frecuentes (más que para los ocupantes de vehículos ligeros) y generalmente severas. En efecto, además de los mecanismos clásicos de daño producido directamente sobre el tablero de a bordo (fractura de rótula, fracturas de fémur) muchas lesiones son debidas a mecanismos más complejos de torsión: los pies, muchas veces, son arrinconados a raíz del retroceso de la parte delantera de las cabinas avanzadas, y se observan rupturas por torsión del conjunto tibia/peroné: estas lesiones por torsión son con frecuencia complejas, asocian-

do fracturas abiertas multifragmentarias y arrancamiento de ligamentos que provocan lesiones muy invalidantes.

USUARIOS DE VEHÍCULOS DE DOS RUEDAS SIN MOTOR

Lesiones en la cabeza

Frecuentes y graves. Las lesiones craneoencefálicas constituyen un daño mayor en los accidentes de los usuarios de bicicletas, ya sea por la caída contra el suelo o con ocasión del golpe contra otro vehículo, haciendo que el cráneo golpee violentamente contra un obstáculo, aumentando el daño el hecho de que estos usuarios no suelen llevar prácticamente nunca casco. Esto explica, a pesar de que su velocidad no es comparable, que se presente la misma gravedad que en el caso de lesiones en vehículos de dos ruedas con motor, y que sean más frecuentemente alcanzados que estos últimos.

Las lesiones en la cara son también frecuentes, raspaduras, a veces heridas por el parabrisas cuando el ciclista choca frontalmente contra la parte delantera de un vehículo ligero. También algunas fracturas nasales, incluso a poca velocidad, así como importantes destrozos en el macizo facial.

Lesiones en cuello y columna dorsolumbar

El eje vertebral es con poca frecuencia alcanzado, pues los movimientos de hiperflexión o hiperextensión que llevan a la fractura o luxación son aquí raros, puesto que el cuerpo del individuo es libre. Las lesiones sobrevienen a raíz de las caídas al suelo, donde la cabeza, estando bloqueada al suelo, produce una hiperextensión lateral con posibilidad de lesión del plexo braquial.

A nivel dorsolumbar, la caída al suelo es un mecanismo generador de lesiones rompiendo las curvaturas normales de la espalda, pero estas lesiones son poco graves (luxación lumbar sin alteraciones neurológicas).

Lesiones en el tórax y vísceras endotorácicas

El tórax es una región que con frecuencia se lesiona, y de forma severa en los ciclistas, con diferencia de los que usan motocicletas. La cintura escapular se ve comprometida muy a menudo, así como también se producen caídas hacia adelante, lo que explica esta patología.

Pero existen también lesiones de la caja torácica que corresponden a impactos contra el objeto lesivo (vehículo ligero, camión u obstáculo rígido), observándose, pues, fracturas de las costillas o de la parrilla torácica, lesiones subyacentes, hemotórax en casos muy severos.

Lesiones de la cadera y de las vísceras abdominales

Las fracturas del cotilo revelan aquí el mismo mecanismo indirecto que para los usuarios de vehículos ligeros; la rodilla topa contra el primer obstáculo, en general un vehículo ligero y la energía transmitida a lo largo del fémur termina con una fractura del cotilo. Las fracturas de las ramas de la pelvis suelen estar vinculadas a un choque directo con el vehículo impactante: el esfuerzo ejercido lateralmente sobre la cadera hace romper las ramas isquio e ilio pubianas. Las lesiones de las vísceras abdominales son raras, aunque hay que anotar una ruptura intestinal, quizá por impacto abdominal, por el manillar de la bicicleta, mecanismo evocado con frecuencia y responsable de numerosas lesiones, en particular en la infancia.

Lesiones de los miembros inferiores

Extremadamente frecuentes, pero a menudo representadas por simples heridas en las rodillas o diversas lesiones en los miembros inferiores.

Las fracturas femorales están más ligadas a un choque de la rodilla contra una estructura rígida, mientras que las fracturas de la tibia y del tobillo resultan de movimientos de flexión forzados a raíz de la caída al suelo, a veces también por impactos directos (como parachoques del vehículo ligero).

USUARIOS DE VEHÍCULOS DE DOS RUEDAS CON MOTOR DE MENOS DE 125 CM³

Lesiones en la cabeza

Estas lesiones son más frecuentes en esta categoría de dos ruedas que en las otras. A nivel del cráneo se constatan importantes heridas, pero también (que es lo que da gravedad a las lesiones de este segmento) fracturas tanto temporales como frontoparietales, así como destrozo masivo de la bóveda del cráneo, interesando a la masa cerebral.

En un número no despreciable de casos, las lesiones mayores se deben a impactos contra vehículos pesados, pero también a caídas al suelo, a menudo con un segundo impacto contra un obstáculo (acera, etc.).

Respecto al casco, es una protección importante, pero no evita todas las lesiones graves, por cuanto es importante recordar (Cesari, Ramet) que puede: soltarse de la cabeza en el primer choque, dejando a su usuario sin protección; estallar a raíz del choque; y que las lesiones del cráneo pueden aparecer a pesar de llevar correctamente el casco en el choque (por haber sobrepasado los límites de tolerancia cerebral por aceleraciones excesivas, pero también por compresión o efecto telescópico en la columna, a nivel de agujero occipital).

Las lesiones de la cara, frecuentes en los usuarios de pequeñas cilindradas, frecuentemente con heridas y un número no despreciable de fracturas nasales. Pero se anotan también lesiones graves del macizo facial, con algunos casos de disyunción craneo-facial (que evocan un contacto con una superficie rígida, como la parte trasera de un camión), más que la caída al suelo. Estas lesiones sobrevienen preferentemente en los que no usan casco, pero también pueden aparecer en los que llevan cascos llamados envolventes (no «integrados»).

Lesiones en el cuello y columna dorsolumbar

El eje vertebral es con poca frecuencia involucrado, y con poca gravedad. A raíz del accidente, estos usuarios, en un choque inicial, a nivel de los miembros inferiores con una secundaria caída al suelo, raramente el raquis se ve solicitado, pues el cuerpo tiene libertad de movimientos.

Se pueden encontrar lesiones por hiperflexión cuando la cabeza toca el suelo y se enrolla violentamente, o en las caídas sobre el muñón del hombro (mecanismo de hiperextensión lateral) y/o algunas luxaciones simples; más raramente lesiones graves: hiperextensión por impacto primario de la cara, efecto telescópico cervical con ocasión de la caída.

A nivel dorsal, pocas lesiones: es una parte de la columna muy estabilizada por la caja torácica, mientras que el nivel lumbar se encuentra un número a considerar de luxaciones simples.

Lesiones en el tórax y vísceras torácicas

Las lesiones del tórax óseo están esencialmente representadas por las contusiones ligadas a la caída al suelo y se encuentran pocas lesiones graves, las cuales son debidas a mecanismos de compresión o aplastamiento.

Por el contrario, se dan, como en los usuarios de bicicletas, un cierto número no despreciable de lesiones en la cintura escapular (fracturas de clavícula, de omoplato), que pueden ir asociadas a lesiones del plexo braquial.

Las lesiones viscerales son raras, pero se constatan algunos impactos torácicos mayores, y un caso de herida cardiaca con lesión torácica mayor por salto.

Lesiones de la cadera y de las vísceras abdominales

Son raras, y conciernen esencialmente a las ramas isquio e iliopubianas. Estas lesiones están ligadas a mecanismos de compresión y aparecen en un contexto de choque violento. Se encuentran asociadas a lesiones de la pelvis menor, pudiendo asociarse a roturas vesicales.

La afectación del bazo suele corresponder a traumatismos altos (choques sobre la base del tórax, o choque directo en la región esplénica). Las lesiones

renales suelen venir asociadas a lesiones del raquis dorsolumbar; los choques directos en el alojamiento renal son poco frecuentes.

Lesiones de miembros inferiores

Zona frecuentemente alcanzada, a menudo con lesiones graves e invalidantes. Las fracturas de fémur (45 % de las lesiones graves) son posibles por dos mecanismos: el choque directo por encastramiento de la rodilla en la estructura del vehículo impactado, o por caída, primero en la rodilla; también por mecanismos de fractura por torsión cuando el motorista cae con su máquina y se encuentra debajo de ella. El choque contra las estructuras de un vehículo, en particular en los choques frontales muy desencajados, son frecuentes. Por otra parte, las fracturas de fémur, con astillamiento, se observan en este tipo de colisiones con lesiones graves de la rótula, con daños articulares.

Las lesiones distales del miembro inferior son también muy frecuentes, en especial las fracturas de tibia y/o de peroné, que se pueden revelar por dos mecanismos: por torsión, de forma idéntica al evocado para el fémur, cuando la máquina aplasta el miembro inferior, cayendo sobre el motorista ya en el suelo; por un mecanismo de para-choque directo. Estas fracturas, dada la proximidad del hueso al revestimiento cutáneo, son muchas veces abiertas, y cuando se deben a un mecanismo de torsión, frecuentemente plurifragmentarias, lo que explica la gravedad de las secuelas.

Las lesiones del pie o de la articulación tibio-tarsiana se deben a movimientos de torsión y el daño a menudo alcanza a ligamentos y hueso.

En resumen, los daños en la cabeza/miembros inferiores es lo que más caracteriza a los usuarios de dos ruedas (ocupando el primer lugar los miembros inferiores, y en segundo término el nivel cefálico) siendo alto el riesgo vital para las lesiones cefálicas y el riesgo de incapacidad improtante por las lesiones de los miembros inferiores.

USUARIOS DE VEHÍCULOS DE DOS RUEDAS CON MOTOR SUPERIOR A 125 CM³

Lesiones en la cabeza

Estos usuarios son moderadamente alcanzados a este nivel, pero cuando lo son suelen determinar lesiones graves. El casco es un elemento importante de protección, estando presente en la mayoría de estos motoristas (86,3 %).

Más de la mitad de las lesiones de cráneo se han encontrado en sujetos sin casco y en aquellos que, llevándolo inicialmente, lo han perdido en el primer choque y sufrido lesiones con ocasión de la caída al suelo.

Hidden page

la rodilla contra un vehículo o un obstáculo, estando el miembro inferior en ligera rotación externa (normal en posición de conducir). Las fracturas de las ramas ilio e isquiopúbicas son generalmente debidas a un golpe que hace estallar el anillo púbico: este mecanismo con frecuencia se liga a la proyección violenta al suelo.

Las lesiones abdominales son diversas, algunas relacionadas con un traumatismo toraco-abdominal: ruptura del diafragma, lesiones del bazo, hígado, renales; las lesiones intestinales están ligadas a grandes politraumatismos, sin que se pueda evocar un mecanismo preciso.

Lesiones de los miembros inferiores

Esta patología domina en el cuadro lesional de esta cilindrada. Aunque se trata de lesiones que influyen poco o nada, en el pronóstico vital son el origen de largas incapacidades con *handicaps* duraderos.

Las fracturas de fémur están muy representadas. Corresponden a choques violentos de la rodilla contra un obstáculo, con frecuencia con múltiples fragmentos agravadas por caídas al suelo.

Las fracturas tibia-peroné se suelen producir por golpes contra el parachoques de vehículos ligeros, mientras que las fracturas de tobillo o del pie se deben en general a mecanismos de torsión, con caída de la máquina encima del motorista. Las lesiones de los miembros inferiores en estos usuarios son con frecuencia a nivel múltiple y a veces tan complejas que conducen a amputaciones.

De esta forma, los usuarios de motocicletas de más de 125 cm³ están afectados de forma preferente a nivel de los miembros inferiores. Su riesgo vital está ligado a las lesiones cefálicas (siendo el casco un elemento importante de protección). Cada vez aparecen más lesiones torácicas y endotorácicas severas, que son reflejo de la violencia de los choques, por efecto de la velocidad elevada de estas grandes máquinas.

Víctimas por atropello

CONCEPTO

Como ya se ha indicado, el atropello se puede definir como la toma de contacto más o menos violenta de un vehículo con un peatón, entendiendo como tal toda persona que no sea conductor ni pasajero de un vehículo.

Dentro de la estimación de peatón se incluye también: coche de niño, silla de inválido con ruedas y sin motor, carro de mano, ciclista que acompaña su bicicleta a su lado, persona reparando un vehículo.

Por su importancia, es evidente que además de las víctimas que se desplazan en vehículos motorizados, que son la mayoría, también hay que considerar las que lo son por atropello, mereciendo un estudio singular.

Los peatones más afectados por los atropellos son los niños y los ancianos, pero, junto a esto, hay que decir que las cifras demuestran que el peatón, en general, es masivamente responsable de muchísimos atropellos. Hay que tener en cuenta, como luego se indicará, que estas víctimas muchas veces no son arrolladas por el vehículo, sino que son lanzadas primeramente por el aire (Fig. 8.1), por efecto del impacto, dado que su centro de gravedad suele estar por encima de la carrocería del automóvil, y cuando éste lo golpea, la cabeza del lesionado choca primero contra la carrocería del automóvil y luego contra la carretera¹.

Los peatones víctimas de lesiones por atropello merecen una consideración especial, pudiendo tenerse en cuenta*:

¹ Algunas notas tomadas de la *Enciclopedia Espasa*, o. e., suplemento 1967-1968.

* Vicard, J. *Contribution à l'étude des accidents de la circulation impliquant des piétons, a propos de 100 cas*. These, Lyon, 1976.



Figura 8.1. Instantánea recogiendo un choque experimental de un atropello. Ref. D Cesary y C Cavallero, *Revue de l'INRETS*, R.T.S. (Recherche, Transports, Sécurité), n.º 9-10, junio 1986.

- Gravedad de las lesiones
- Edad/sexo
- Peso/talla
- Obesidad
- Distribución anatómica de las lesiones
- Estudio del vehículo
- Circunstancias del accidente
- Estado de la calzada
- Lugar del accidente
- Movimientos del peatón
- Relación vehículo-peatón (alcance frontal, lateral, etc.)
- Fisiopatología de la lesión (mecanismo del accidente)

ATROPELLO COMPLETO: SUS FASES

Al efecto, cuando se trata de un atropello de un peatón, ciclista, etc., clásicamente el accidente se descompone en tres o cuatro tiempos (atropello completo)², a saber:

a) El choque, cuya intensidad depende, sobre todo, de la velocidad del vehículo.

b) La caída o proyección del cuerpo sobre una superficie contundente, que es generalmente el suelo (fractura de cráneo) o el capó del automóvil.

c) El aplastamiento del cuerpo comprimido entre dos superficies contundentes, la rueda o el suelo; el móvil obra más por su peso que por su velocidad.

² Simonin C, *Medicina legal y judicial*. Segunda edición. Editorial JIMS, Barcelona, 1982, págs. 110 y 111.

Hidden page

grava. Hay placas apergaminadas equimóticas en las manos y en las partes salientes del cuerpo, y diversas contusiones y heridas con fracturas e incluso lesiones viscerales graves. Estas lesiones, al contrario de las del choque, predominan en la cabeza, parte superior del tronco, brazos, antebrazos y manos.

Un caso particular es el «caricamento» de los autores italianos, que se produce cuando la víctima es proyectada hacia arriba y lateralmente, viniendo a caer sobre la cubierta del capó y sobre el parabrisas. Las lesiones que se producen difieren de las caídas ordinarias por su localización y, además, porque la rotura del cristal del parabrisas origina heridas múltiples típicas.

c) *Aplastamiento*. Cuando el vehículo pasa por encima de la víctima se originan lesiones de compresión al quedar el cuerpo cogido entre el suelo y el neumático. Las lesiones que se originan son las más típicas y demostrativas del atropello. Pueden ser:

– *Superficiales*. La placa apergaminada estriada que originan los neumáticos sobre el cuerpo, y que a veces reproduce fielmente el dibujo de las cubiertas; los desprendimientos subcutáneos de la piel, con formación de grandes hematomas y arrancamiento de fibras musculares, a veces en sitios de donde pasó la rueda; el salto traumático (Piga), que muestra lesiones superficiales separadas por zonas indemnes, lo que se debería a la pérdida de contacto entre el cuerpo y la rueda por efecto de la velocidad.

– *Profundas*. Se dan en los huesos, con fracturas conminutas en el lugar del paso de la rueda, y destrozos viscerales, con desgarró de hígado, bazo, riñones, pulmones, etc.

d) *Arrastre*. El cuerpo puede ser enganchado por las ropas, e incluso por una parte del cuerpo, y ser arrastrado a cierta distancia. Si en el arrastre se origina el choque del cuerpo contra piedras u otros obstáculos se pueden producir heridas contusas e incluso amputaciones, o decapitaciones completas.

Por su parte, Alonso Santos⁵, refiere tres fases en el accidente por atropello, distinguiendo:

Primera fase. Lesiones que afectan a la mitad inferior del cuerpo, a raíz del primer impacto, destacando:

- a) Fractura de huesos largos de las extremidades inferiores.
- b) Fracturas-luxaciones articulares de cadera y rodillas.
- c) Fractura de pelvis.

También hay que considerar para el primer tiempo –choque– y primera fase, si el peatón está de pie, y es alcanzado lateralmente a la altura de su pierna derecha, por ejemplo, por el impacto de la parte delantera de un vehículo, es posible que sufra fractura de fémur y tibia y, además, conviene advertirlo, rotura de

⁵ Alonso Santos FJ, *Seguridad vial y medicina del tráfico* (o. c.). Barcelona, Editorial Masson, S. A., 1997, pág. 191.

Hidden page

Hidden page

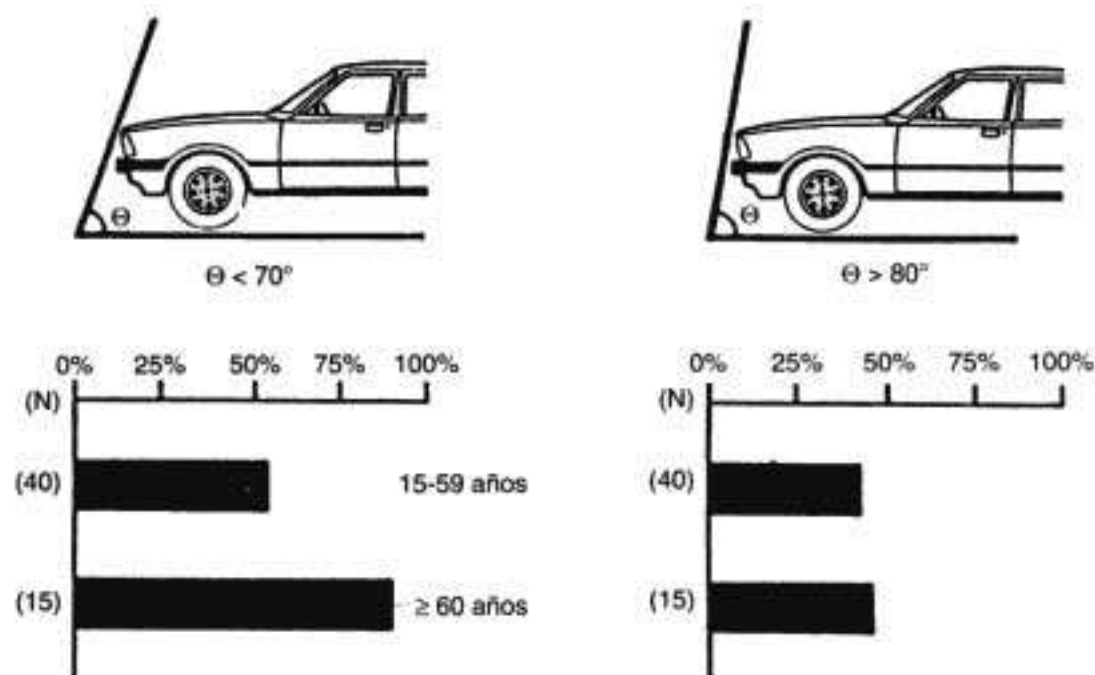


Figura 8.5. Este esquema representa la influencia del ángulo de ataque de la parte anterior del vehículo sobre la frecuencia de las fracturas en los miembros inferiores o en la cadera (los dos territorios corporales portadores de lesiones imputables a la parte anterior del vehículo están aquí reunidos) entre 21-40 km/hora, según la edad de los adultos. (Ref. Signoret, Féron, Patel, Vallé.)

Por otra parte, ya hace años, se propuso bajar la altura de los parachoques de los automóviles, habiendo propuesto el profesor sueco B. Aldman (1977) que tales parachoques se montasen a 30-35 cm del suelo. Estudios en semejante dirección fueron realizados en Francia por el profesor Got, y todo ello con el fin de que disminuyan los impactos que provocan lesiones articulares en las extremidades inferiores, que se acompañan de desgarros que interesan a los ligamentos en la rodilla, cuyo tratamiento es largo y delicado. No obstante tal propuesta choca con problemas técnicos y normas legislativas de homologación de los vehículos⁸.

Segunda fase. El impacto alcanza la segunda mitad del cuerpo, cuando éste se golpea contra el capó y el parabrisas (en su caso). Las regiones que se pueden afectar son las siguientes:

- Cabeza, con la posibilidad de que se produzca traumatismo craneal, con o sin afectación de masa encefálica (lo que a su vez se puede asociar, según gravedad, a conmoción cerebral, contusión cerebral, hematoma extradural, hematoma subdural, hemorragia intraparenquimatosa, etc.).
- Traumatismos torácicos, pudiendo cursar con fracturas de parrilla costal, esternón y lesiones broncopulmonares.
- Fracturas de huesos largos de extremidad superior.

⁸ Bloch F. En: *Le Quotidien du Médecin*, 3-12-81.

d) Traumatismos vertebrales, tanto a nivel cervical como dorsal y lumbar, con o sin afectación medular.

Tercera fase. Proyección del cuerpo de la persona atropellada con fuerza fuera del vehículo, o con la posibilidad de que la víctima sea aplastada por el mismo vehículo, pudiéndose producir lesiones viscerales a tres niveles:

a) *Órganos y vísceras torácicas.* Pulmón, corazón y grandes vasos.

b) *Órganos y vísceras abdominales.* Rotura del bazo, de frecuencia considerable, siguiendo en este orden de frecuencia, desgarros hepáticos y rotura de grandes vasos.

c) *Órganos y vísceras pélvicas.* Rotura de vejiga y uretra, por fractura de las ramas pélvicas, y órganos de la reproducción.

ATROPELLO INCOMPLETO

Es posible que falte alguna de las fases del atropello, y en estos casos se habla del atropello incompleto, así.

– Cuando el sujeto yace en tierra (por motivos suicidas o por accidente), falta el choque y la proyección.

– El sujeto, estando en pie, es alcanzado y proyectado con fuerza; en este caso sólo hay lesiones por choque y proyección.

Resumidamente, las lesiones que se producen en los atropellos son muy variadas, según su mecanismo, cuya variedad aumenta en atención a diversas circunstancias, como velocidad, peso, forma del vehículo, posición de la víctima en el momento del choque, durante el choque y después del choque, así como las características del suelo.

En esquema, las lesiones por atropello se pueden clasificar, de acuerdo con Cazzaniga⁹, según la parte del cuerpo en que se dan las lesiones, o donde predominen las mismas:

Tipo craneal. Producido por el choque directo de una parte del vehículo sobre la cabeza, o más frecuentemente por el choque de la cabeza contra el suelo u otro obstáculo cualquiera; es casi constante la presencia de fracturas de cráneo, y la mayor parte de los casos son mortales.

Tipo torácico. Predominan o son exclusivas las lesiones torácicas (fractura de huesos de la jaula torácica, eventualmente de las vértebras y lesiones de las vísceras intratorácicas); el mecanismo de producción puede ser: el choque del vehículo contra el tórax, el golpe del tórax contra el suelo, o entre el vehículo y un obstáculo;

Tipo abdominal. Por los mismos mecanismos que en el caso anterior, están interesados en este tipo los órganos abdominales, propiamente dicho, y, a veces, el esqueleto pelviano.

⁹ Cazzaniga A. En: Studio medico legale sopra le morti accidentali per investimento. En: *Archivio di Antropologia Criminale, Psichiatria e Medicina Legale*, 40, 1920, citado a su vez por López-Muñiz Goñi, o. c., pág. 306.

Hidden page

ANÁLISIS DEL ATROPELLO POR REGIONES ANATÓMICAS

M. Ramet y G. Vallet¹², haciendo un *análisis del atropello según los diferentes segmentos corporales afectados*, describen las siguientes lesiones:

Lesiones en la cabeza

Esta zona se afecta con frecuencia de forma grave en los peatones, de modo comparable a las lesiones descritas para los usuarios de vehículos ligeros en términos de localización, aunque con mayor severidad. Con las lesiones de la cara, en cambio, ocurre a la inversa, tanto que son más severas y más graves en los ocupantes de vehículos ligeros.

En la mayoría de los casos los peatones son alcanzados por vehículos ligeros (76 %) y en mucho menor medida por los de dos ruedas (16 %).

En el caso de un choque contra un vehículo ligero, un primer impacto tiene lugar a nivel de los miembros inferiores y el peatón es proyectado, en función de la velocidad del vehículo ligero, de su tamaño y de la talla del peatón, la cabeza contra el capó o parabrisas y su marco. La caída al suelo sobreviene casi siempre de forma secundaria y puede agravar o crear lesiones craneofaciales.

Se observa que a nivel del cráneo hay un importante número de heridas, debidas al golpe contra el laminado (vehículo ligero, camión), el marco de parabrisas y sobre todo el parabrisas (vehículo ligero) o lesiones por arrastre por el suelo, caída secundaria después de un golpe contra cualquier móvil, especialmente con un dos ruedas. Las fracturas del cráneo son de todos los tipos (contrariamente a lo que sucede con los usuarios de los vehículos de dos ruedas, que suelen presentar lesiones en la parte anterior del cráneo); en este caso, las fracturas están bastante bien repartidas. Se han descrito situaciones en que los daños han sido tan importantes que se etiquetaron como fracturas múltiples de cráneo con lesiones de tejido cerebral. Estas lesiones vitales explican por sí solas la tasa de mortalidad de este grupo.

Las lesiones de la cara son heridas, raspaduras, cortes o lesiones debidas a la proyección en el parabrisas de un vehículo ligero, lo que explica también las heridas en los párpados, así como heridas más graves del globo ocular. En cambio, las fracturas de la cara, al margen de las clásicas fracturas nasales, no se encuentran en gran número; las fracturas del macizo facial se asocian con frecuencia con lesiones masivas del cráneo.

Lesiones del cuello y de la columna vertebral

Los movimientos muy aleatorios y «acrobáticos» en el curso de la trayectoria del peatón hacen pensar que el eje vertebral se ve con frecuencia solicitado.

¹² Ramet M, Vallet G. En: *Typologie des accidents du trafic routier a partir de 5.459 dossiers*. Laboratoire de Choës et de Biomécanique (LCB). INRETS, rapport n.º 41. Bron (Francia), 1987.

De hecho, a nivel cervical se aprecian movimientos de hiperextensión (aplastamiento de la cabeza contra las estructuras que golpean) o hiperflexión (caída dorsal al suelo), y, en casos, asociándose a alteraciones neurológicas.

Por el contrario, a nivel dorsal el número de lesiones es bajo; casi siempre por el mecanismo de protección de la caja torácica, mientras que el raquis lumbar se ve comprometido con frecuencia, pero con lesiones simples, de escasa repercusión neurológica. A pesar de los movimientos que parecen solicitar bastante violentamente a la columna vertebral, ésta suele sufrir lesiones tipo luxación sin gravedad.

Lesiones del tórax y de las vísceras endotorácicas

Aparecen esencialmente con ocasión de impactos con vehículos ligeros, pero el peatón es uno de los menos afectados por este tipo de lesiones. Pero sí, por una parte, los daños torácicos no son frecuentes, son, por otra parte, a menudo graves, cuando están presentes. Pueden ser debidos al aplastamiento del tórax contra el capó o por choque directo con la parte delantera de un vehículo pesado. Parece más difícil traer a colación lesiones óseas del tórax por simple caída al suelo.

Se dan un número elevado de lesiones de la cintura escapular (como en los usuarios de dos ruedas), en caídas violentas al suelo después de un choque con un vehículo ligero. La cinemática del peatón es aleatoria, pero un buen número de ellos se golpea contra el suelo, con la parte anterior del hombro, de ahí las lesiones del muñón del hombro. Igualmente, los choques con los vehículos de dos ruedas determinan pocos impactos directos, pero provocando violentas caídas al suelo.

Lesiones de la cadera y de las vísceras abdominales

Son lesiones por compresión, ya por la parte delantera de los vehículos pesados (camiones) o utilitarios ligeros, ya por ángulo del capó de los vehículos ligeros, cuando este capó es alto. Corresponden lo más frecuentemente a una situación en que el peatón es golpeado en choque lateral y se observa un número elevado de casos de fracturas de las ramas ilio e isquiopúbicas. Las lesiones del cotilo asociadas a fracturas de ramas revelan un choque directo.

Los daños internos asociados a estas lesiones de cadera son raros: una lesión de vejiga hace pensar en un accidente severo (pues este órgano está muy protegido por su posición). Las lesiones de diafragma, del bazo e hígado están asociadas a lesiones torácicas bajas, o, para el hígado, a un traumatismo directo.

Lesiones de las extremidades inferiores

Son características del atropello, siendo muy numerosas y variadas. Considerando el caso más frecuente, el choque sobre un peatón con la parte delantera de un vehículo ligero, el miembro inferior es solicitado primero por el parachoques (con alturas situadas entre 50-60 cm), lo que significa que la tibia y

el peroné reciben el impacto limitado en altura y contra un objeto rígido, lo que explica la frecuencia de estas fracturas. El peatón golpeado por el parachoques se va a inclinar bruscamente en sentido del capó del vehículo, comprometiendo fuertemente la articulación de la rodilla, pero también los pies quedan sin apoyo.

El capó viene entonces a impactar contra el fémur y, como para el parachoques, se trata de un golpe directo sobre una zona puntualmente rígida que es la unión parte delantera/capó/motor con la presencia de elementos duros, tales como la calandra, las ópticas de los faros: resultan pues lesiones por choque directo, situadas bastante bajas (en relación con la altura de los puntos de choque). Por otra parte, las fracturas de la extremidad inferior del fémur tienen siempre una repercusión sobre la articulación de la rodilla y son el origen de una consolidación tardía y a menudo determinantes de *handicaps*.

Las heridas de la rodilla se deben con frecuencia a la caída al suelo, pero un número de ellas también son producto del choque directo contra las estructuras del vehículo que golpea; son lesiones articulares con riesgo sobre la integridad de los movimientos articulares. Lesiones típicas de los peatones son las lesiones de ligamentos de la rodilla, debidas al movimiento envolvente hacia adelante de los vehículos ligeros.

De todo ello se deduce que los peatones son muy frecuentemente víctimas de un politraumatismo y severamente alcanzados a nivel de los miembros inferiores y de la cabeza, lo que explica la gravedad de los atropellos.

ESTUDIOS CINEMÁTICOS EXPERIMENTALES *

Sujeto	Cinemática	Lesiones	Contacto
Hombre embalsamado Peso/talla 171/69	Rígido, apoyo piernas/parachoques, manos hacia adelante, cabeza sobre el centro del capó, deslizamiento al suelo	0	1 impacto cabeza/capó
Mujer (cadáver fresco) 161/80	Apoyo piernas/parachoque, se pliega y toca el capó con la cabeza, rechazada hacia atrás, choque contra el suelo	0	1 impacto cabeza/capó
Mujer (cadáver fresco) 163/77	Apoyo de las piernas, angulación de la cadera, apoyo de las manos sobre el capó, «saludo» de la cabeza sobre el capó	0	Impacto cabeza (central)/capó
Experiencias a 10 km/hora. Sujeto de Frente			

* Ramet, M., Cesari, D., Cavallero, C. Convention d'études DRCR/ONSER 1979. *Trance conditionnelle*, 1980. *Reconstitution d'accidents piétons*.

Sujeto	Cinemática	Lesiones	Contacto
Mujer (cadáver fresco) 157/49	Impacto pierna derecha/parachoques, basculamiento cabeza/capó, deslizamiento al suelo	0	1 impacto cabeza/capó
Hombre (cadáver fresco) 174/46	Choque sobre la pierna derecha/parachoques, apoyo del codo sobre el capó sin impacto en la cara, deslizamiento al suelo	0	No impactos visibles
Experiencias a 10 km/hora. Sujeto de Perfil			

Sujeto	Cinemática	Lesiones	Contacto
Hombre (cadáver fresco) 165/34	Apoyo de las piernas/parachoques; apoyo de las manos/capot, deslizamiento cabeza parte baja parabrisas (PB)	Fractura meseta tibial interna, rodilla derecha	
Hombre (cadáver fresco) 182/67	Apoyo sobre las pierna apoyo sobre las manos choque tórax/capí, cabeza/PB parte baja PB	Herida base nariz, labio superior y mentón. Erosión en 2 rodillas y cara anterior tibia izquierda. fractura nasal, y rama maxilar inferior izquierda	PB/cabeza caída al suelo
Hombre (cadáver fresco) 178/74*	Apoyo rodillas/parachoques, apoyo manos/capó, cabeza/PB, salto, caída con golpe sobre ángulo del capó, caída al suelo	2 heridas verticales en la frente, erosión de las rodillas y 1/3 sup. piernas, fractura cóndilo int. rodilla derecha	

Experiencias a 20 km/hora. Sujeto de Frente

* Sujeto especialmente rígido.

Sujeto	Cinemática	Lesiones	Contacto
Hombre (cadáver fresco) 175/58	Apoyo pierna derecha, rotación del cuerpo de derecha a izquierda, proyección cabeza/PB, deslizamiento sobre el capó	0	PB y cabeza parte inferior PB y ruptura PB caída al suelo
Mujer (cadáver fresco) 160/52	Angulación artic. pierna derecha sobre el parachoques, decaimiento lateral, se gira, se desliza, caída al suelo	Erosión nariz. Fractura cuello peroné derecho, herida de hígado por penetración apéndice xifoides	Apoyo cadera/parte anterior capó/cabeza/parte inferior PB y parte alta capó
Mujer (cadáver fresco) 162/56	Torsión pierna derecha/parachoques, apoyo cadera/capó, báscula sobre la espalda, se desliza, choque de la nuca contra el ángulo del capó	Fractura codillo int., rodilla derecha, fractura condilo femoral derecho. Fractura ramas isq/il. pub. derecha. Erosión 1/3 inf. cara externa pierna izquierda, fractura 1/3 peroné derecho, fractura C6	Impacto parte alta del capó

Experiencias a 20 km/hora. Sujeto de Perfil

Sujeto	Cinemática	Lesiones	Contacto
Hombre (cadáver fresco) 175/58	Apoyo rodilla. Apoyo manos/capó, la cabeza penetra sobre el PB salto hiperextensión del cuello	Fractura meseta tibial interna rodilla derecha erosión nariz-cara, arrancamiento condilo interno, fractura plantillo inferior C4 y C6, fractura 5ª y 6ª costillas derechas e izquierdas	2 impactos/capó PB perforado limpiaparabrisas roto
Mujer (cadáver fresco)	Apoyo rodillas y manos arrastradas sobre el capó, choque PB	Erosión nariz, mentón 0	Frotamiento/capó. Rotura PB y limpiaparabrisas derecho

Experiencias a 25 km/hora. Sujeto de Frente

Sujeto	Cinemática	Lesiones	Contacto
Mujer (cadáver fresco) 164/60	Apoyo cadera, salto lateral, caída	Erosiones cara + nariz, fractura nariz	PB roto. frotamiento/ capó. Hundimiento ángulo capó
Mujer (cadáver fresco) 163/58	Desplazamiento cruzado miembro inferior, apoyo del codo impacto lateral de la cabeza PB	Herida nariz-mentón- ceja derecha, fractura peroné derecho, lig. lat. int., lig. lat. ext. izquierdo, de la 6ª a 10ª costillas izquierdas, ruptura bazo, ligamento coronario del hígado	Impacto capó, reborde capó. PB roto
Hombre (cadáver fresco) 170/87	Apoyo cadera apoyo codo choque cabeza/parte baja PB	Herida frontal herida ante-brazo izquierdo, arrancamiento lig. lat. ext. izquierda	PB

Experiencias a 25 km/hora. Sujeto de Perfil

Los accidentes de circulación en la infancia

PUNTO DE PARTIDA

Junto a la mayor vulnerabilidad de la población infantil (muy especialmente en los primeros meses de la vida), hay que tener muy en cuenta lo que se ha denominado «punto de partida», o lugar que ocupaba la víctima en el vehículo a raíz del accidente, así como la postura, y determinados errores de conducta, estrechamente ligados a la forma en que algunos adultos suelen transportar a los niños, permitiéndoles en ocasiones posiciones de riesgo, o que viajen sin disponer de los adecuados medios de seguridad, con distinto comportamiento, en general, según se trate de viajes de corto o largo recorrido.

Especialmente dramática resulta la colisión del niño que viaja atrás, de rodillas sobre el asiento, mirando por la ventanilla trasera: su cuerpo es lanzado de espaldas contra el asiento delantero, donde se arquea con fuerte sacudida de la cabeza, vuelve a rebotar contra el asiento trasero y cae de espaldas al piso del vehículo; un niño viajando de pie sobre el asiento trasero es lanzado, en el momento de la colisión, por encima del asiento delantero, para estrellarse contra el tablero¹.

En una encuesta de observación realizada en Francia (sobre una muestra de 3.448 niños), se obtuvieron las siguientes conclusiones²:

¹ Párrafo elaborado con notas tomadas de Cal y Mayor R. En: *Manual de educación y seguridad vial*, México, Editorial Limusa, 1978, págs. 196-197.

² Cambon de Lavalette B, Tursz A, Dechaud-Rassiguer D. *Les accidents de la circulation dans l'enfance*, págs. 81-86. INRS - Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité-, Centre internationaux de l'enfance, Paris, Editeurs, Doin, Diffusion, 1989.

Posición y postura del cuerpo del niño

Se constata, sin sorpresa, que la mayoría de los niños son instalados en los asientos traseros y que la postura de sentado es la más frecuente. No obstante, en los trayectos cortos, cerca de un 5 % de los niños van sentados en la parte delantera. En los largos trayectos más de un 25 % de los niños viajan acostados (véase Fig. 9.1).

Un análisis más detallado de las combinaciones emplazamiento/postura muestra que en torno a un 25 % ocupa una posición inestable o potencialmente peligrosa en caso de choque.

La situación más desfavorable es la de los niños de 1 a 4 años. Se constata que los niños están más expuestos en los trayectos de corta duración que en los largos.

Uso de los dispositivos de retención

El principal resultado es el siguiente: entre los niños pasajeros de automóviles, menos de 1 sobre 10 es instalado con un dispositivo susceptible de asegurar su retención en caso de choque. La tasa global de retención indica que el uso de dispositivo de retención se limita a los niños de menos de 1 año (48 % van retenidos) y que es extremadamente raro por encima de dicha edad.

Además, los niños de 1 a 4 años están particularmente expuestos, ya que cerca de 1 sobre 3 viaja en una posición peligrosa o inestable.

Los sistemas de retención más utilizados son las sillas especiales seguidas de dispositivos permitiendo el transporte del niño acostado (los cuales en la mitad de los casos no pueden desempeñar un verdadero papel de retención). No se ha observado ningún dispositivo tipo C (arnés) y los cinturones estándar son raramente empleados (salvo cuando el niño viaja en la parte delantera). También hay que anotar que las sillas están homologadas para niños menores de 4 años, y son esencialmente utilizadas por los más pequeños. De esta forma, no sólo los dispositivos de retención son muy poco utilizados, sino que además su empleo disminuye con la edad, y de hecho suelen reservarse para los menores de 1 año.

En resumen, los principales resultados de esta encuesta son:

1. Menos de un niño sobre diez lleva instalados dispositivos de retención.
2. Una cuarta parte de los niños viaja en posición peligrosa o inestable en caso de choque.
3. Viajan en posición particularmente desfavorable (un tercio en posición peligrosa o inestable): los niños de uno a cuatro años; los niños en trayectos cortos.

Los autores de este mismo trabajo han constatado el porcentaje de sujetos teniendo la lesión citada, debidas a los accidentes de circulación en la infancia (con edades inferiores a los 10 años); se distribuían de la siguiente forma:

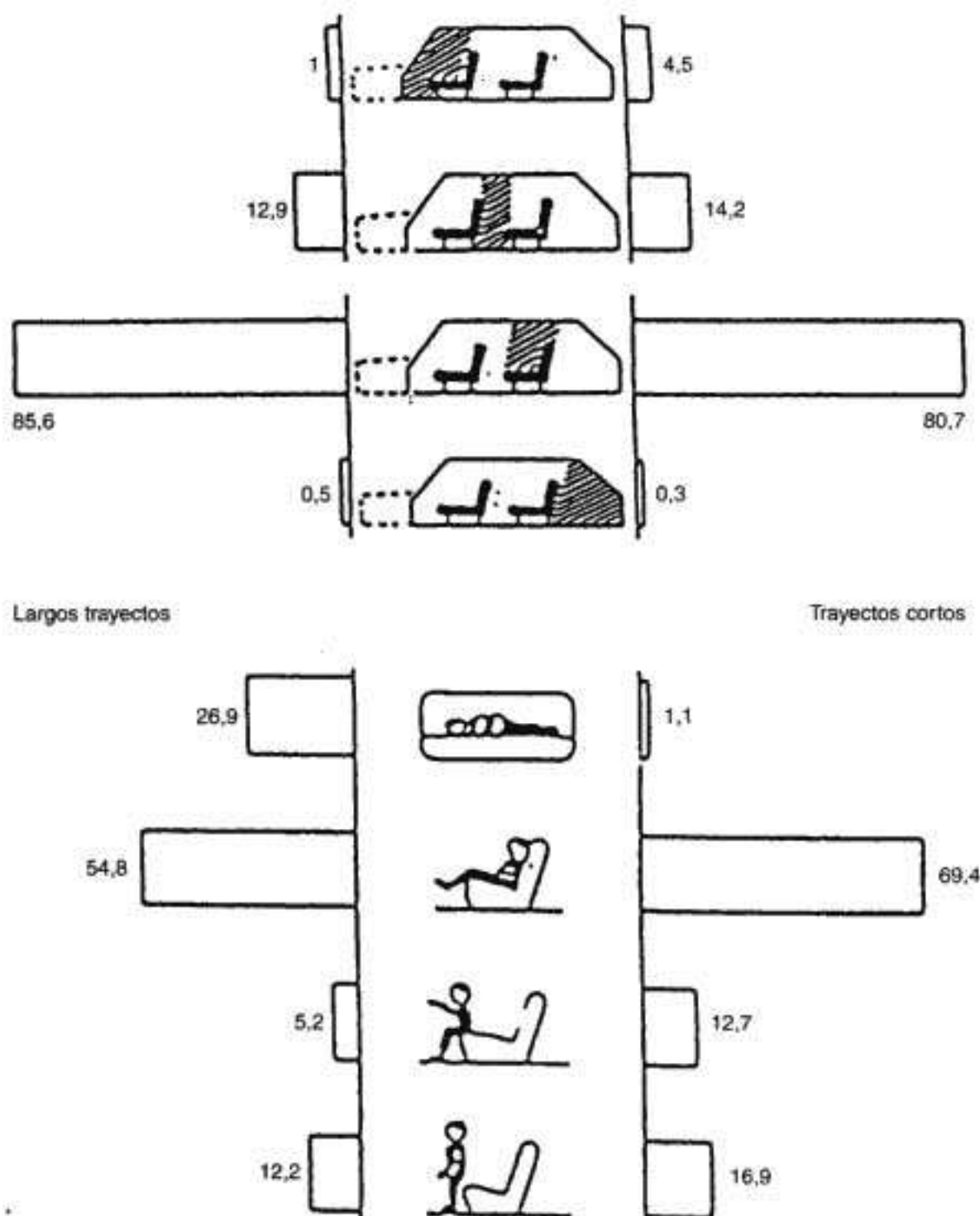


Figura 9.1. Disposición en el habitáculo del vehículo y postura del niño según la duración del trayecto (a la izquierda, largos trayectos, a la derecha, trayectos cortos), según encuesta de observación. (Referencia: *Les accidents de circulation dans l'enfance*, pág. 83. Obra dirigida por Cambo de Lavalette B, Tursz A, Dechaud-Rayssiguier D, Institute nationale de Recherche sur les Transports et leur Sécurité. Centre International de l'enfance. Paris, Editeurs, Doin, Difussion, 1989.)

	Porcentaje
Traumatismo de cráneo	45,0
Fracturas	27,9
Fractura de miembro superior	7,8
Fractura de miembro inferior	14,0
Luxación, esguince	7,8
Heridas superficiales	52,7

PATRONES LESIONALES

De Haller y Buck³ anotan con especial interés las siguientes consideraciones:

«En vasta mayoría las lesiones de la niñez (aproximadamente el 85-90 %) se deben a traumas no penetrantes. Operan en ellas las transferencias de energía debidas a las fuerzas compresivas, o bien, desaceleraciones rápidas. En este tipo de traumas, el organismo del niño, por su constitución complaciente, puede absorber gran cantidad de energía, no obstante mostrar pocos signos externos de serio daño interno».

«Los mecanismos traumáticos en el niño varían. Puede caerse sin sufrir mayores daños o sufrir lesiones múltiples en los accidentes automovilísticos, en calidad de pasajero. Se convierte en un proyectil y con frecuencia es lanzado del vehículo si no se encuentra amarrado».

«En la época escolar dominan los traumas multisistémicos, por los accidentes peatonales-automovilísticos; al llegar a mediados de la adolescencia, la causa de los traumas no penetrantes se aproximan más claramente al espectro del adulto».

«La configuración corporal del niño y la elevada frecuencia de accidentes peatonales-automovilísticos arrojan un espectro lesional que difiere del que se observa en adultos. Las lesiones cefálicas de importancia ocurren en las del 50 % de estos niños».

Lesiones cerebro-espinales

«En alrededor de un 50 % de los niños que han sufrido traumatismos no penetrantes se encuentran lesiones cefálicas de importancia. En los niños ocurren las clásicas hemorragias epidurales y subdurales, pero la mayoría de las lesiones obedecen a contusiones, laceraciones y hematomas parenquimatosos multifocales. Estas lesiones pueden ser de la variedad "golpe" y "contragolpe" por la vulnerabilidad del cerebro del niño a las fuerzas de aceleración y de desaceleración que comprimen el cerebro contra prominencias óseas y las paredes craneanas. Fuerzas de cizallamiento por rápidos cambios rotatorios pueden producir hemorragias parenquimatosas dentro del cerebro. Los niños pueden desa-

³ Alex Haller JA, Buck JR, *Politraumatismos*, o. c. (coordinación RJ Wilder), págs. 172-178.

Hidden page

Hidden page

íntimamente ligada al momento en que se inscriba con toda su crudeza, toda la realidad de la secuela. Las aptitudes y expectativas de la víctima, en este caso el niño, quedarán condicionadas en gran medida a las capacidades y bagaje cultural antes adquirido (prelesional). A partir de ese momento, las esperanzas de desarrollo integral de una joven persona (que es lo que es un niño) y la posibilidad de labrarse su propio destino no son las mismas cuando su capacidad de aprendizaje (destrezas, habilidades manuales e intelectuales) se ven menoscabadas en la época temprana de su desarrollo o, por el contrario, si eso mismo sucede cuando está ultimando la adolescencia.

El desarrollo psicomotor en las tempranas fases de la vida viene condicionado, y encadenado, a etapas precedentes, por lo que la última resultante, indefectiblemente, ha de ser considerada en atención a aquellos elementos que de una u otra forma participan, con anterioridad, en su configuración.

Traumatismos de automóvil en la mujer embarazada ¹

CON CARÁCTER GENERAL

«Los traumatismos no penetrantes son por lo común consecuencia de accidentes de vehículos. La pared abdominal en la paciente grávida se distiende debido a su laxitud, no ofreciendo por cierto mucha protección en este tipo de traumatismos. Los órganos sólidos se lesionan con mayor frecuencia que las vísceras huecas, en las cuales, por ser deformables, pueden amortiguar las fuerzas actuantes y librarse a menudo de lesiones serias».

«En las embarazadas, y en las no grávidas, los órganos abdominales que se lesionan más frecuentemente después de traumatismos no penetrantes (con exclusión del útero) son el bazo, riñón, intestino e hígado. A medida que el útero grávido se agranda se torna más vulnerable. En efecto, es el órgano que con mayor frecuencia se lesiona por traumatismos severos del abdomen grávido, sean penetrantes o no penetrantes. Con mucha frecuencia se lesionan significativamente en iguales circunstancias la pared abdominal, el mesenterio, el páncreas, el diafragma y la región retroperitoneal».

«En la embarazada, la laxitud y distensión de la pared abdominal pueden enmascarar los signos típicos de irritación peritoneal, tales como defensa, ri-

¹ Barret SM, Traumatismos en el embarazo, dentro de la obra *Politraumatismos* (o. c., RJ Wilder), págs. 203-217. Por otra parte, en un estudio realizado en Finlandia (entre los años 1990-1994), se ha podido apreciar que la principal causa de muerte materna y fetal no obstétrica son los traumatismos maternos; se calcula que su incidencia durante el embarazo complica el 6-7 % de ellos; los accidentes contusos, incluidos los de tráfico, son los responsables de más de la mitad de los casos; del estudio que las colisiones frontales asociadas a menor velocidad presentan traumatismos menores y ausencia de efectos a corto o largo plazo, mientras que las colisiones a velocidad superior a 80 km/hora determinan accidentes graves (incluyendo aquí, dentro de las 15 colisiones frontales recopiladas, un caso de fallecimiento de la mujer y su feto, por rotura uterina y sección de la médula espinal a nivel cervical, y otros cuatro casos de fallecimiento del feto por desprendimiento placentario); ref. 7 DM (siete días médicos), n.º 360, 27-3-98, Madrid.

gidez y sensibilidad dolorosa a la percusión. Además el útero agrandado desplaza al intestino y otros órganos, de suerte que los signos físicos pueden ser variables».

PATRONES LESIONALES

Lesiones uterinas

«Los traumatismos no penetrantes pueden causar contusión, rotura o, en raras ocasiones, avulsión completa del útero grávido. En el primer trimestre la pelvis ósea presta protección al útero, pero después del agrandamiento progresivo del útero lo hace más susceptible a las lesiones. En ocasiones, ya a los dos y medio/tres meses de gestación se produce rotura del útero grávido. Es probable que el sitio de rotura esté en el área donde han actuado las fuerzas traumáticas directas o de contragolpe».

Abruptio placentae

«La causa singular que conduce a la muerte del feto en los choques de automóviles es la muerte de la madre. Si ésta sobrevive a una lesión por desaceleración la causa más frecuente de la muerte fetal es el desprendimiento de la placenta. El desprendimiento placentario consecutivo a un traumatismo ocurre por lo común después del primer trimestre. El mecanismo de *abruptio placentae* de causa traumática no está bien aclarado, si bien las fuerzas de desaceleración pueden producir el cizallamiento de los vasos situados entre la placenta inelástica y el útero en expansión».

Fractura de la pelvis

«Las lesiones laterales de la pelvis por aplastamiento pueden deformar el estrecho superior de la pelvis. Fuerzas que actúen en sentido anteroposterior pueden asociarse con deformación del estrecho inferior de la pelvis a partir de fracturas de las ramas isquiáticas y pubianas, que son las más comunes. Cuando las fracturas pélvicas no se han consolidado y hay separación o desplazamiento de fragmentos, pueden causar lesiones rectales, vesicales y uretrales».

«En el 10-25 % de las fracturas de la pelvis hay lesión de las vías urinarias inferiores. Por lo común la fractura encuentra a la vejiga en estado de plenitud y comprimida entre el útero grávido, la pared abdominal y la sínfisis pubiana, condiciones que la tornan vulnerable y propensa a rotura en los traumatismos no penetrantes de la pelvis o del abdomen inferior. Si no hay fractura de pelvis es raro que la vejiga, vacía, se rompa. Las fracturas de las ramas pubianas son las que con mayor frecuencia causan rotura vesical».

Lesiones fetales

«Las lesiones fetales más comunes después de traumatismos maternos no penetrantes son fracturas de cráneo y hemorragia intracraneana con o sin fractura de cráneo. El cráneo fetal puede ser destrozado en lesiones que fracturan la pelvis materna en accidentes de vehículos en los cuales la madre usaba cinturón y no sufrió fractura pélvica. En este último caso, la flexión del cuerpo de la madre sobre el cinturón puede aplastar el cráneo entre el cinturón o su hebilla y el promontorio sacro. El promontorio sacro puede asimismo provocar fracturas deprimidas del cráneo en el feto después de traumatismos pélvicos no penetrantes de la madre. Las fracturas craneanas del feto comprometen por lo general los huesos parietales».

Lesiones por el cinturón de seguridad

«Se han imputado a los cinturones de seguridad empleados en los automóviles el corte transversal del músculo recto, laceraciones mesentéricas, heridas y sección transversal del intestino, lesiones pancreáticas y esplénicas, y desprendimiento placentario. Se dan casos de lesiones uterinas y fetales. Si el cinturón no se usa con una banda que afirme el hombro, la flexión anterior de la madre y la subsiguiente compresión uterina puede dañar el útero. Sin embargo, los riesgos de estas lesiones no sobrepasan los riesgos mayores de lesión materno-fetal cuando no se emplea el cinturón de seguridad. Será fácil predecir las consecuencias de la eyección de una madre o, si no es despedida del vehículo, de su impacto sobre el volante, el tablero o el parabrisas: graves lesiones cefálicas, torácicas y abdominales».

Breve consideración del accidente de tráfico en las personas de edad avanzada

La edad supone, en cualquier caso, un factor a tener muy en cuenta en cualquier tipo de traumatismo, y ahora en concreto tratándose de los accidentes de circulación, a lo que contribuyen varias circunstancias. Así, el proceso decalcificante y de desmineralización ósea que se suele presentar con alta frecuencia en sujetos a partir de los 60-65 años prácticamente en todo el esqueleto (raquis, costillas, pelvis e incluso en las partes distales como son manos y pies) explica que con carácter general se estima cómo un leve traumatismo es capaz, ahora en particular, de actuar como elemento determinante en la producción de fracturas óseas, incidiendo todavía más en las mujeres. En general, las acciones traumáticas generadas por hechos de la circulación en personas de edad avanzada se revelan con especial gravedad.

Del mismo modo hay que tener en cuenta que para estas épocas de la vida son igualmente muy frecuentes la presencia de procesos artrósicos degenerativos, pero que a pesar de ser evidentes los cambios estructurales correspondientes pueden en su vertiente sintomática no manifestarse, permanecer en estado de latencia. Y es a raíz de un hecho traumático cuando esa situación patológica (se insiste, sintomáticamente oculta para el lesionado) aflora y se pone de manifiesto, provocando el accidente un mecanismo de desequilibrio y desestabilización de las estructuras, incidiendo negativamente sobre un estado orgánico que *funcionalmente* se estimaba, hasta la fecha, como saludable. En concreto, en el caso del traumatismo cervical, «numerosas observaciones prueban que lesiones (artrosis, uncoartrosis, canal estrecho) bien toleradas y asintomáticas en un gran número de pacientes, se deterioran inmediatamente o tardíamente después del accidente»¹.

¹ Fabek P, Syndrome cervical traumatique. En: *Syndrome post-commotionnel et syndrome cervical* (dentro de la colección Actualités du dommage corporel, vol. I, 191, publicada bajo la dirección de Lucas P,

Por otra parte, ya se trate de conductores o meros ocupantes, también hay que tener en cuenta que la capacidad de reacción («segundo de percepción») en estos casos se encuentra disminuida, lo que se proyecta de forma negativa ante una posible puesta en marcha de un mecanismo de reacción («posición de defensa») en la fase del pre-impacto, lo que todavía se ve más abundado dado que con frecuencia las personas mayores están sometidas a una polimedicación con interacciones y efectos diversos.

Tratándose de conductores, junto a las consideraciones ya referidas, el deterioro de las capacidades cognitivas y conductuales que sufren las personas mayores puede aumentar el riesgo de sufrir un accidente de tráfico².

A. Pauzie³, en un trabajo sobre el envejecimiento y su repercusión en las capacidades funcionales perceptivo-motrices, dentro del marco referido, llega a las siguientes conclusiones:

- los procesos perceptivos presentan, en general, una gran vulnerabilidad en el curso del envejecimiento, ya se trate de la visión, de la audición o incluso de la propiocepción;
- los déficit cognitivos se traducen, entre otros, en una disminución de la atención selectiva y una menor eficacia en la distribución de la capacidad para distribuir la atención en diversas fuentes informativas;
- las pérdidas de memoria sobrevienen en mayor importancia para la fijación de impresiones sensoriales;
- en el ralentizamiento de la capacidad psicomotriz, su origen es fundamentalmente por un aumento del tiempo necesario para tomar una decisión;
- para paliar las dificultades funcionales encontradas, las personas mayores se adaptan poniendo en marcha procesos de compensación, que se traducen en una utilización mayor de los potenciales disponibles, que se acompaña de un aumento del esfuerzo;
- los efectos del envejecimiento en las funciones psicofisiológicas pueden ser vistas como un cúmulo de los cambios negativos en la arquitectura cognitiva, adecuados a un aumento de stock de experiencias útiles, que inducen a cambios positivos en la estrategia de ejecución de la tarea.

Stehman M). Bruselas, Ediciones Juridoc, 1991. Por otra parte, como apunta Hernández Gómez, «no se olvide que los osteofitos y picos vertebrales no son otra cosa que un intento de la naturaleza para apuntalar una zona que ya no es apta para moverse; de aquí que puentes óseos amplios y bien establecidos se toleren bien en general, mientras que reacciones apenas objetivables radiográficamente motiven cuadros muy dolorosos» (*Temas de biomecánica y patomecánica*, pág. 48, o. c.). Es por ello que una acción traumática sobre un raquis con reacción osteofítica previa (pero sintomáticamente bien tolerada) puede provocar una acción desestabilizadora, y dar lugar a un cuadro sintomáticamente importante y doloroso, pudiéndole denominar como «Síndrome vertebral por desestabilización post-traumática».

² Flórez JA, *Conductores ancianos, demencia senil y accidentes de tráfico*. Editorial Prous Science, 1997.

³ Pauzie A., *Viellissement et capacités fonctionnelles*. INRETS, mayo 1989. Bron (Francia). Este trabajo es una síntesis de los datos disponibles en el momento sobre las capacidades perceptivo-motrices de las personas mayores, con abundante documentación bibliográfica. Según su autor, el conocimiento de la evolución de las capacidades funcionales de acuerdo con la edad permite establecer un marco de referencia para mejor comprensión de los problemas de los usuarios de los transportes, tanto a nivel de la percepción de las informaciones como de las funcionales ambulatorias.

Hidden page

Aspectos periciales

Será útil aludir a las leyes que rigen en la «mecánica de la destrucción», estudiada entre otros por los investigadores soviéticos, como Parton¹, aunque para este campo se haga de forma tangencial, pero en cualquier caso aplicando los conceptos aprovechables por analogía.

Quiere esto decir, *grosso modo*, en forma simplificada, que se ha de plantear el interrogante de «cómo se rompen las cosas».

En primer lugar habrá que acercarse a las siguientes cuestiones:

- *Desarrollo de la «destrucción».*
- *Elementos responsables.*
- *Intensidad del proceso.*

La correcta elaboración del atestado en el lugar del siniestro es muy importante, pues sirve para proporcionar elementos muy valiosos de información para la reconstrucción del accidente, que en gran número de ocasiones pueden ayudar al clínico. Igualmente, como se ha indicado, la información que pudieran facilitar las propias partes implicadas en el siniestro tiene su interés; no obstante, ha

¹ Parton VZ, *Mecánica de la destrucción*. Moscú, Editorial MIR, 1990. Este aspecto de la «mecánica dinámica de la destrucción», íntimamente ligada a la resistencia de materiales, muy posiblemente tenga especial interés en las acciones microtraumáticas que pudieran afectar al organismo, dentro del campo de la microcinemática, al que se alude más adelante. Las ideas de la mecánica de la destrucción parten del científico inglés Griffith AA (1893-1963), cuyos trabajos tuvieron entonces un significado vanguardista para todo el posterior desarrollo de la mecánica de la destrucción. Como ya se ha indicado, sería de gran interés, en un plano de investigación, aplicar estas ideas a la economía humana, a partir de la idea que estima que «la resistencia mecánica de los materiales técnicos pueden elevarse 10 ... 20 veces, si se logra eliminar ciertos defectos». En ese proceso microtraumático, junto a la destrucción por la que se puede denominar «fatiga corrientes», esto es, por fatiga multicíclica de la estructura, hay que considerar la destrucción ligada a un número relativamente pequeño de ciclos, pero con acumulación de tensiones suficientemente altas, o fatiga de pocos ciclos. En cualquier caso, en el proceso de la destrucción supone una acumulación de tensiones y energía suficientes para que se desarrolle, pudiendo estimar dos fases, una primera, o proceso inicial, y una segunda, o de extensión del proceso.

de ser tamizada, pues en ocasiones no es muy fidedigna, ya que la situación de estrés vivida por aquéllas puede distorsionar en un primer momento la realidad.

Lo expuesto ha de servir para incluir en el informe pericial, considerando los aspectos que ahora se indican, siguiendo una pauta variable, según los casos, pero que en cualquier caso ha de incidir en los aspectos básicos, proponiéndose un esquema de trabajo, que puede conducirse de la siguiente forma:

- Recogida de datos.
- Estimación de los desplazamientos y contactos.
- Reconstrucción de la patogénesis de las lesiones: orientación razonada.

RECOGIDA DE DATOS

En tal orden se tendrá en cuenta, con especial interés:

a) Identificación del lesionado: edad, características antropométricas del lesionado (peso, talla, sexo), edad, complexión (débil, media, fuerte).

b) Tipo de vehículo en el que viajaba.

c) Punto de partida: datos referidos a la ubicación del lesionado (conductor, ocupante asiento posterior derecho, etc.), así como posición inicial (postura) en el pre-impacto.

Se sabe que estadísticamente la probabilidad de lesiones y muerte varía según el lugar del ocupante en el vehículo, siendo la Tabla 12.1 bastante ilustrativa¹.

TABLA 12.1

	Lesiones leves (%)	Lesiones moderadas (%)	Lesiones graves (%)	Muertes (%)
Conductor	59,3	18,6	4,1	1,5
Pasajero asiento delantero central	71,0	20,8	4,1	1,4
Pasajero asiento delantero derecho	81,7	32,2	7,1	3,9
Pasajero asiento trasero izquierdo	56,7	15,8	2,0	0,0
Pasajero asiento trasero central	45,4	13,4	4,2	1,7
Pasajero asiento trasero derecho	64,0	13,5	4,2	1,5

(Ref. M. Budniok.)

d) Condiciones del habitáculo (grande, pequeño, mediano); en su caso interesa conocer determinadas medidas (en especial en aquello que pudiera impactar con las extremidades inferiores).

¹ Budniok M, *La place du mort dans les accidents d'automobile* (tesis doctoral, Fac. de Medicina de Lille, 1963). Igualmente, Fiadanca y Guido (Italia) comprobaron que «el pasajero más expuesto es el que está sentado al lado del conductor, seguido, estadísticamente, del propio conductor» (Lesiones por accidente de tráfico y reconstrucción del mecanismo de su modalidad. Primer Congreso de la Asociación Internacional de Medicina en los Accidentes y del Tráfico. Roma, 25-30 de abril, 1963. *Boletín de Información de la Asociación Nacional de Médicos Forenses*, números 40-41-42 (abril, mayo, junio de 1963).

Es importante conocer el interior del vehículo, por cuanto un número nada despreciable de lesiones (conductor/ocupantes) que se dan en las colisiones, en especial en el choque, se producen por impacto directo con las partes duras del interior del mismo (lo que ha sido, sigue siendo, fuente de preocupación de los diseñadores y constructores, teniendo aquí la ergonomía de diseño un considerable papel que cumplir; de este modo nuevas concepciones del volante –y su eje– han sido capaces de ahorrar graves lesiones en tórax y cabeza, principalmente). Como elementos potencialmente lesivos (a raíz de la trayectoria del impacto) conviene recordar, en especial, los siguientes: salpicadero en general, volante, espejo retrovisor, parabrisas (el cual en muchos casos causa el 50 % de las lesiones a los ocupantes del asiento delantero), los propios asientos delanteros, en los ocupantes de los posteriores. El pasajero del asiento delantero, que va junto al conductor, tiene el doble de posibilidades de resultar lesionado que éste, y los pasajeros de atrás son quienes las tienen menores³.

e) Elementos de seguridad: cinturón (y su tipo), reposacabezas, *airbag* *.

f) Naturaleza del impacto (posterior, lateral, rotativo, etc.).

g) Croquis, reportaje fotográfico, puntos de referencia.

h) Fecha y hora del accidente.

i) Duración del desplazamiento: tiempo que llevaba viajando la víctima del accidente, y tiempo de permanencia ininterrumpida en el vehículo (interesa en especial respecto al conductor, por la posible incidencia de la fatiga de la conducción, aunque también es un dato a tener en cuenta para el resto de los ocupantes, así, para la apreciación del posible «efecto submarino», etc.).

j) Descripción de la vía, condiciones climatológicas, luminosas, etc.

g) Daños apreciados en el vehículo (vehículos, en su caso), estimando las principales deformaciones sufridas en el vehículo.

l) Huellas biológicas en el vehículo (sangre) y otros vestigios (resto de tejidos que pudieran corresponder a la víctima).

m) Lesiones apreciadas en la víctima: número e intensidad de las mismas, ordenados de mayor a menor gravedad, y según se estime en un principio. En general, los accidentes causan lesiones múltiples en un 60 % de los casos, y en un 30 % de ellos presentan tres o más lesiones, entre las que invariablemente figuran las de la cabeza. Por orden de frecuencia, las lesiones, de más a menos, se ordenan así: cabeza, piernas (incluyendo rodillas), brazos, tórax, abdomen, columna vertebral y pelvis⁴.

Dentro de esta recogida de datos, interesa indagar los «factores accidentógenos» (T. Brenac) **, esto es, aquellos que permiten comprender las disfunciones que han llevado al accidente dentro del sistema hombre/vehículo/infraestructura-entorno.

³ Con algunas notas tomadas de la *Enciclopedia Espasa*, suplemento 1967-68, o. c.

* Sobre las pinzas en los cinturones ya se advirtió anteriormente de sus efectos peligrosos.

⁴ *Enciclopedia ESPASA*, sup. 1967-1968, o. c..

** Brenac T., *L'analyse séquentielle de l'accident de la route (Méthode INRETS). Comment la mettre en pratique dans le diagnostics de sécurité routière*. Publicado por el INRETS, dentro de la serie Outils et méthodes, n.º 7, marzo 1997. Arcueil (Francia).

Hidden page

- deformación peligrosa de las estructuras
 - choque frontal
 - vuelcos
- parachoques
- b) Choque del hombre contra el vehículo:
 - fijación del hombre
 - volante y accesorios
 - columna de dirección
 - inclinación de la columna de dirección en relación a la horizontal
 - forma y estructura del volante
 - retrovisores
 - palanca del cambio
 - freno de mano
 - botones diversos del interior del vehículo
 - paredes del habitáculo
 - materiales con capacidad amortiguadora
 - cristales

Por su parte C. Perrin y cols.*, consideran importantes, entre otros, los siguientes aspectos:

- recogida de información sobre el escenario del accidente en tiempo real
- datos médicos (ficha del lesionado):
 - datos de carácter general (edad, peso, talla, obesidad, handicaps, estado de vigilancia, utilización de gafas, etc.)
 - informaciones medias a la admisión (con el fin de poder conocer un primer balance lesional)
 - informaciones médicas hospitalarias (seguimiento del lesionado, hasta su curación o fallecimiento)
- control de los vehículos:
 - vehículos implicados
 - deformaciones del habitáculo y las zonas de intrusión
 - interior del vehículo
 - control del funcionamiento de los sistemas de seguridad

Estos mismos autores (Perrin y cols.), para la elaboración de una base de datos, tienen en cuenta:

* Perrin, C., Cavallero, C., Bonnoit, J., Fernández, F. En: *Enquête multidisciplinaire sur les accidents de la circulation*. INRETS, Laboratoire de Biomécanique appliquée, Marseille (France). III Coloquio National sur la Sécurité Routière, Casablanca (Marruecos), 5 y 6 de diciembre de 1996.

- *Las informaciones generales* (datos a recoger sobre el lugar del accidente, momento del accidente)
 - identificación del accidente
 - descripciones globales del accidente
 - gravedad global del accidente
 - choques principales o colisiones
 - características de la superficie
 - choque sobre el vehículo estudiado
 - ocupación del vehículo estudiado
- *La infraestructura*
 - señalamiento del lugar del accidente
 - intersección
 - maniobras
 - características geométricas
 - equipamiento de la carretera
- *Vehículos, estructura y carrocería*
 - identificación del vehículo
 - deformación exterior del vehículo (índice de deformación o VDI «Vehicle Deformation Index»)
 - obstáculo principal en el choque
- *Vehículo, habitáculo y equipamientos*
 - deformación del habitáculo (VIDI «Vehicle Interior Deformation Index»)
 - índice de Deformación-Disfunción-Impacto (IDD, que permite caracterizar el comportamiento de los componentes del habitáculo, y se codifica de acuerdo con los mismos principios de la escala de lesiones AIS90)
- *Informaciones Médicas de los ocupantes*
 - informaciones generales
 - informaciones médicas a la admisión (severidad de las lesiones, según escala AIS90)
 - informaciones médicas a la hospitalización
- *Imágenes* (fotografías, diapositivas; ciertos documentos médicos, como radiografías, etc.).

DESPLAZAMIENTOS Y CONTACTOS

a) Posición en la que es encontrada la víctima, rescatada, en su caso, después del impacto.

b) Trayectoria del vehículo y obstáculos encontrados.

c) Desplazamiento del conductor y posibles resistencias internas (estudio de huellas y vestigios en el habitáculo), y externas (cuando es lanzado fuera del vehículo); descripción de los posibles contactos de la víctima contra determinadas superficies (teniendo en cuenta la dureza y la rigidez de las mismas).

d) Hacer las mismas consideraciones anteriores en los otros ocupantes del vehículo, y su proyección posible sobre un determinado lesionado (así, desplazamiento del ocupante del asiento posterior impactando sobre la cabeza del que viaja en la parte delantera).

e) Forma de absorción de la energía cinética a raíz del impacto y su repercusión sobre la víctima, pudiendo considerar, entre otros datos: movilización, o arrancamiento, de los asientos; desplazamiento del salpicadero hacia el interior del habitáculo; posibles efectos de la intrusión de las partes externas del vehículo sobre el lesionado; estimación de los fenómenos de aceleración y deceleración instantáneas. Estudio de las cadenas cinéticas (la cerrada -CC-, que ha de ser analizada en caso de aplastamiento de las estructuras, pero fundamentalmente interesa la cadena cinética abierta invertida -CCAI-).

La relación entre la velocidad y el accidente es importante, y se da la siguiente: 80 km/hora, 2-8 % de accidentes mortales; 80-120 km/hora, 12-39 % de accidentes mortales.

Se estima que el aplastamiento de un automóvil en un choque es 1 cm por cada km/hora de velocidad, y dura 7 centésimas de segundo. Durante el choque, los ocupantes tienden a continuar su trayectoria ignorando que el vehículo sufre una deceleración brutal, y salen proyectados hacia adelante, y, en general, un poco hacia arriba. (Como se ha indicado, las rodillas tocan la parte inferior del tablero, el tórax del conductor toca el volante, el cuerpo pivota sobre las caderas, la cabeza golpea el parabrisas o el marco superior del mismo, a veces rompe el cristal y cae luego sobre el marco inferior del parabrisas o capó). Todos los elementos citados son fundamentales para las consecuencias que sufrirá el ocupante. Pero si se retiene al individuo por medio de cinturones de seguridad, la situación puede cambiar notablemente; en primer lugar se diseña el automóvil para que la parte delantera se deforme y absorba la mayor cantidad de energía posible, con lo cual la deceleración de los anclajes del cinturón es más débil; en segundo lugar, la resistencia del cinturón mismo debe ser tal que al deformarse se absorba otra parte de energía. Un cinturón de tres ramas tenderá a repartir el esfuerzo resultante sobre una superficie mayor; además la colocación de un reposacabezas evitará el movimiento de retroceso de la misma cabeza, después de la oscilación hacia adelante, frenada por el cinturón. En cualquier caso, hay que tener en cuenta que las fuerzas en este brevísimo tiempo llegan a ser de 3.000 kg sobre los anclajes, si el automóvil va a 50 km/hora; y a 100 km/hora esta fuerza no sería menor de 4 toneladas⁵.

⁵ *Enciclopedia Espasa*, o. c., sups. 167-1968 y 1969-1970.

Hidden page

- *Estabilidad de asiento:* en muchos vehículos, aun mostrando buena cinemática en general, se produjeron, no obstante, contactos con la cabeza y el pilar B*, siendo la causa de ello la inclinación del respaldo del asiento y la deformación debajo del asiento; y es que, en la mayoría de los automóviles ensayados, el punto de anclaje del cinturón se mueve con el asiento. Si el asiento se inclina hacia adelante o hacia un lado, la pelvis del maniquí tiene libertad de movimiento, lo cual permite un retraso entre el movimiento inicial del rebote y el momento en el cual el cinturón del regazo acelera el muñeco hacia la derecha del vehículo; en consecuencia, la estructura de la izquierda se acerca al muñeco antes de que el cinturón empiece a situar el maniquí de nuevo en el asiento. Esto puede explicar por qué a veces la cabeza toma contacto con el pilar B.

- *Integridad de la puerta:* en ocasiones la puerta, sin gran deformación, hace contacto con el hombro, y retrasa el movimiento del torso; en algún caso la puerta se deformó mucho, pasando el maniquí entre la puerta y el airbag, acercándose la cabeza al pilar A.

- *Movimiento lateral de la columna de dirección:* en la mayoría de los casos la columna de dirección se desplazó hacia la izquierda, esto es, hacia la puerta del conductor (desplazamiento positivo), de modo que el conductor queda protegido, en dos casos, con mal comportamiento del maniquí: la columna de dirección se desplazó incluso hacia la derecha, después de un movimiento inicial hacia la izquierda.

RECONSTRUCCIÓN DE LA PATOGÉNESIS LESIONAL

Orientación razonada

A partir de estos datos, anotando con esmero tanto las referencias preliminares como los datos que tienen un carácter dinámico (los referidos últimamente) se puede plantear un razonamiento que sirve para comprender el mecanismo lesional. Los conocimientos y conceptos que se han ido exponiendo es posible que sirvan para establecer una pauta de actuación a partir de un razonamiento que, en cualquier caso, ha de ser adaptado a cada situación particular, y estará estrechamente ligado a los datos y anotaciones que se hubieran hecho previamente. Con este planteamiento, que se fundamenta en una orientación razonada, se ha de buscar la explicación del mecanismo lesional, en especial cuando no se disponga de grandes medios (como son las técnicas modernas de reconstrucción, basadas en herramientas informáticas, como se indica más adelante, aunque, en cualquier caso, su uso ha de ser objeto de cautela y prudencia), pero que a pesar de su modestia posiblemente son de utilidad para resolver gran número de casos**. Evidentemente,

* En adelante, considérese pilar A, aquel situado por delante de la puerta delantera; pilar B, el ubicado en la parte intermedia del vehículo; pilar C, o trasero, por detrás de la puerta trasera.

** Para realizar estimaciones de aproximación, es posible realizar un análisis de tanteo, valiéndose de un maniquí articulado, de tamaño reducido, con el fin de indagar la geometría del movimiento del cuerpo del lesionado con ocasión del accidente.

aun siguiendo una pauta de actuación, cada caso es un problema y, ha de ser abordado con espíritu intuitivo e imaginación, buscando la concordancia entre las lesiones aparecidas y las circunstancias del accidente, en la idea de pretender la reconstrucción del mecanismo capaz de explicar la patogénesis lesional.

No obstante, obsérvese ya desde ahora que si bien el hecho destructivo se puede manifestar de forma violenta, traumática, tampoco hay que olvidar que también puede ser consecuencia de un proceso que se va fraguando en el tiempo, de una forma lenta, por fatiga de las estructuras y de los materiales implicados, lo que sirve para explicar las lesiones por requerimientos repetitivos (acciones microtraumáticas, por hipersolicitación), en las que el gesto motor en sí, a raíz de la incidencia crítica que determina el accidente, aislado en su singularidad, no tiene trascendencia, pero es esa singularidad, en conexión con semejantes antecedentes, por una pluralidad de actuaciones, lo que realmente desencadena la lesión tal como se muestra a raíz del accidente. Conviene tenerlo en cuenta en el presente desarrollo, por cuanto pueden aparecer daños personales cuyo agente final actúa como ejecutor dada una situación microtraumática previa, en la inmensa mayoría de las veces desconocida por la víctima.

De cualquier modo, adviértase, de acuerdo con F. Camps⁶, que la imposibilidad, o por lo menos la gran dificultad para obtener testimonios oculares de los accidentes, es muchas veces notoria, aunque otras veces son preferibles los testimonios mudos, que faciliten la reconstrucción del accidente: huellas y señales en los vestidos, los cristales, las manchas de pintura, etc.; «la interpretación de las lesiones es principalmente una cuestión de sentido común, de ese sentido que, desgraciadamente, no se enseña en muchas facultades y universidades; hay que considerar igualmente las condiciones físicas normales y patológicas del conductor, y el papel de primer orden que ha de jugar el fotógrafo; por no tenerse en cuenta todos estos y muchos otros factores más, que tienen una importancia fundamental, resulta que los accidentes en cuestión son considerados las más de las veces demasiado a la ligera» (F. Camps).

El estudio de las lesiones halladas en las víctimas puede dar, según Kluin⁷, una base para la reconstrucción, al mismo tiempo que estima que «se trata de una investigación muy delicada, que sólo puede dar resultados positivos, conociendo los grupos generales de lesiones para cada tipo de accidente y el medio que los ha provocado».

En todo caso, el facultativo ha de interesarse por los siguientes parámetros:

- condiciones del accidente;
- vehículos implicados;

⁶ Camps F (Inglaterra), Lesiones por accidente de tráfico y reconstrucción del mecanismo de su modalidad. Primer Congreso de la Asociación Internacional de Medicina en los Accidentes y del Tráfico. Roma, 25-30 de abril, 1963. *Boletín de Información de la Asociación Nacional de Médicos Forenses*, números 40-41-42 (abril, mayo, junio de 1963).

⁷ Kluin (Alemania), Lesiones por accidente de tráfico y reconstrucción del mecanismo de su modalidad. Primer Congreso de la Asociación Internacional de Medicina en los Accidentes y del Tráfico. Roma, 25-30 de abril, 1963. *Boletín de Información de la Asociación Nacional de Médicos Forenses*, números 40-41-42 (abril, mayo, junio de 1963).

- características de los ocupantes;
- gravedad de las lesiones

Ficha protocolaria

De forma resumida, y para una consulta rápida y ágil, se puede trabajar, en ámbito médico, con la ficha protocolaria que se propone, con carácter abierto, susceptible, obviamente, de ser corregida en sus defectos, así como mejorada en cuanto se estime oportuno (Ficha 12.1).

Tal ficha interesa en tanto que su operatividad alcance a explicar la patogénesis de las lesiones y para los daños personales en general, no en los materiales, por lo que no han de ser confundidos ambos supuestos; no obstante, todos los aspectos materiales que sirvan para cumplir el propósito formulado han de ser tenidos en cuenta y por ello han de ser tomados en su importancia y aprovechados.

DISCUSIÓN DEL NEXO CAUSAL

Criterios generales de causalidad

Supone esto plantearse la imputabilidad de las lesiones y las secuelas de los hechos de la circulación que se estén examinando en cada caso concreto. Por ello se ha de razonar atendiendo a los siguientes criterios⁸:

- La realidad traumática.
- La suficiencia diagnóstica.
- La cronología sintomática.
- La topografía lesional.
- El estado anterior.
- El mecanismo causal.
- La realidad traumática, determinada por el hecho del accidente.
- La suficiencia diagnóstica, esto es, que las exploraciones clínicas practicadas (incluyendo las pruebas instrumentales imprescindibles) sean bastantes como para describir la lesión y su alcance.

Este aspecto es de gran importancia. A veces la víctima del accidente presenta lesiones que no constan en el informe de sanidad del médico forense, sencillamente porque no se han realizado las pruebas diagnósticas imprescindibles tanto para admitir como para descartar la existencia de tal o cual proceso. Un orgullo

⁸ Muller y Cordonen establecen los siguientes criterios de causalidad: 1) etiológico, o realidad traumática y naturaleza de la misma; 2) criterio topográfico; 3) criterio cuantitativo: relación de intensidad del traumatismo con la intensidad o gravedad del daño producido; 4) criterio cronológico: tiempo transcurrido entre el traumatismo y la aparición de los problemas; 5) criterio de continuidad sintomática: presencia de síntomas puente desde que se produjo el traumatismo hasta las secuelas; 6) estado anterior: integridad anterior al hecho traumático; 7) exclusión: eliminación de las circunstancias de estudio como elemento causal (Según referencia de Criado del Río MT. En: *Evaluación del estado anterior en la valoración del daño corporal*. Madrid, Mapfre Medicina, vol. 3, n.º 2, 1992).

FICHA 12.1. Biocinemática del accidente de tráfico. Ficha protocolaria para la reconstrucción

Datos generales

Nombre y apellidos:

Hora de admisión

Hombre/Mujer/Mujer embarazada

Relación Peso/Talla/Edad:

Obesidad

Antecedentes:

Número de años del permiso de conducir (conductor)

Desarrollo del accidente y elementos afines

Fecha y hora del accidente:

Lugar, identificación del accidente (choque frontal, vuelco, atropello):

Personas y vehículos implicados (características: antigüedad, peso –compatibilidad/incompatibilidad–, geometría, etc.):

Condiciones del tráfico (fluido, escaso, etc.)

Descripción de la vía y condiciones climatológicas; luminosidad:

Velocidad de circulación estimada:

Trayectoria: situación del vehículo antes del accidente, en el momento del impacto (croquis y medidas) y en el post-impacto; obstáculos encontrados, maniobras de urgencia (frenado, desviación lateral, etc.)

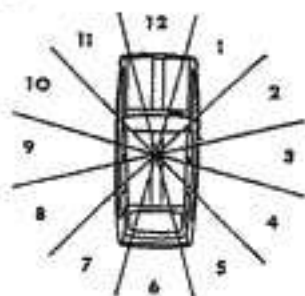
Tipo de impacto/impactos:

Daños apreciados en el vehículo (zonas de intrusión, estructuras internas deformadas y/o desplazadas):

Condiciones del habitáculo (grande, mediano, pequeño):

Declaraciones de los implicados y testigos:

Otras observaciones: estado de los neumáticos, líquidos vertidos junto al automóvil accidentado, elementos mecánicos, incendios, explosiones, etc.



Lesiones apreciadas en la víctima

Número

Distribución y tipo de lesiones

Índice de severidad

Fallecimiento (inmediato; <3 h; <24 h; <72 h; <6 d; >6 d)

Hidden page

profesional mal entendido lleva a algunos de estos forenses a mantener, con terquedad, una actitud obtusa y de negación, que a su vez se comunica al juez que corresponda; hay que advertir que la medicina forense que se practica en España goza todavía de una excesiva credibilidad por parte de ciertos jueces, que en ocasiones parecen sentir más atención por «quién» dice que por el «qué» se dice.

Lo correcto es que cualquier juicio diagnóstico ha de responder a un «iter» objetivo ligado a elementos y datos de naturaleza exploratoria y técnica en conexión con el caso problema, interesando en particular los de tipo instrumental. Ciertamente el examen médico inmediato tiene un valor indiscutible en una primera aproximación al lesionado, pero sus limitaciones son manifiestas, y hay que plegarse necesariamente, con humildad, a otras servidumbres⁹:

- La cronología sintomática, en tanto que las manifestaciones del lesionado guarden correspondencia desde el hecho traumático (bien de forma inmediata, o diferida en el tiempo, por la existencia de un lapso de silencio orgánico).
- La topografía lesional: la ubicación de la lesión justifica las consecuencias dañosas, no sólo en el aspecto iconográfico, sino también en lo que a la función interesa.
- El estado anterior (se desarrolla en el siguiente subepígrafe).
- El mecanismo causal: podrá ser explicado sobre el razonamiento antes propuesto. Si bien «mecanismo» y «causa» no han de ser confundidos en su significado, pues tienen matices diferentes, en la forma ya anteriormente expresada, de cualquier modo es necesario remitirse a la causa.

Y por causa, en sentido general, se entiende el motivo u origen de determinado hecho, situación, etc., tanto que la causalidad pone en relación dos cosas, de forma que la primera explica la segunda; esta relación es el principio de causalidad. Junto a la causa, siempre desde la perspectiva científica (los aspectos legales no incumben al técnico), hay que considerar también la llamada concausa, o factor participante en la configuración del daño, aun cuando por sí carece de entidad suficiente para producirlo.

A su vez, las concausas se pueden clasificar, en el momento de aparición, de la forma siguiente, de acuerdo con la clasificación dada por Hernaiz Márquez¹⁰:

a) *Concausas anteriores*. Las que ya existían en el momento de ocurrir la lesión, y que han contribuido a su desarrollo y a las consecuencias del mismo.

Las concausas anteriores, también llamadas preexistentes por otros autores, pueden coincidir con un estado anterior, siempre que tenga participación en la génesis del daño, y que Simonin¹¹ define como un factor mórbido preexistente,

⁹ Jouvencel MR, Crítica y Crisis de la Medicina forense. Artículo de opinión publicado en la *Revista Española del Daño Corporal (REDC)*, págs. 9 a 11, n.º 4, 1996. Madrid, Ediciones Díaz de Santos, S.A. Véase también *REDC* n.º 2, 1995, editorial.

¹⁰ Hernaiz Márquez M, *Accidentes de trabajo y enfermedades profesionales*. Madrid, Revista de Derecho Privado, 1945. Estas notas, y las que siguen, se contienen también en el *Manual del perito médico*, Barcelona, J. M. Bosch, editor, 1991, págs. 13 y 14.

¹¹ Simonin C, *Medicina legal y judicial*. Barcelona, Editorial JIMS, 1982, pág. 287.

representado por antecedentes patológicos, por las predisposiciones individuales, por las taras constitucionales o adquiridas, por los trastornos de naturaleza estática o de carácter evolutivo»; añádase que «todo individuo presenta un estado anterior, ya se trate de un lisiadura, de una fragilidad en relación con las condiciones de vida, e, incluso, una predisposición»¹².

b) *Concausas simultáneas*. Las que se precipitan junto a las que de por sí dan lugar al hecho traumático.

c) *Concausas posteriores -o sobrevinientes-*. Las que tienen lugar después de la materialización del infortunio.

Por otra parte, se distinguen entre concausas emergentes y convergentes¹³; las primeras se identifican con el efecto, en cambio las segundas no mantienen los postulados causa-efecto (en realidad no son auténticas concausas).

El estado anterior

En la construcción del nexo causal habrá que examinar la trascendencia de los antecedentes clínicos y, una vez comprobados, en modo alguno se han de considerar como una cuestión aparte o relegar a un segundo plano, sino que, al contrario, se ha de indagar en su verdadero alcance en la configuración del estado residual que se somete a consulta, trayendo a colación aquellos déficits anteriores que tengan una decidida influencia en este orden.

Del examen de los antecedentes, confrontados con la realidad actual del lesionado, se podrá concluir sobre la inexistencia o presencia de un estado anterior anormal, que, a su vez, en concurrencia con el hecho dañoso, o no hubiese influido en las secuelas examinadas, o, por el contrario, bien modificándose en su situación primitiva (desde una forma larvada o manifiesta -por precipitación, aceleración o incremento de la nosología inicial, o resurgimiento-), bien incluso sin experimentar evolución en su descripción singular, conforma no obstante, en unión de las causas sobrevenidas, un estado nuevo, distinto a aquel anterior, en una apreciación global de las mermas experimentadas por la víctima.

La discusión en torno al estado del lesionado previo al accidente y su proyección en las secuelas, habrá de formularse en estrecha consideración con los criterios anteriores y ultimada la reconstrucción de accidente, pudiendo establecer, finalmente, las siguientes posibilidades¹⁴:

a) Estado anterior patológico inexistente o no apreciado. No se han observado antecedentes clínicos de interés que se pudieran poner en relación con las

¹² Rousseau C, *Elements de traumatologie medico-legales à l'usage des specialistes de l'indemnisation*, Madrid, Editorial Mapfre, 1976, pág. 43.

¹³ Dedomeci P, La concausa en Accidentes de Trabajo, *Revista de Medicina Legal y Jurisprudencia Médica*, Rosario, Argentina, 1-6-43, núms. 1 y 2, pág. 43 (cita a su vez tomada de la obra *Incapacidades Laborativas*, Rubinstein SJ, Buenos Aires, Editorial Abaco de Rodolfo de Palma, 1980, pág. 72.

¹⁴ *Manual del perito médico*, o.c., págs. 22 y 23.

secuelas derivadas del hecho dañoso, tanto que el lesionado «siempre fue sano» hasta el momento en que se produjo la intervención de aquél.

b) Estado anterior patológico, existente, no agravado e irrelevante en la configuración del estado residual derivado del accidente.

c) Estado anterior patológico existente, no agravado, pero relevante, ya que concurre con las secuelas del hecho dañoso, configurando una situación distinta y más severa que en la estimación aislada de ambos procesos (estado anterior, por una parte, y secuelas del hecho traumático, por otra). El estado anterior, en su apreciación singular, no ha experimentado cambios; no obstante, tal apreciación, en confluencia con las causas sobrevenidas —y en concreto con las secuelas que en sentido estricto conectan con el hecho dañoso—, configuran una situación distinta y más severa, explicable por un mecanismo de potenciación e interdependencias mutuas.

d) Estado patológico existente, agravado y, obviamente, relevante.

El problema de las secuelas tardías y su interpretación jurídica. Especial referencia a los TCE¹⁵

Si bien el término de «secuela» es discutible conceptualmente en tanto que se entienda como daño permanente, marcando un estado residual y definitivo, o como estabilización del trastorno, es innegable, por otra parte, que por exigencias del tráfico jurídico resulta útil, aunque también cuestionable.

No ha de llevar esto, sin embargo, a actuar con ligereza de juicio, hasta el extremo de proceder al alta del lesionado sin que se den unos requisitos mínimos tanto para la observación del daño materialmente causado como para que se vean cumplidos unos plazos prudenciales para apreciar la evolución del proceso. Y si entender que la secuela se ha establecido plantea muchas veces dificultades con carácter general, merecen especial atención determinados hechos dañosos cuando vienen a interesar ciertas estructuras de la economía humana, alcanzando particular relevancia los traumatismos craneanos o craneoencefálicos (TCE).

En general, cualquier traumatismo de cráneo que en principio pudiera parecer leve, aun sin pérdida de consciencia, puede traer, no obstante, graves consecuencias para el lesionado. De ahí que, ante la incertidumbre del pronóstico, se haya de marcar un seguimiento muy estrecho en estos casos, con una observación rigurosa desde el primer momento y a partir del hecho traumático, para después traer a colación cuantas pruebas y medios exploratorios se consideren imprescindibles, repitiendo los exámenes cuantas veces sea necesario. Existen protocolos de seguimiento, donde se fijan plazos mínimos de observación, siendo deseable que se aprecien por los médicos. Pero aun así se sabe que ciertas exploraciones pueden mostrar a menudo resultados normales, como la repetición de electroencefalogramas, existiendo, al mismo tiempo, anomalías neurológicas.

¹⁵ *Revista Española del Daño Corporal*, Editorial n.º 4, Madrid, Ediciones Díaz de Santos, S. A., 1996.

Pero si lo anterior no está exento de dificultades, el problema cobra mayor abundancia, tornándose más complicado, cuando se ha de abordar la vertiente de las secuelas tardías de tales lesiones craneanas, esto es, aquellas manifestaciones patológicas que surgen al cabo del tiempo, tras un aparente silencio orgánico, a veces después de varios años del hecho traumático inicial, brotando incluso de forma inesperada para el propio lesionado, pues hasta ese momento, subjetivamente, se creía plenamente recuperado.

Entre las manifestaciones de tan desfavorable evolución se cuentan crisis convulsivas, epilepsia postraumática, complicaciones vasculares y otras alteraciones, sin olvidar la hidrocefalia (en sus diversas formas, siendo la más temible la hidrocefalia normopresiva, por su carácter solapado, que puede abocar, por sus consecuencias, a un cuadro de demencia, después de una evolución lenta e insidiosa, manifestándose muchos años después).

Mas lo dicho hasta el momento no pretende, ni mucho menos, entrar en un análisis de la cuestión clínica en los términos que se merece; quiere únicamente servir de preámbulo para llamar la atención sobre su tratamiento jurídico. Y es que ante tales secuelas diferidas, a veces muy retardadas, no parece que la víctima goce de la adecuada protección.

El problema tiene especial incidencia en los casos de accidente de circulación, tal que en el juicio de faltas que se puede derivar del mismo (o juicio verbal, en el caso que se hubiera producido la reserva de acciones correspondientes, bien por sobreseimiento de la causa penal, o por lo que fuera), una vez dictada la sentencia (que resuelva sobre las indemnizaciones que corresponda al lesionado en ese momento), ya no cabe ningún tipo de reserva, pues la acción se ha ejercitado con carácter definitivo.

Cierto que la estimación de los elementos fácticos, en su recibimiento a prueba, ha de recaer sobre «hechos probados» y no en meras probabilidades (a veces formuladas como «daños potenciales»); pero también es cierto que en no pocos casos, ya agotada la acción, esos daños razonados como potenciales se realizan de forma expresa, sin que la víctima, por la prescripción de los plazos para accionar, pueda ya reclamar ningún tipo de indemnización. Claro que a más de uno se le puede ocurrir, como solución temporal conveniente, la interrupción de la prescripción, a la vista del informe de sanidad, pero tal recurso en modo alguno resulta operativo, en especial cuando hay también aspectos inmediatos sobre los que el juez o tribunal competente se ha de pronunciar, con el fin de que se vean satisfechas, al menos momentáneamente, las justas peticiones de la víctima.

Es por ello que quizá, como cuestión de *lege ferenda*, convenga plantear la oportunidad de dar traslado de este problema al legislador, en la conveniencia de arbitrar un tratamiento especial en estas y parecidas situaciones, luego de un detenido estudio.

Como una de las posibles soluciones, se sugiere buscar un cierto paralelismo con los hechos contemplados por el Código Civil ante eventuales vicios de la construcción (dado que a veces se demoran en el tiempo en su aparición, contemplándose un plazo de diez años para demandar al responsable); también se puede pretender una aproximación a la vía establecida para las contingencias

profesionales (enfermedad profesional –sin sujeción a plazo, hasta la edad de la jubilación– y accidente de trabajo –cinco años, según la LGSS 20-6-94–), que entiende que el «consecutor» se da, siempre que se pruebe, tanto de forma inmediata como mediata (después de la vinculación laboral).

Frente a lo propuesto, puede argumentarse igualmente que los plazos de prescripción previstos por las leyes en general, en este caso de ámbito civil, vienen dados para evitar la inseguridad jurídica. Y sin duda tal invocación es válida, si bien habrá que matizarla, pues claro que la ley en aras de la seguridad jurídica en algún punto tiene que cortar la posibilidad de ejercitar la acción, pero sin posiciones extrapoladas, que, dadas las circunstancias, arrojen a la víctima a una situación de gran falta de medios para defenderse, o, en el mejor de los casos, le colocan en una posición de gran precariedad jurídica, muy difícilmente revisable en la práctica (aun colacionando ciertas orientaciones jurisprudenciales), sin olvidar tampoco que tal amparo jurídico, es decir, el ámbito jurídico de la prescripción, está pensado para todos, extensible a cualquier justiciable.

RECONSTRUCCIÓN TÉCNICA DE LOS ACCIDENTES DE TRÁFICO

La reconstrucción cinemática del accidente

Reconstruir un accidente supone una investigación en la que hay que considerar un escenario (en el que se desarrolla el accidente), unos vehículos implicados (uno o más), el tipo de accidente producido y, dentro del contexto en el que se viene tratando, los daños personales en cuanto a lesiones. Las experiencias acumuladas de los accidentes de carretera a lo largo de los años, los conocimientos previos del estudio de las deformaciones de los vehículos, así como los resultados conocidos a través de las pruebas de choque en condiciones experimentales (*crash test* en sus diferentes variantes, *offset* o frontolateral, y choque total contra barrera rígida), sin duda han de proporcionar un bagaje informativo de gran utilidad en esta labor de reconstrucción, y a tener en cuenta. Por su naturaleza, *la reconstrucción técnica cae fuera de la esfera de actuación del médico; no obstante conviene tomar en consideración estos conocimientos, aunque sólo sea a título informativo.*

Dentro de este epígrafe, se van a transcribir una serie de conceptos y definiciones básicas que han sido tomadas del *informe n.º 21 del INRETS*¹⁶.

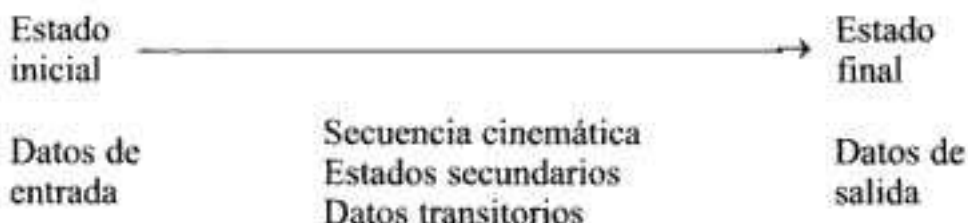
Reconstrucción cinemática del accidente. Consiste en establecer el escenario de los acontecimientos sucesivos para cada uno de los vehículos implicados, desde

¹⁶ Lechner D (con la participación del equipo del departamento de mecanismos de los accidentes), Malaterre G, Fleury D, *Raport INRETS (Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité)*, n.º 21, Paris, diciembre 1986. También se puede consultar *L'analyse séquentielle de l'accident de la route (méthode INRETS). Comment la mettre en pratique dans le diagnostics de sécurité routière*, Brenac T., publicado por el INRETS, Outils et Méthodes, N.º 3, marzo 1997. Arcueil (Francia).

Hidden page

culo, el valor de la aceleración, correctamente establecido. Y, salvo para secuencias muy simples, el valor de la velocidad varía allí constantemente.

Resumiendo, resulta:



Procedimiento de reconstrucción. Consiste en seguir una pauta de actuación con el fin de tratar de explicar cómo construir el escenario espacio-temporal del desarrollo del accidente a partir de los datos recogidos sobre el terreno. Por otra parte, las fronteras entre la recogida de datos, la reconstrucción del desarrollo de los hechos y el análisis no están siempre muy bien delimitados.

Datos básicos para la reconstrucción. Al efecto se han de considerar los siguientes:

a) *Datos del «conductor» (implicado)*

– *Testimonio de los implicados.* No es más que el punto de vista de éstos; constituye una fuente de información no decisiva, susceptible de lagunas. Los puntos principales son:

- Desplazamiento del implicado: organización del trayecto, sentido del desplazamiento sobre la infraestructura, velocidad declarada, maniobras en curso de realización, modificaciones de la trayectoria y de la velocidad.
- Referencias de la información.
- Lógica de los acontecimientos según el implicado.

Estos datos son ordenados cronológicamente y relativizados, primero de acuerdo con su coherencia interna, después en función de su formulación. No es necesario negar el papel de la apreciación subjetiva por el que recaba los datos, y la importancia de la sinceridad o la buena voluntad del implicado.

b) *Otros datos del conductor (implicado)*

- Elementos relativos a su personalidad.
- Antigüedad del permiso de conducir.
- Kilometraje anual.
- Edad y estado físico del conductor.
- Conocimiento de la duración del trayecto, la fatiga acumulada y otros datos que pueden estar en relación con una disminución del tiempo de reacción ante una maniobra determinada.
- Medida de alcoholemia.

c) *Datos de la infraestructura*

- Distancias de visibilidad.

Hidden page

- Descripción de las tomas de información.
- Lógica de los acontecimientos según el implicado: sus intenciones, su interpretación del comportamiento de los demás, sus propias reacciones.
 - Localización del punto de colisión y las posiciones relativas de los vehículos en choque.
 - Determinación de la velocidad, atendiendo a los valores declarados y la interpretación grosera de los trazados de frenada antes de la colisión, las deformaciones y postcolisión, derrapages, etc., que traducen la violencia del choque.

b) Tentativa de escritura y de recorte de las secuencias cinemáticas propias de cada implicado

Se trata de poner a punto para cada uno de los implicados un escenario de desarrollo de los hechos que son encadenados, por los cuales el implicado pasa de su situación de conducción inicial a su posición final después del accidente.

El método consiste en listar la sucesión de acontecimientos que la síntesis de datos recogidos ha permitido poner en evidencia para cada uno de los implicados, y de reagruparlos en el seno de las secuencias cinemáticas. Este trabajo tiene un aspecto cualitativo; es necesario poner en evidencia lo que ha podido pasar, pero no se trata de cuantificar los fenómenos. Es raro que los extremos de las diferentes secuencias puedan ser fijados con precisión en esta fase. Es igualmente habitual que subsistan ciertas ambigüedades. Conviene entonces formular ciertas hipótesis plausibles, dando los cortes secuenciales correspondientes.

c) Expresión literal del problema cinemático

La *fase prechoque* y las *postcolisión* son objeto de un tratamiento similar; a cada una de las secuencias cinemáticas precedentes definidas vendrá asociado el modelo cinemático correspondiente. El choque es objeto de análisis específico.

c.1) Fase prechoque y las postcolisión. Se considerará:

- Tiempo.
- Distancia.
- Velocidad.
- Aceleración.

A su vez, se podrá distinguir:

- Progresión a velocidad constante: movimiento uniforme.
- Ralentización o frenada.
- Arranque o aceleración: movimiento uniformemente acelerado.
- Comportamiento en curva: movimiento circular uniforme.
- Maniobra de desplazamiento lateral.
- Derrape, derrape lateral, derrape longitudinal.

c.2) Análisis del choque. Complementa el trabajo precedente. Sus puntos principales son los siguientes:

- Buscar la configuración de o de los choques sucesivos: se trata de reparar muy precisamente en las orientaciones iniciales de cada vehículo.
- Señalar cómo los vehículos entran en colisión.
- Indicar cómo se propagan las deformaciones.
- Establecer las orientaciones tomadas por cada vehículo justo después del choque.

Estas informaciones se traducen en un esquema, considerando las ecuaciones de conservación de la cantidad de movimiento y de la energía cinética (que permite hacer intervenir las energías disipadas en las deformaciones, con la ayuda del ETS —equivalente test *speed*—, que son las velocidades de choque en situaciones controladas sobre un obstáculo fijo, comparables a las que se constatan en los vehículos accidentados).

d) Investigación del camino lógico

Llegada esta fase se puede considerar que el problema está planteado correctamente, tratando de reflexionar sobre el camino más juicioso, para así obtener rápidamente una reconstrucción completa y coherente.

e) Establecimiento de escenarios individuales

En general, según la complejidad del accidente, el número de secuencias puestas en evidencia y la amplitud cinemática asociada, esta tarea puede mostrarse como un trabajo de una amplitud inquietante.

Más en particular, se pueden considerar los siguientes aspectos:

- Determinación de las características de un estado primario; la determinación de un instante en la cronología del accidente es un producto de la reconstrucción.
- Determinación de las características transitorias de una secuencia.

f) Confrontación de los escenarios individuales, buscando una coherencia global

La coherencia global de los resultados es la mejor garantía de la fiabilidad de una reconstrucción. El recurso deliberado a modelos cinemáticos elementales resulta de la voluntad de homogeneizar el trazado de diferentes secuencias temporales.

Conviene considerar:

- Replanteamiento del análisis del choque.
- Reposición recíproca de los vehículos, prestando atención a los puntos siguientes:
 - Las posiciones relativas de los vehículos deben ser compatibles con las indicaciones de percepción recíproca de los implicados.
 - La evolución de las distancias recíprocas entre los vehículos debe ser confrontada con las declaraciones de los implicados y testigos, y mostrarse coherente en relación con las maniobras realizadas por los conductores.

- La reposición recíproca de los vehículos permite cifrar la duración de ciertas fases, en particular la que separa el instante de la percepción potencial de un peligro y la puesta en marcha de una acción de salvaguarda.

Esta fase se llama *fase de reacción*, que comprende en realidad las etapas siguientes:

- Movimiento parásito perceptible después de percibido.
- Diagnóstico del peligro.
- Elección de la maniobra de urgencia.
- Puesta en marcha fisiológica y mecánica.

El valor obtenido debe ser escrupulosamente comparado con los valores corrientemente admitidos en materia de tiempo de respuesta de un operador humano.

Una teoría (muy) general para la reconstrucción de siniestros¹⁷

La reconstrucción de siniestros ha experimentado un considerable avance en los últimos años. Por una parte los peritos han ido desarrollando sus metodologías, y por otra, la informática, como ciencia de la computación e inteligencia artificial, ha puesto a su disposición avanzadas herramientas infográficas para la modelización y animación virtual con las que simular la realidad y la temporalidad de casi cualquier accidente o crimen.

El daño corporal que se produce en los accidentes o en los delitos violentos es casi siempre extraordinariamente sensible a pequeñas variaciones de las distancias o de los ángulos con los que se produce una contusión. Por este motivo la reconstrucción infográfica de los siniestros tiene para el médico un carácter mucho más ilustrativo que analítico o pericial, sirviendo para expresar con precisión pérdidas de movilidad en articulaciones o cualquier tipo de lesión mediante modelizaciones anatómicas o fisiológicas.

Sin embargo, el daño corporal no es sino el resultado de un siniestro que cada vez es analizado, representado, y, en definitiva, peritado, con más detalle y precisión. Por este motivo, consideramos útil e interesante describir razonadamente aquí los recursos tecnológicos y científicos con los que está avanzando la peritología moderna.

Tratando de no perder generalidad, nos aplicaremos entre los dos pilares fundamentales de la Matemática, cálculo y álgebra, en el análisis aplicado a la Física, y para mayor precisión, a la Medicina racional, sobre lo que más y mejor debe disciplinar a la ingeniería inversa en la peritotecnia para alcanzar la esen-

¹⁷ Gallardo Ortiz MA, texto transcrito del trabajo Una teoría (muy) general para la reconstrucción pericial de siniestros. Accidentología y criminalística, publicado por el autor en la *Revista Española del Daño Corporal*, n.º 7, Madrid, Ediciones Díaz de Santos, S.A., 1998.

cia exacta de las cosas pasadas, o al menos, con precisión suficientemente aproximada, y llegar a conseguir pericialmente probados los hechos previos a cualquier interpretación jurídica.

Disponemos de excelentes enciclopedias de Matemáticas y Física, así como de brillantes obras sobre mecánica teórica y dinámica analítica, aunque lamentablemente existen muy pocas referencias a este tipo de obras en la literatura jurídica y pericial. En nuestra opinión, el ingeniero en el juzgado difícilmente puede hacer valer los fundamentos de lo que conoce para hacer comprender al juez y a las partes lo que éstas ignoran.

En lo que sigue trataremos de fundamentar la reconstrucción pericial en accidentología y criminalística, proponiendo aproximaciones matemáticas formales y operativas que sirvan de inspiración y marco para el entendimiento de los profesionales de la reconstrucción, en lo que podríamos denominar «tecnología de prueba».

Una aproximación matemática para la reconstrucción pericial

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.

Así, el sistema general de ecuaciones:

$$\begin{aligned} f^1, (X^1, X^2, \dots X^n, t) &= 0 \\ f^2, (X^1, X^2, \dots X^n, t) &= 0 \\ f^n, (X^1, X^2, \dots X^n, t) &= 0 \end{aligned}$$

puede idealizar la realidad relevante en una reconstrucción entre el momento $t = 0$ y $t = t^{\text{fin}}$, en donde el momento 0 es el origen de tiempos de reconstrucción y t^{fin} puede ser, por ejemplo, el momento en el que se elabora el atestado, el llamado *estallido de campo*, o el más definitivo informe pericial, en el que las variables $X^1, X^2, \dots X^n$ son los datos relevantes para la reconstrucción, que a su vez pueden descomponerse en otros más detallados. Por ejemplo, si X^1 representa la posición de un punto, a su vez podría descomponerse fácilmente de sus coordenadas relativas X, Y, Z .

Esta formulación nos permite manejar con comodidad y absoluta precisión los valores de las variables, y por supuesto, definir sus aspectos diferenciales como la velocidad o variaciones relativas respecto a otras variables según ecuaciones diferenciales, de la forma:

$$\begin{aligned} X^{1'} &= f^1, (X^1, X^2, \dots X^n, t) \\ X^{1''} &= f^2, (X^1, X^1, X^2, \dots X^n, t) \end{aligned}$$

y así hasta donde se desee precisar diferencialmente cada variable, generalizando a sistemas de orden superior, en los casos periciales más frecuentemente aplicados a la dinámica que, como más adelante veremos, es la parte de la mecánica que relaciona el movimiento con sus causas.

Resulta algo más difícil tratar con cuerpos de geometría variable o compleja, como el cuerpo humano. Las posturas y tensiones, los ángulos de incidencia y cualquier pequeña diferencia entre lo que se supone que ocurrió en cualquiera de las fases de un siniestro, y lo que realmente ocurrió, puede alterar por completo la reconstrucción.

Además, los sujetos y objetos que intervienen en un accidente, y mucho menos aún en un crimen en el que deba demostrarse la presunta intención de los actores, generalmente no pueden ser idealizados como puntos, sino como sólidos con mayor o menor rigidez, en muchas ocasiones en escenarios fluidos de mayor o menor viscosidad.

Si a esta complejidad añadimos la presencia de cualquier tipo de señal con significado para el ser humano (acústica, gráfica, simbólica, como el fuego o el agua), en rigor, es inabordable para el conocimiento y las tecnologías actuales, y por tanto, para todo perito, incluso el más elemental planteamiento con pretensiones de exhaustividad, y la precisión mínimamente exigible en las pruebas periciales.

Médico, psiquiatra y psicólogo con especialidad forense pueden encontrar todo tipo de variantes hipotéticas sobre la última razón que explica un accidente. La atención humana y los errores de percepción, así como las patologías de los sentidos, las conductas y la emotividad pueden explicar muchos accidentes y la mayoría de los crímenes, pero quedan fuera de esta perspectiva pericial que pretenden limitarse a las realidades materiales medibles, y a la aplicación de leyes y principios invariables, para la modelización y animación simulada, con independencia de la voluntad de los actores.

Para la correcta reconstrucción pericial es cada vez más conveniente el modelizar y simular pequeñas partes del escenario durante breves intervalos de tiempo, con lo que se puede llegar a responder con objetividad y precisión a preguntas más esclarecedoras sobre hechos relevantes para la determinación de culpas y dolos, y por tanto, de responsabilidades civiles y penales.

Física general para modelización y simulación. Mecánica teórica

La reconstrucción pericial de siniestros no puede dejar de estar basada en el conocimiento de la realidad física y de la mecánica teórica y práctica.

La composición y descomposición de vectores para la estática, cinemática o dinámica, para el estudio del equilibrio y los momentos de fuerza, las leyes de Newton, los conceptos de trabajo y energía, la impulsión y cantidad de movimiento, rotación, elasticidad y deformación, impacto y percusión, movimientos armónicos y oscilantes, la hidrostática e hidrodinámica como mecánica de fluidos, así como los fenómenos termodinámicos y electromagnéticos, y en lo que

a la explicación de la percepción podemos referirnos, también la óptica y la acústica, proporcionan las bases mecánicas para la reconstrucción teórica de siniestros mediante modelización y simulación.

Los orígenes de la mecánica teórica y sus métodos prácticos se remontan varios siglos antes de Jesucristo, destacando en la antigüedad el sabio Arquímedes. Los astrónomos del Renacimiento, Copérnico, Kepler y Galileo, dominaban los conocimientos de la época, pero desde el siglo XVIII destacan multitud de nombres, entre los que podemos citar Euler, Lagrange, Javobi, Hamilton y Poincaré, como creadores de lo que podemos considerar métodos analíticos de la mecánica, aún vigentes en sus fundamentos y principales aplicaciones, tanto en la ingeniería directa como inversa.

Podemos considerar a la mecánica en tres ramas:

Estática, dedicada al estudio del equilibrio de los cuerpos materiales y las reglas para la reducción de los sistemas de fuerzas a sus formas equivalentes más simples.

Cinemática, en la que el movimiento de los cuerpos se considera desde una perspectiva puramente geométrica y con independencia de sus causas.

Dinámica, que estudia el movimiento en relación con las fuerzas que actúan provocándolo, así como sus efectos.

En la dinámica analítica el número mínimo de coordenadas para describir el movimiento de un sistema de partículas se llama *número de grados de libertad* del sistema. En la práctica, el campo de la dinámica analítica se restringe habitualmente a sistemas donde el grado de libertad es pequeño, bien porque sólo unas pocas partículas están presentes, o bien porque existen ligaduras entre ellas que lo simplifican (éste es el caso de los sólidos rígidos), de las que podemos deducir sus ecuaciones.

Para la dinámica analítica existen diferentes formulaciones (lagrangiana, hamiltoniana, de Poisson) y transformaciones canónicas mediante derivadas temporales con las que poder encontrar funciones generatrices que se expresan mediante ecuaciones diferenciales.

Una vez formuladas las ecuaciones existen procedimientos matemáticos tanto teóricos como de cálculo numérico aproximado, para deducir los valores de las variables, por ejemplo, para llegar al grado de confianza requerido para saber si se han superado o no un determinado umbral de velocidad en un punto que debiera ser limitado.

Producido el impacto, es muy importante estudiar las deformaciones. La teoría clasifica los impactos según su elasticidad o plasticidad. En un sencillo modelo ideal, una esfera, cuando choca contra una pared de su mismo material, experimenta un rebote con una velocidad proporcional y opuesta a la que llevaba antes del choque. Así:

$$u = k \cdot v$$

en donde v es la velocidad inicial, u la velocidad de rebote, y k es el llamado coeficiente de restitución. En los choques perfectamente plásticos o inelásticos,

k vale 0, por lo que la esfera se queda pegada a la pared. Por el contrario, en los choques completamente elásticos, k vale 1, y el rebote es óptimo. Para dar una idea del coeficiente de restitución, y por tanto, de plasticidad y elasticidad relativa de diversos materiales, puede estimarse un valor de k de 0,50 para la madera, de 0,56 para el acero, de 0,89 para el marfil, y de 0,94 para el vidrio.

Lógicamente, hay que tener en cuenta también la fragilidad de los materiales, y la geometría de los cuerpos, pero el reconstructor puede hacerse una idea de realizar algunas estimaciones mediante el coeficiente k , que explica, por ejemplo, por qué las bolas de billar deben tener un valor k alto. Los límites elásticos que provocan dislocaciones y deformaciones deben ser estudiados mediante tensores multidimensionales que se hacen muy complejos cuando no existen simetrías simplificadoras, y prácticamente imposibles si no se pueden reproducir en ensayos controlados.

Es extraordinariamente difícil utilizar este tipo de coeficientes indicadores con el cuerpo humano. La reacción, absorciones de energía, contusiones, incisiones o fracturas dependen de los huesos, masa muscular, órganos afectados o próximos a la piel, etc., y su gran sensibilidad a cualquier variación que sea imposible tener la certeza pericial de que un determinado siniestro vaya a ocasionar indefectiblemente unos daños previsibles.

En el estado actual de la tecnología, insistimos, son muy poco frecuentes las reconstrucciones en las que la dinámica analítica puede explicar y cuantificar por sí sola el daño corporal, pero sí que resulta de innegable utilidad en múltiples escenarios en los que el cuerpo humano está relativamente protegido o tiene considerablemente reducidos sus grados de libertad y movimientos.

Ingeniería para la reconstrucción de siniestros

Según lo visto, es extraordinariamente difícil precisar los valores que en cada paso pueden tomar las variables que representan la realidad, y más aún sus variaciones relativas, como en el caso de la velocidad a la que se produce el impacto.

Sin embargo, ésa es la misma esencia y el objetivo de la reconstrucción. Cuando el siniestro lo justifica, como es el caso de los accidentes con víctimas mortales, o los homicidios sin resolver con pruebas suficientes, es necesario hacer la estimación más precisa y mejor fundamentada al alcance del perito, de la parte perjudicada, y del juzgado.

Los elementos de estudio con los que se facilita la labor del investigador pueden ser cualquier tipo de huellas o deformaciones, los testimonios y, en definitiva, cuantas pistas e indicios puedan aportar objetivamente algo más a la prueba pericial.

Según el modelo matemático general, un perito puede encontrarse, o llegar a deducir, varias ecuaciones estáticas y dinámicas, según el escenario de los hechos. Es probable, y ciertamente muy frecuente, que no se disponga de suficientes ecuaciones para despejar las variables, o sus variaciones, en su momento dado. En estos casos, puede ser indemostrable o indeterminable lo que se

pide al perito. En otros, es posible que existan pistas o testimonios contradictorios, lo que fácilmente podría evidenciarse con dos ecuaciones que hicieran el sistema incompatible. Es decir, que alguna pista es falsa, o que alguno de los testimonios no es cierto o lo suficientemente preciso.

Un buen analista puede llegar a reducir alguna de estas contradicciones a un sistema de ecuaciones con dos incógnitas en los casos lineales más simples, o bien a familias de curvas en zonas de anchura aproximada, en las no lineales. La práctica de la ingeniería inversa, o de lo que podríamos denominar tecnología forense, facilita tanto la elaboración como la comprensión de estos estudios periciales.

Posteriormente, puede acabarse la reconstrucción dinámica de los hechos más relevantes, y si se considera conveniente, ilustrar adecuadamente el resultado.

Infografía, modelización y simulación de animaciones por ordenador y vídeo

Las nuevas tecnologías permiten hacer reconstrucciones virtuales de gran calidad. Recientemente han proliferado todo tipo de ofertas relacionadas con la prueba pericial documentada gráficamente, no siempre con la suficiente seriedad y profesionalidad, y en cualquier caso, deben estar sometidas al principio de contradicción, de forma que la parte así perjudicada tenga la oportunidad de hacer valer otros criterios más imparciales.

Por razones técnicas y de disponibilidad de material, lo más frecuente es elaborar un vídeo de menos de un minuto de duración que se visualiza en el juzgado o en el gabinete con medios audiovisuales. Así, el juez y las partes ven una reconstrucción esquemática y animada que puede resultar extraordinariamente útil en juicios de faltas de accidentes de tráfico con responsabilidad civil generalmente cubierta por compañías de seguros, o incluso reconstrucción de delitos como fueron popularizados en el espectacular caso de O. J. Simpson.

La ingeniería infográfica actual permite simular cualquier movimiento de cuerpos o fluidos modelizables, siendo particularmente sencillas las reconstrucciones de accidentes de pocos vehículos con trayectorias bien conocidas. Sin embargo, los grados de libertad, y por tanto la dificultad de la reconstrucción con precisión suficiente, aumenta de forma considerable si intervienen motocicletas, o si es necesario simular el movimiento violento de cuerpos humanos, o bien de objetos con geometría y distribuciones de masas mecánicamente articuladas de forma compleja.

Actualmente se dispone de recursos técnicos suficientes para abordar difíciles dictámenes. Sin ánimo de exhaustividad, pueden citarse:

- Workstation Unix, generalmente con tecnología Silicon Graphics, de gran capacidad, pero de alto coste, exigiendo una muy específica capacitación profesional.
- PCs con procesadores Intel (o bien AMD o Cyrix, y mejor aún, multiprocesadores) y MS-Windows NT con software como TrueSpace, LighWave o 3D Estudio Max. Requieren mucha memoria RAM (por encima de 64 Mbytes y a

veces es recomendable 128), grandes discos y tarjetas gráficas de alta calidad y última tecnología, así como destreza para la modelización para obtener un resultado de calidad aceptable.

– Software de libre distribución para el sistema operativo Linux, como es el caso de la excelente aplicación Geom-View completamente gratuita, y adaptaciones también gratuitas basadas en el potente lenguaje de programación gráfica OpenGL.

Por último, mucho más específicamente orientados a la reconstrucción de accidentes de tráfico, podemos encontrar varios tipos de programas que simulan automóviles circulando y colisionando. Por lo general, resultan mucho menos vistosos que los anteriores, incluso llegando a limitar sus representaciones a sólo dos dimensiones con esquemas muy básicos. Éste es el caso del programa SINRAT, elaborado por el Instituto de Investigación del Automóvil, de cierta utilidad para la Guardia Civil de Tráfico y la Policía Municipal, que han de realizar numerosos atestados con la mayor precisión posible.

Internet está facilitando las relaciones entre expertos reconstructores de todo el mundo que intercambian imágenes y procedimientos para mejorar las representaciones, pero todavía estamos muy lejos de normalizar el uso de herramientas y formatos infográficos para uso pericial.

En el actual estado del arte de la reconstrucción de siniestros, es evidente que la integridad, la experiencia y el talento del perito es mucho más determinante que la utilidad y calidad de cualquiera de los sistemas conocidos. De hecho, no resulta difícil encontrar piezas de mucha más convicción en informes elaborados sin ningún sistema informático, que en vistosas composiciones en videos de gran calidad. Incluso es posible, y ojalá que sea tenido en cuenta, que el exceso de celo, la sobreactuación y el alarde de recursos resulte contraproducente ante juzgados y tribunales.

Conclusiones

Aunque es previsible que la tecnología pericial incorpore los grandes avances para la elaboración de gráficos tridimensionales y su animación simulando comportamientos reales, han sido muy pocos los juzgados que han tenido experiencias periciales útiles en este sentido.

Por otra parte, es muy superior la capacidad tecnológica de las compañías aseguradoras que las de los particulares, por lo que deben aplicarse principios fundamentales del derecho, como el de contradicción de las pruebas, también a las simulaciones infográficas con las que las partes pueden intentar hacer valer su versión de los hechos.

La contraperitación, entendida como la posibilidad que la ley procesal ofrece a una parte a oponerse a las pruebas periciales aportadas por otra, puede ser absolutamente determinante en muchos casos en los que se le ofrezca al juez la visualización de una reconstrucción infográfica animada por ordenador o ya presentada en formato de video. El perito independiente o el de la parte contra-

ria que ha de evaluar la reconstrucción parcial debe tener tiempo, información y recursos técnicos suficientes para emitir su dictamen.

El autor considera mucho más prioritario el análisis dinámico, la ingeniería inversa y el estudio pericial que la animación basada únicamente en la aparente simulación cinemática, esto es, sin entrar a justificar el movimiento por las fuerzas que intervienen en el accidente, o en un crimen. Es, pues, la dinámica la que debe inspirar con la mayor precisión posible las ecuaciones del movimiento, y deben rechazarse las reconstrucciones meramente cinemáticas, por muy vistosas que resulten. Incluso es posible, y en ocasiones muy recomendable, la contrapertitución de la cinemática con argumentos basados en la dinámica analítica.

Técnicas modernas de reconstrucción de accidentes

Además de lo expuesto en el epígrafe anterior, se han de traer a colación tales técnicas, y reflexionar sobre su aplicación en la medida que pueda aprovechar a la cuestión tratada a estas páginas. Así, la *fotogrametría*, que consiste, en síntesis, en «efectuar mediciones exactas de un objeto a partir de fotografías del mismo», que en su variante fotogrametría terrestre ha demostrado su utilidad en la reconstrucción de los accidentes de tráfico, llevando al lugar del accidente vehículos especiales con incluso cámaras estereométricas, aunque también, con las nuevas técnicas desarrolladas, se pueden utilizar cámaras convencionales, y a ello hay que añadir las prestaciones que aportan los dibujos asistidos por ordenador (AUTOCAD, etc.). De esta forma, «la estimación de la velocidad a partir de las huellas de frenada está empezando a ser sustituida por la medición de las deformidades sufridas por los vehículos como fuente de información. La fotogrametría permite medir las deformaciones sufridas por los vehículos a partir de fotografías estereoscópicas. La evaluación se realiza en un estereocomparador analítico, con salidas numéricas en un formato compatible con los programas de cálculo»¹⁸. Estos datos también pueden ser de ayuda al médico para explicar la lesión, ya en sus características, gravedad o severidad, así por las características de la embestida y el conocimiento de la velocidad con que se produjo la misma, circunstancias que sin duda influyen muy decisivamente en el cuerpo de la víctima.

Recientemente, la reconstrucción del accidente de tráfico con medios informáticos ofrece múltiples posibilidades de cálculo y presentación visual. Tales medios, en general, se basan en elementos matemáticos y físicos de cálculo, realizando miles de operaciones por segundo con presentación en tiempo real en la pantalla, animación tridimensional, con posibilidad de elección de un modelo cinético o cinemático de cálculo, teniendo en cuenta múltiples variables sobre los vehículos y sus movimientos (geometría del vehículo, tipo de neumáticos, suspensión, carga del vehículo, distribución de la frenada, etc.).

¹⁸ Rossinyol Miralles J, La fotogrametría aplicada a la reconstrucción de accidentes de tráfico. *Mapfre Seguridad*, n.º 30, Madrid, 1988.

De cualquier modo, *es necesario advertir y aclarar* que la reconstrucción de los accidentes no es tarea sencilla, por lo general, teniendo que estar prevenido cuando se ofrezcan resultados demasiado optimistas, sin los requeridos fundamentos técnicos, por más que, sugestiva y cautivadoramente, se plasmen unas imágenes en animación, sin que de nada valga la invocación tangencial a misteriosas fórmulas (que luego, a veces, no aparecen por ninguna parte). Cada movimiento que se estima obedece a una ecuación, cuyo resultado va ligado a unas variables, cuya ausencia o alteración puede afectar de forma sustancial al resultado.

Tratándose de reconstrucción de accidentes con «humanos», las dificultades suelen ser mucho mayores que cuando los intervinientes son exclusivamente vehículos. Además, no se puede desconocer que con ocasión del accidente, de las circunstancias ligadas al accidente, se produce en gran número de casos un estado de desorden momentáneo en el que el sistema de la biología humana, en una situación verdaderamente caótica, reacciona de forma impredecible, difícil de explicar, rompiendo todo esquema preconcebido. Es conveniente considerar una ficha protocolaria para uso médico, anotando los datos de la interacción sujeto-vehículo-entorno a raíz del accidente de tráfico. No obstante, hay que aclarar que tal estado de desorden se refiere al preimpacto, ya que a raíz del impacto, cuando éste es de suficiente intensidad, el sujeto es incapaz de generar movimientos que puedan influir en las consecuencias de la aceleración o desaceleración, o, en el mejor de los casos, tal influencia sería mínima. Pero ya hecha tal reserva, hay que pensar en lo aleatorio que puede ser un accidente según la rigidez muscular previa, y, en general, dada la posición de defensa que adopte la persona en los instantes antes del accidente (esto es, en el preimpacto). Aunque, por otra parte, no se puede desconocer que las animaciones por ordenador, a partir de técnicas de simulación, fundamentadas en leyes y principios físicos, cada vez se perfeccionan más¹⁹.

Considérese igualmente, dentro del preimpacto, que la *postura de defensa* toma especial relevancia en el impacto frontal (que es uno de los que más se estudia con maniqués en condiciones experimentales), mientras que, en condiciones reales, en el impacto lateral y posterior el cuerpo es más inerte, el ocupante es sorprendido de forma más desprevenida, con escasa o nula capacidad de reacción durante tal preimpacto, de forma que la postura de defensa se da mucho más atenuada, o incluso no se presenta. De esta forma, hay que considerar la rigidez postural previa al impacto, así como todos los movimientos, cadenas cinemáticas, y, en general, la posición y postura de defensa que la víctima del accidente puede, o pudiera, desarrollar en el preimpacto. En este orden hay que plantearse lo aleatorio que puede ser un accidente según la actitud y posición de defensa establecida por la víctima en el preimpacto. No ocurre así en el impacto propiamente dicho, como se acaba de indicar, pues, dada la intensidad y violencia de las fuerzas actuantes, el sujeto es incapaz de generar movimientos que puedan influir en las acciones de las altas aceleraciones y desaceleraciones que se pro-

¹⁹ Sobre la animación del movimiento humano por ordenador puede consultarse un interesante artículo en la revista *Investigación y Ciencia*, n.º 260, mayo 1998. Barcelona, Prensa Científica, S.A.

Hidden page

cada situación. En consecuencia, los modelos, junto con sus resultados generados en estas circunstancias, son siempre discutibles, incompletos, y su convalidación es a veces más un deseo que una realidad. Esto hace pensar que en la reconstrucción de accidentes de tráfico se han de considerar dos situaciones extremas: aquellas que responden a casos en los que será posible llevarlas a término, dado que se dispone de datos y referencias suficientes, así como de elementos técnicos indispensables para ello; y, como contrapunto, hechos de la circulación que, acaecidos en su momento, no es posible ahora reconstruir; y entre ambos extremos cabe toda una gama de posibilidades. Tal razonamiento lleva a pensar que habrá que distinguir con claridad entre lo que es una reconstrucción auténtica, fidedigna y demostrada, frente al planteamiento de hipótesis de reconstrucción, con distintos grados de certeza, y, obviamente de duda, a partir de una relación presumida, probable o posible.

Por otra parte, la reconstrucción de accidentes no se ha de convertir en una tarea obsesiva, o como medio para desviar o atenuar responsabilidades, cuando el nexo causal, sobre una orientación razonada, se muestre hartamente evidente, prueba, por otra parte, cuya carestía requiere un potencial económico que no todo el mundo puede soportar. Otras veces, sin embargo, la reconstrucción, más que un interés sobre el nexo causal, ha de operar en un orden de profundizar en la investigación de determinados mecanismos lesionales, y orientar sobre patrones cinemáticos que ayuden a comprender mejor esta patogénesis lesional. Hay que pensar en la posibilidad de que en un futuro no muy lejano, sistemas de videofilmación vengán incorporados a los propios vehículos, con capacidad para activarse a raíz de un impacto, lo cual, junto a otros sistemas de recogida de datos, vengán a actuar como auténticas «cajas negras» en caso de accidente automovilístico (no sin desconocer, en este pensamiento futurista, y al margen de su coste, los enormes problemas técnicos que conlleva, en especial adaptar en tiempo real la respuesta de los sistemas de video-registro con el momento del impacto).

Dejando ya este comentario, como se indicaba, existen en la actualidad programas de ordenador que intentan estudiar lo que ocurre en el vehículo y ocupantes del mismo a raíz del impacto. Los movimientos relacionados con la aceleración, y otros aspectos en los que se ve implicado el vehículo, pueden ser estudiados con programas como el desarrollado por el ingeniero austriaco H. Steffan (PC-CRASH, referido a los vehículos).

Por su parte, el Instituto Universitario de Investigación del Automóvil (INSIA), de la Universidad Politécnica de Madrid, ha desarrollado un sistema informático del accidente mediante el programa SINRAT (sistema informático de reconstrucción de accidentes de tráfico). Dicha herramienta informática incorpora un modelo de 14 grados de libertad para cada uno de los vehículos involucrados, mediante el cual se simula la dinámica vehicular durante las fases de precolisión, colisión y postcolisión. Al mismo tiempo está dotado de un modelo de colisión entre vehículos, con el cual se estima las deformaciones generadas durante el contacto entre los vehículos involucrados. La reconstrucción con esta herramienta informática se fundamenta en una fase previa de recogida de información en el lugar del accidente, así como de análisis de las

deformaciones presentes en los vehículos participantes en el accidente. La información procedente de esta fase, así como los resultados obtenidos de la reconstrucción se presentan de forma animada sobre la pantalla del ordenador.

Sin embargo, en lo que interesa a los ocupantes se precisa disponer de otro tipo de herramientas, que se fundamentan, en términos generales, en estudios de aceleración y deceleración que sufre el ocupante, y de las fuerzas y compresiones, que se proyectan y actúan sobre distintas partes de la economía humana (raquis, tórax, extremidades inferiores, etc.). Tal análisis se puede estandarizar con el uso de maniquíes, como, por ejemplo, el HYBRID III; y, aunque el comportamiento de tales maniquíes no es exactamente igual que el de un ser humano ante tales situaciones, el caso es que se logran resultados bastante buenos en lo que interesa a la reconstrucción a que se viene haciendo mención.

En Insurance Institute for Highway Safety (IIHS, instituto de seguros para la seguridad en la carretera), de los EE UU, trabaja con dos programas para estimar la variación de velocidad en que se ve implicado el vehículo; ambos programas, *CRASH3* y *SMASH*, consideran en el vehículo dañado la energía cinética disipada a raíz del impacto.

Durante los últimos años el INSIA ha realizado un importante esfuerzo para el desarrollo de herramientas informáticas en el terreno de la simulación de los accidentes de tráfico. En este marco, se ha podido desarrollar un paquete informático denominado SIVAT (o Simulador de Víctimas de Accidentes de Tráfico), cuyas características generales se exponen ahora tal como sigue²¹.

El SIVAT es un programa informático que incluye todas las herramientas necesarias para la simulación dinámica de mecanismos tridimensionales, especialmente diseñado para modelizar personas, vehículos y elementos de seguridad pasiva en accidentes de tráfico. Incluye todas las herramientas necesarias para la generación de modelos tridimensionales, la obtención e integración automática de las ecuaciones diferenciales de la dinámica en 3D y el postproceso y análisis de los resultados obtenidos.

El programa SIVAT tiene la flexibilidad necesaria para poder modelizar el cuerpo humano y los maniquíes de impacto *dummies* con segmentaciones diferentes. La segmentación mínima para conseguir un grado de precisión aceptable se representa en la Figura 12.1, pudiendo observar que el modelo está compuesto por 15 sólidos y 14 articulaciones, con un total de 48 grados de libertad.

Los 15 sólidos en que se divide el cuerpo humano son:

- Cabeza, cuello.
- Tórax, abdomen y pelvis.
- Brazo izquierdo, antebrazo izquierdo.
- Brazo derecho, antebrazo derecho.
- Muslo izquierdo, pierna izquierda, pie izquierdo.
- Muslo derecho, pierna derecha, pie derecho.

²¹ Según Martínez L., Vera C., INSIA (Instituto de Investigación del Automóvil, Universidad Politécnica de Madrid), INDUTEC, VI Semana de la Ingeniería Industrial, marzo, 1998.

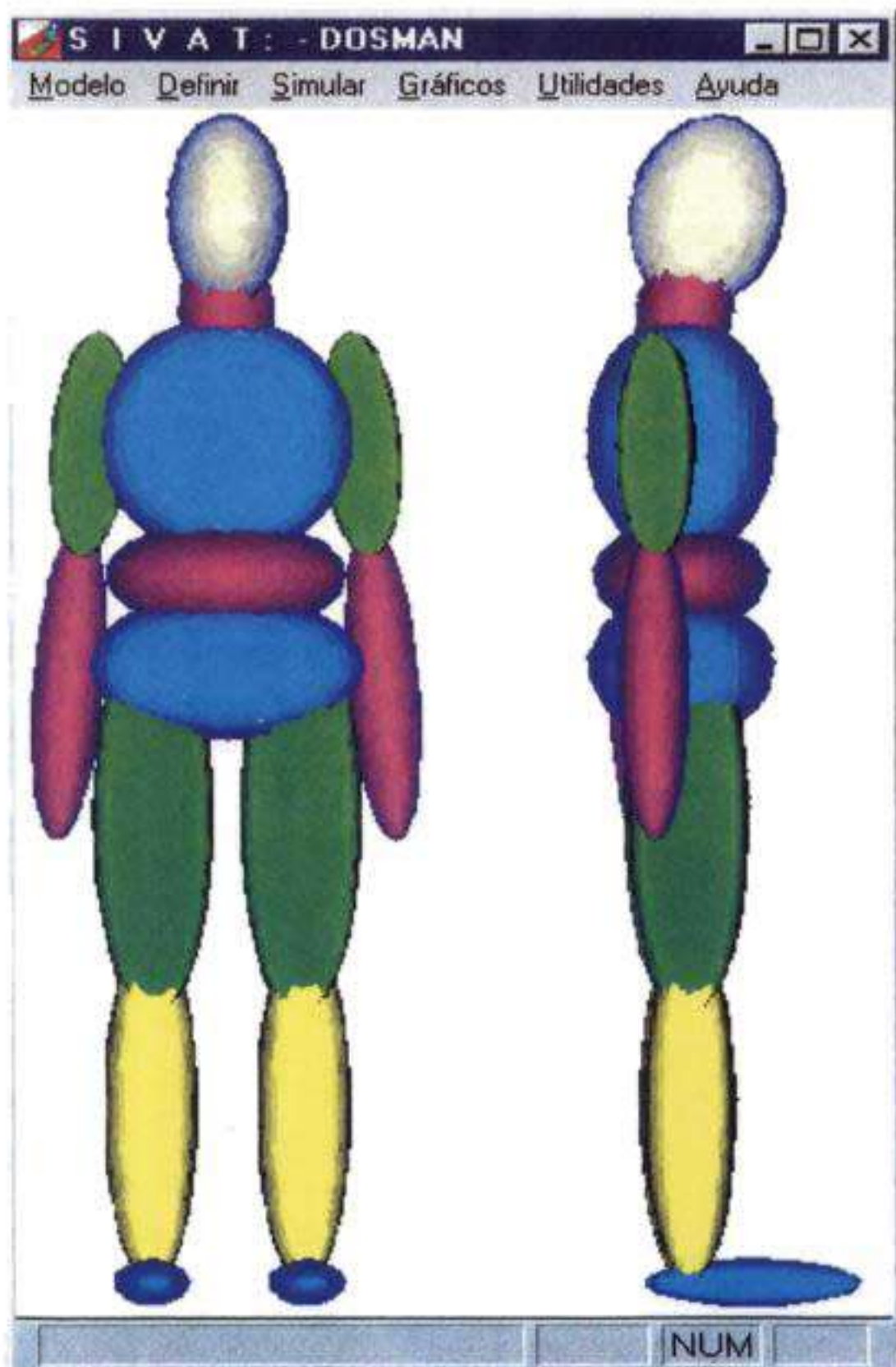


Figura 12.1.

Dichos sólidos se unen mediante las siguientes 14 articulaciones, con diferentes grados de libertad:

- Occipitoatloidea, cervical inferior.
- Hombro izquierdo, codo izquierdo.
- Hombro derecho, codo derecho.
- Dorso-lumbar, lumbosacra.
- Cadera izquierda, rodilla izquierda, tobillo izquierdo.
- Cadera derecha, rodilla derecha, tobillo derecho.

En función del tipo de choque a reproducir y de las necesidades de evaluación de las lesiones en los ocupantes, la segmentación puede variar sustancialmente. En la actualidad el INSIA está desarrollando la base de datos para un nuevo *dummy* de impacto frontal (dentro del proyecto europeo ADRIA, encargado por el EEVC, en el que colaboran seis países de la Comunidad Europea, representados por instituciones tan prestigiosas como TNO y TRL). La segmentación elegida para modelizar el nuevo *dummy* está formada por 39 sólidos unidos mediante 38 articulaciones y con un total de 120 grados de libertad.

La estructura interna del modelo está formada por elementos rígidos unidos mediante articulaciones para formar su esqueleto. El número de articulaciones que pueden unirse a cada sólido es variable. Se utilizan sólidos con una única articulación como en el caso de los pies, y sólidos con varias articulaciones como en el caso del tórax. Posteriormente a cada sólido se le puede aplicar una geometría externa que permitirá calcular al programa los esfuerzos que aparecen durante los impactos. Para desarrollar el algoritmo de cálculo dinámico se ha empleado la técnica de *bond graph*.

El programa SIVAT está preparado para incluir diferentes tipos de esfuerzo y modelos de contacto.

En los *modelos de esfuerzo* se engloban los siguientes cuatro grupos:

- Cambio de aceleraciones.
- Esfuerzo en articulaciones.
- Contacto entre sólidos.
- Elementos de restricción.

Para *modelizar el contacto* entre sólidos se ha realizado un importante esfuerzo de desarrollo para permitir modelizar de una forma flexible los impactos más importantes que aparecen en los accidentes de tráfico. Para evaluar los esfuerzos de contacto el programa calcula automáticamente las interferencias que existen entre diferentes geometrías; el proceso de cálculo se realiza en tres etapas claramente diferenciadas:

- Cálculo geométrico de interferencias entre sólidos.
- Cálculo cinemático de velocidades relativas al contacto.
- Cálculo dinámico de esfuerzos.

Se han desarrollado también modelos de simulación mediante análisis con computadora (ATB, actualmente GATB)²², para el estudio y previsión de las lesiones de los viajeros del vehículo a raíz del impacto, para predecir la dinámica del ocupante y lograr así una aproximación al mecanismo de las lesiones. El modelo ATB es un programa de ordenador tridimensional, utilizado como herramienta para la reconstrucción de los accidentes de tráfico, con particular atención a las lesiones de los ocupantes del vehículo. Así, en relación con un caso concreto (vuelco, con expulsión al exterior del acompañante del conductor), se siguió la siguiente sistemática de trabajo:

a) Descripción del accidente y de las lesiones (con información general sobre los ocupantes).

b) Modelos de ocupantes y simulacros:

- Definición del interior del vehículo.
- Movimiento preescrito del vehículo: incluye el suceso completo, empezando con el momento de colisión hasta el lugar final del vehículo, con intervalos de 0,002 seg.
- Modelo y simulacro del conductor*.
- Modelo y simulacro del acompañante.

c) Análisis de los resultados del simulacro (del conductor y del acompañante) —con fotogramas de cada 0,002 seg— considerando:

- Vista gráfica del simulacro.
- Aceleración lineal y angular, desplazamiento y energía cinética de cada segmento.
- Fuerzas y momento de torsión de las articulaciones.
- Fuerzas de contacto plano/segmento y segmento/segmento.
- Fuerzas del cinturón.

Los autores de este trabajo, con el sistema ATB, indican que, «en general, los simulacros proporcionan resultados realistas. Aunque puede que no reconstruyan con exactitud los sucesos del accidente, sí dan el comportamiento probable de los ocupantes, que puede servir en estudios de parámetros de investigación de las contramedidas de las lesiones. La fiabilidad del simulacro está en función de

²² *ATB model simulation of a rollover accident with occupant ejection*, Hunning Cheng y Annette L. Rizer (Systems Research Labs), Louise A. Obergefell (Department of the Air Force). Accident Reconstruction. Technology and Animation (V). SAE, SP-1083, febrero 1995.

* Para el estudio del comportamiento de los ocupantes se han de considerar distintos segmentos, representados por la cabeza, cuello, torso superior, medio e inferior, las extremidades superiores (incluyendo las manos), extremidades inferiores y pies. Los datos de las propiedades de inercia, geométricas y del torque de la articulación resistente para estos segmentos se computan con el programa GEBOD —*Generator of body data*— («generación de sujetos», en atención a un determinado percentil), basados en la estatura y peso; este programa genera grupos de datos de ensayo de los seres humanos (niños, mujeres y varones adultos), y son necesarios para el input ATB. Se diseñan 17 regiones (tórax, pierna, mano, etc.), con «sólidos rígidos» (para ver el comportamiento dinámico), y se manejan entre 1.500 a 2.000 parámetros. Los «sólidos rígidos» constituyen una forma tradicional de trabajo en este terreno, frente a los «elementos finitos» —*FEM, finite element method*—, «mallas», que permiten «discretizar» una estructura tanto como se quiera, o puntualizar en determinados niveles (aunque una mayor pormenorización supone más tiempo y más coste).

Hidden page

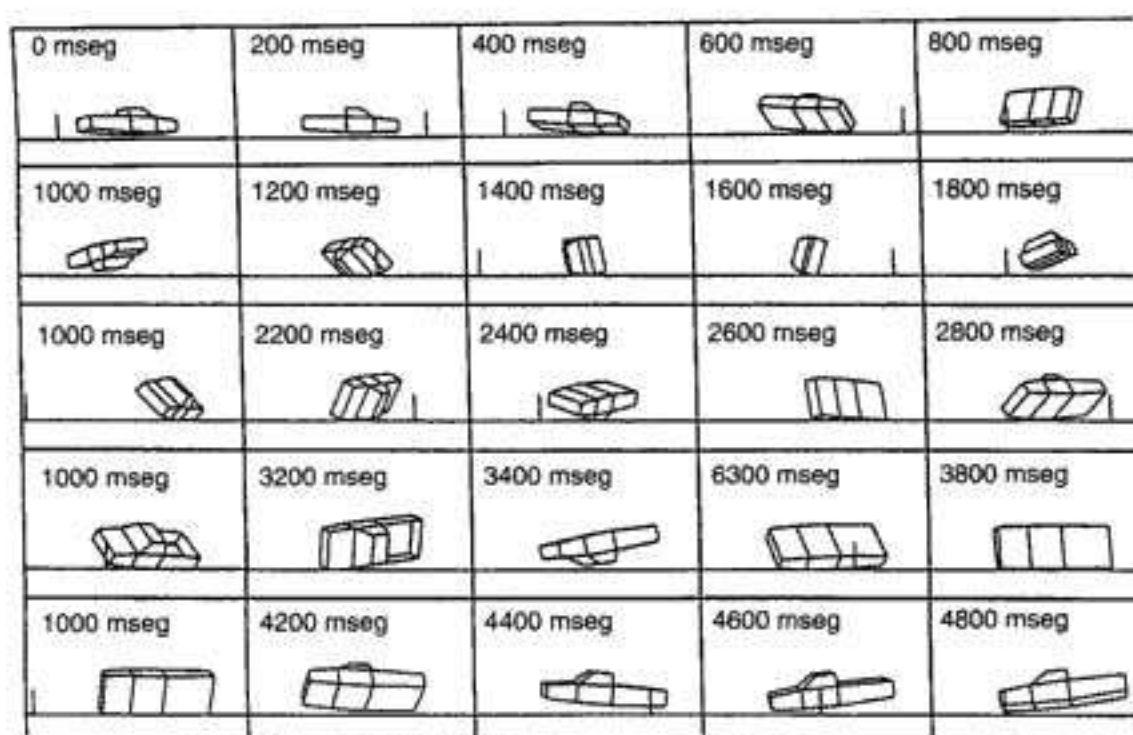


Figura 12.3. Simulación del accidente del vehículo (ATE).

MADYMO ayuda al investigador en la reconstrucción del accidente, proporcionándole un conocimiento acerca de los movimientos del vehículo o/y de los ocupantes.

La reconstrucción del accidente de automóvil con MADYMO, ha de realizarse siguiendo unos criterios de actuación que, de forma resumida, se indican a continuación²⁴, considerando los siguientes aspectos:

- Movimiento del vehículo y de los ocupantes.
- Análisis de las lesiones de los ocupantes, lo que a su vez plantea las siguientes preguntas:
 1. ¿Cómo se lesionan las víctimas?
 2. ¿Qué contacto provocó la lesión?
 3. ¿Llevaban puesto el cinturón de seguridad?
 4. Si así es, ¿qué efecto tenían los cinturones?
 5. Si los ocupantes fueron expulsados, ¿cuál fue su trayectoria?

Para poder llegar a conocer los complejos movimientos, es preciso considerar distintos parámetros, como las masas, los momentos de inercia, los movimientos de las articulaciones, etc.; conocer cómo interactúan los cinturones, el efecto del funcionamiento del *airbag*, etc. Por otra parte, existen varios bancos

²⁴ Según notas tomadas del trabajo de David A. Renfroe Ph D, PE, Joe Partain BSME, Renfroe Engineering, Inc., Información facilitada por TNO Crash-Safety Research Centre, Delf-Holanda, 1998.

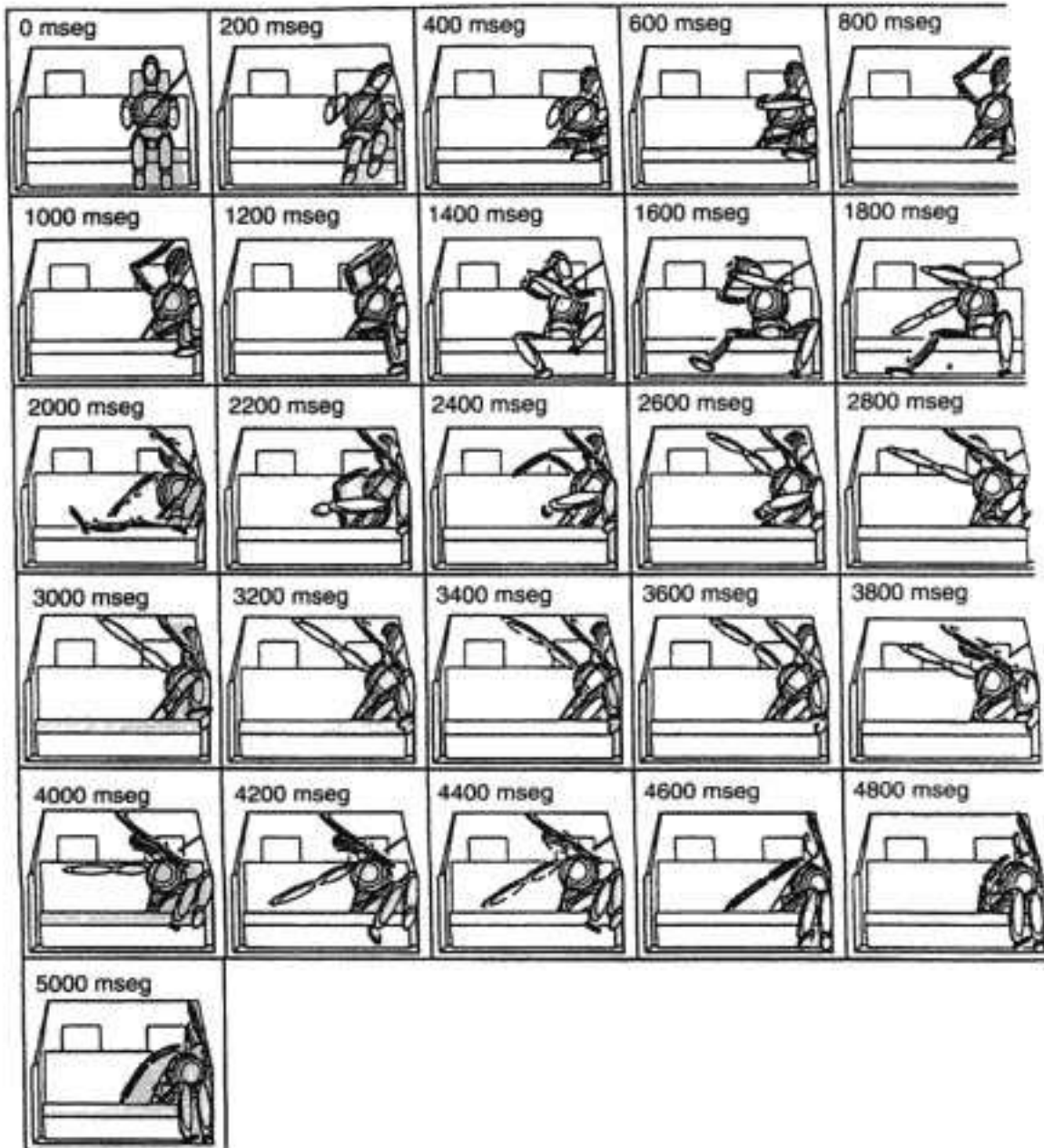


Figura 12.4. Simulación del accidente del conductor con cinturón de seguridad (ATB).

de datos elaborados sobre modelos antropomórficos, en los maniquies. Se puede emplear el GEBOD, si hace falta disponer de mediciones muy específicas, aunque GEBOD exige una atención especial a los límites de movimiento de las articulaciones (límites que no se tratan en este trabajo).

Como resultado de ello, se obtiene un *output animado*, que permite al usuario que «vea» el accidente, permitiendo así una investigación acelerada de la cinemática del ocupante. Usando un *post-procesador*, como EASI-MAD, View o MotonView, los complejos resultados numéricos se pueden ver en la animación. Al plantear situaciones hipotéticas para que sean adecuadas las variables

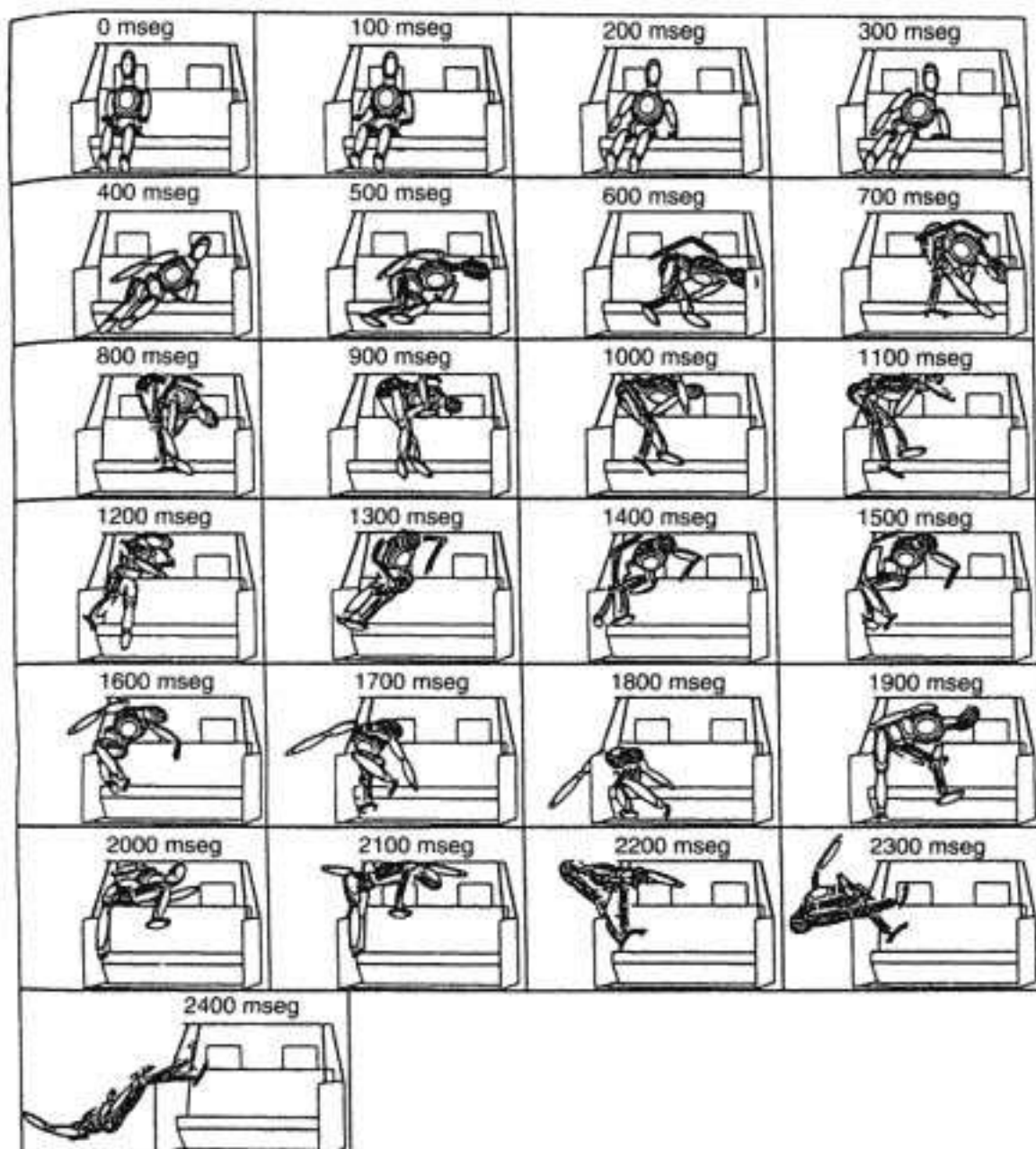


Figura 12.5. Simulación del accidente del ocupante sin cinturón (ATB).

del *input* respecto a los movimientos verdaderos, la idoneidad resulta clara, ya que se pueden comparar los resultados del modelo con los reales.

En concreto, para proceder a la reconstrucción mediante MADYMO se han de seguir estas fases:

1. Determinar el movimiento del vehículo.
2. Elegir el modelo de ocupante.
3. Incluir los tableros e interiores del vehículo.
4. «Modelar» los movimientos.

Hidden page

TABLA 12.2

Dimensión	Dimensión
0. Peso.	16. Anchura de las caderas (erguido).
1. Estatura (erguido).	17. Longitud de hombro-codo.
2. Altura del hombro.	18. Longitud del antebrazo-mano.
3. Altura axila.	19. Circunferencia del bíceps.
4. Altura cintura.	20. Circunferencia del codo.
5. Altura sentado.	21. Circunferencia del antebrazo.
6. Longitud de la cabeza.	22. Circunferencia de la cintura.
7. Anchura de la cabeza.	23. Altura de la rodilla (sentado).
8. Medidas de la barbilla-cabeza.	24. Circunferencia del muslo.
9. Circunferencia del cuello.	25. Circunferencia de la pierna (sup.).
10. Anchura de los hombros.	26. Circunferencia de la rodilla.
11. Profundidad del pecho.	27. Circunferencia de la pantorrilla.
12. Anchura del pecho.	28. Circunferencia del tobillo.
13. Profundidad de la cintura.	29. Altura del tobillo (exterior).
14. Anchura de la cintura.	30. Anchura del pie.
15. Profundidad de las nalgas.	31. Longitud del pie.

El vehículo se representa al dibujar las superficies de contacto alrededor del centro de gravedad. Esto permite que se aplique fácilmente el pulso de la aceleración. Durante esta fase, si se usa un preprocesador, se pueden ver las dimensiones. La Figura 12.6 muestra los primeros pasos para generar los planos ESA-DIMAD; la Figura 12.7 muestra el vehículo ya terminado.

Después de dibujar el vehículo, se coloca el maniquí, lo que se hace rápidamente con el preprocesador. Se disponen visualmente los cuerpos en los sitios adecuados; igualmente se coloca el cinturón de seguridad, empleando dimensiones que estén medidas; y todo esto se puede comprobar a medida que se va desarrollando el modelo.

A continuación se incidirá sobre la rigidez de las superficies, que es mejor calcularlas directamente. Se intentará usar un bloque de contacto similar a los contactos esperados del modelo. Por ejemplo, para el cojín del asiento, se usa un bloque de la zona inferior del torso, para comprimir el asiento. La fiabilidad de los resultados depende de las medidas precisas de las superficies de contacto durante la carga y descarga. En la Figura 12.8 se muestra una foto de la parte inferior del torso y del aparato de medir.

Los cinturones se modelan con el cinturón estándar. Si se prevé que el cinturón va a deslizarse por el cuerpo durante el choque, debe emplearse el cinturón FE; también el tiempo para computar puede ahorrarse usando la configuración del cinturón estándar. Se modela especificando los lugares de fijación, sitios de contacto del maniquí, porcentaje de elasticidad del cinturón, y muchas variables retractoras, pretensionales, etc., si hace falta.

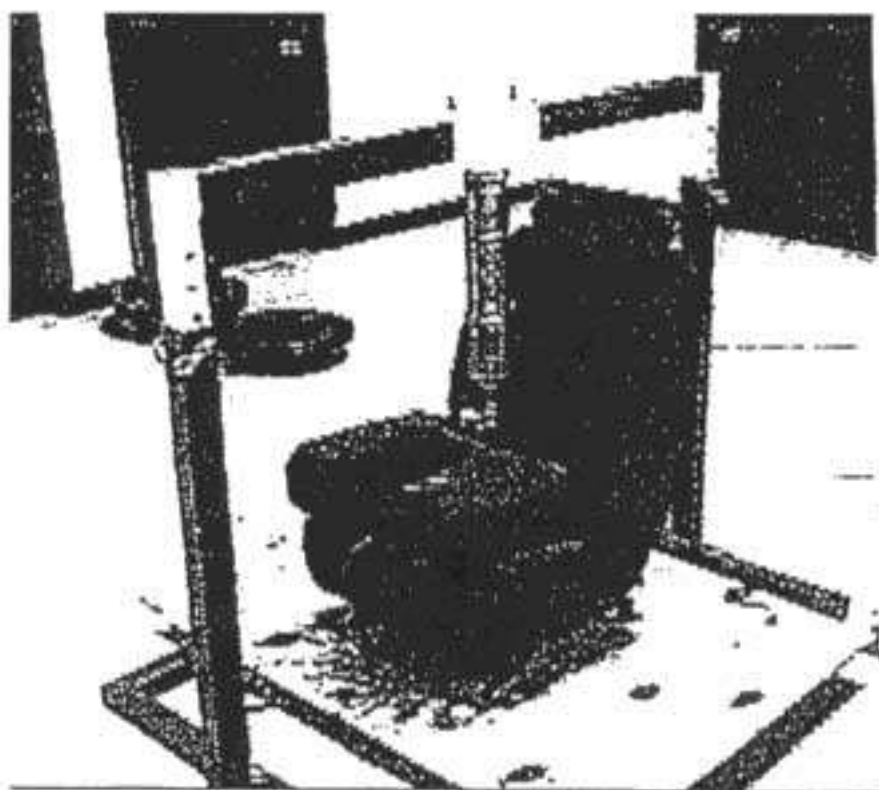


Figura 12.8. Fotografía de aparato para el test.

Modelar

El modelo de reconstrucción es similar a otros modelos. Simplemente se escogen los específicos parámetros del *output* que se necesitan.

Como ejemplos de reconstrucción con MADYMO, se pueden observar las siguientes figuras, correspondientes a un efecto submarino del ocupante, durante un choque frontal (Figs. 12.9 y 12.10), y la trayectoria del ocupante (con eyección del mismo) a raíz de un vuelco (Fig. 12.11).

«CRASHWORTHINESS» Y SEGURIDAD PASIVA

Antecedentes²⁵

Las consecuencias negativas del aumento del parque automovilístico, en especial a lo que a accidentes se refiere, ha obligado a los organismos gubernamentales e internacionales a esforzarse para incrementar las condiciones de seguridad de los vehículos.

²⁵ Con anotaciones tomadas de *Enciclopedia Espasa*, o. c., suplemento 1969-1970.

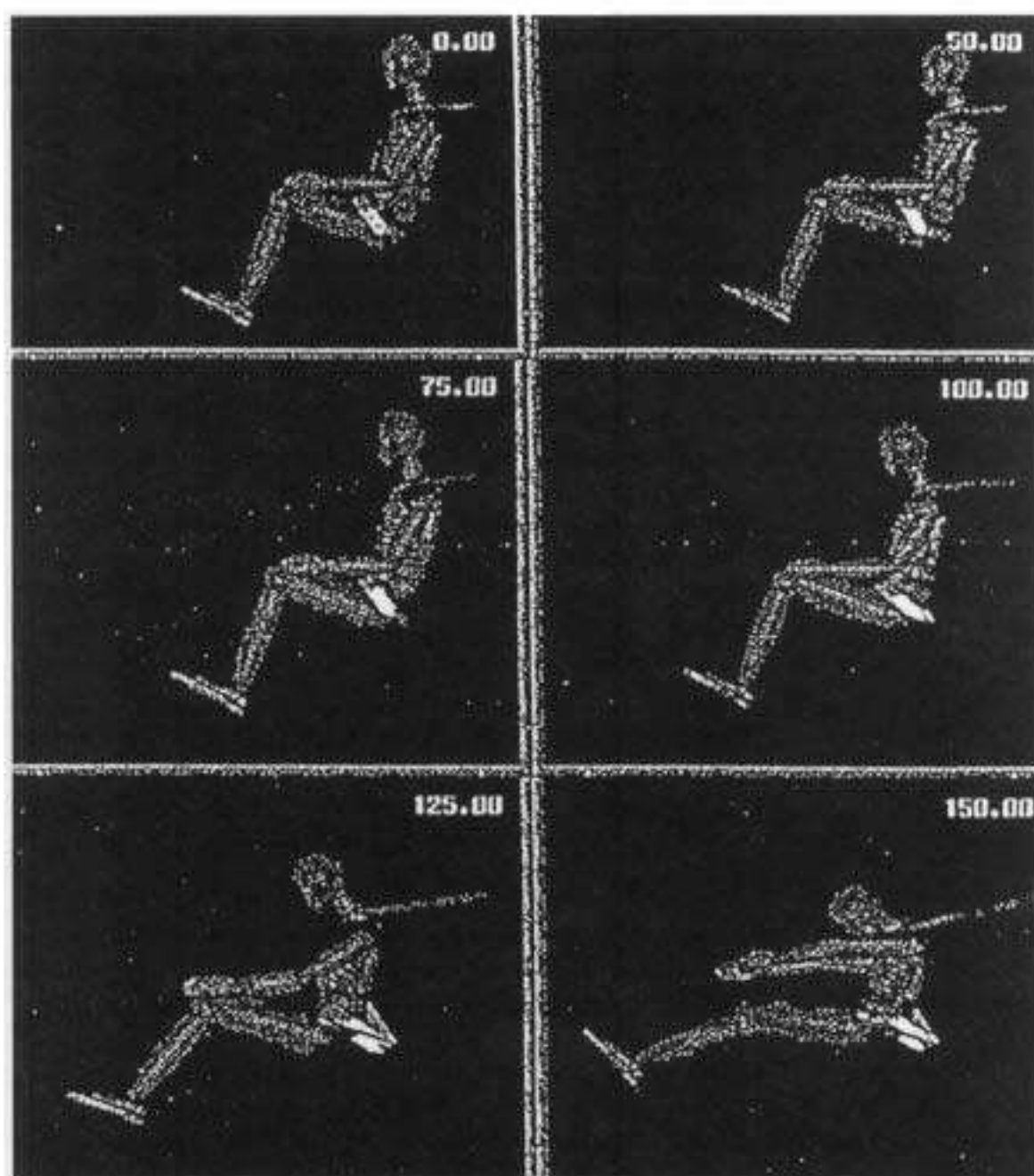


Figura 12.9. Efecto submarino durante un choque frontal.

Pero es en los Estados Unidos donde han mostrado una especial preocupación en este terreno, definiendo reglamentos que cada vez son más exigentes, en particular a partir de 1966, y que después tienen repercusión en todo el mundo. El organismo que entiende de esta materia es la National Highway Traffic Safety Administration (NHTS –Administración Nacional para la Seguridad del Tráfico en la Carretera–), que a su vez se apoya en la Traffic and Motor Vehicle Safety Act de 1966, desde cuya publicación se han promulgado decenas de reglamentos conocidos por Federal Motor Vehicle Safety Standards (FMVS).

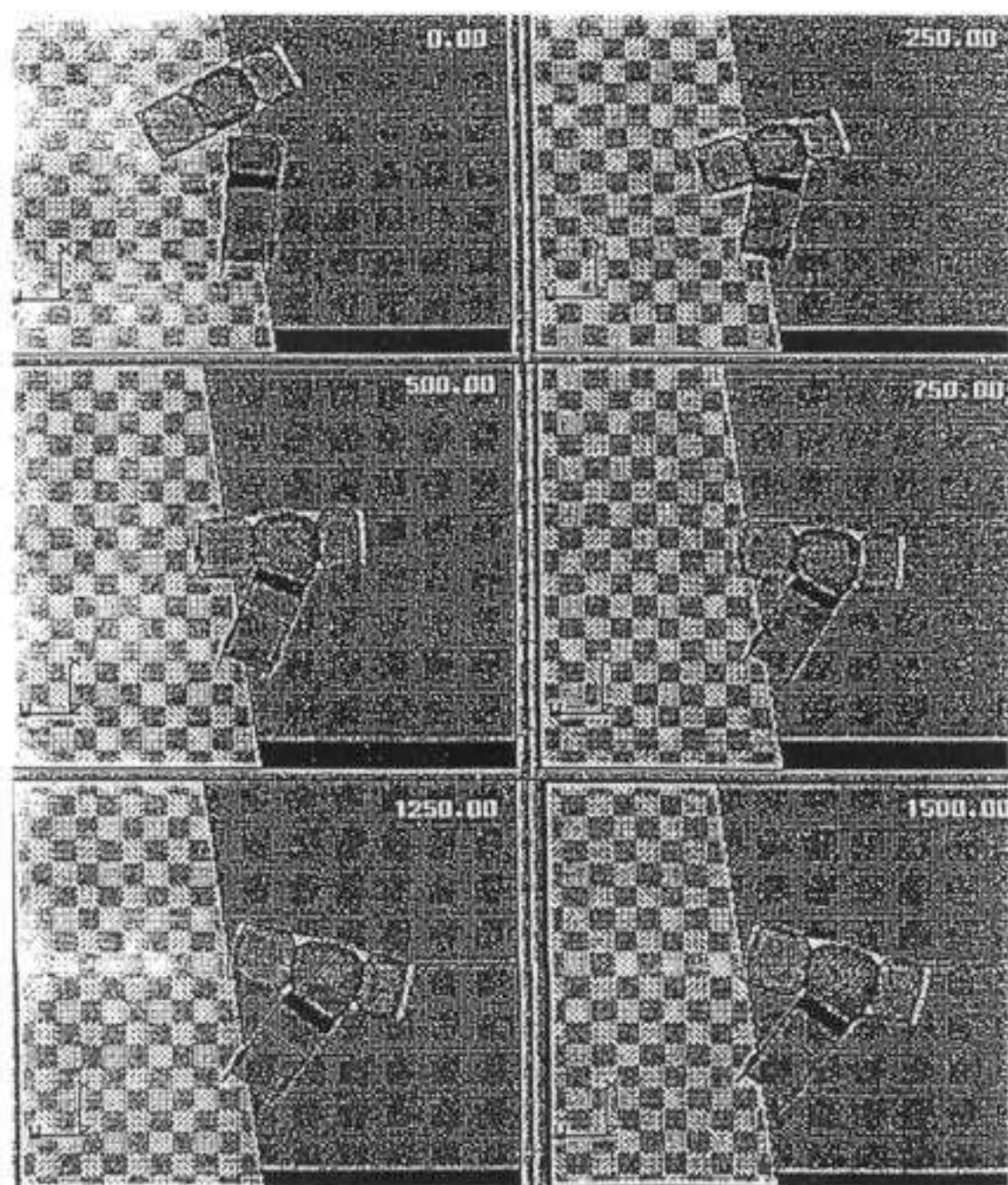


Figura 12.10. Reproducción de un choque.

Estos reglamentos son tan exigentes que han originado gran preocupación entre los constructores. Téngase en cuenta que el reglamento 208, por ejemplo, exige que los ocupantes de un vehículo que marcha a 50 km/hora y choca frontalmente no sufran daños graves, aunque no hayan usado ninguna medida de seguridad activa, como pueden ser los cinturones.

A medida que se han ido aplicando medidas de seguridad en las carreteras, vehículos y peatones, el número de víctimas por accidentes de tráfico se ha ido reduciendo.

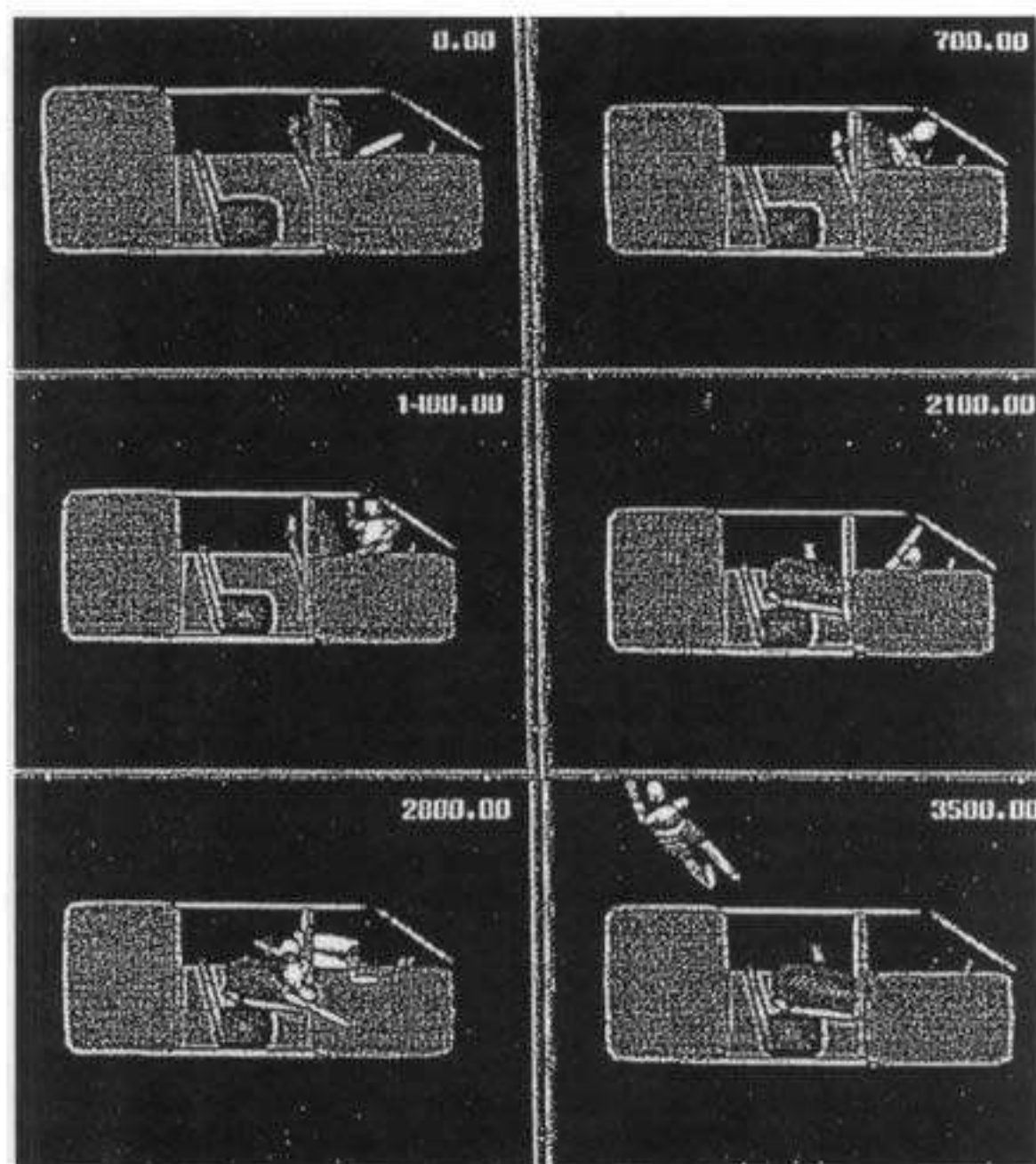


Figura 12.11. Trayectoria del ocupante y eyección del mismo con ocasión de un vuelco del vehículo.

Al estudiar el problema de seguridad, se define como *seguridad activa* la que se preocupa de evitar o disminuir la gravedad de los accidentes, y como *seguridad pasiva* la que consigue limitar las consecuencias físicas para los ocupantes u otras personas. El proyecto y diseño de los automóviles queda influido por el objetivo de alcanzar la mayor seguridad práctica en ambos campos. Si bien el argumento de la «seguridad» hace años no era muy comercial, en la actualidad está tomando mayores cotas de interés por parte de los consumido-

res y las organizaciones que los defienden, y esto hace que las marcas vayan tomando sus precauciones en este campo.

Aunque hay diversas escuelas, el método que se sigue normalmente para orientar los reglamentos se basa esencialmente en la investigación del comportamiento del vehículo mismo y de sus ocupantes durante y después del accidente, sea éste en un choque frontal, lateral, posterior o vuelco. Para ello se simulan accidentes con vehículos normales o con partes de ellos, procurando reproducir las condiciones reales. En estos experimentos se colocan, en algunos casos, elementos que reproducen el cuerpo de los ocupantes, lo que representa dificultades no sólo técnicas sino de muchos órdenes.

La complejidad del cuerpo humano es enorme y no basta medir las aceleraciones a que se verían sometidas sus distintas partes, sino, por ejemplo, el comportamiento del sistema nervioso después de verse sometido a ellas. Por ello en los experimentos se colocan a veces maniqués, pero otras veces las experiencias se han realizado con cadáveres²⁶, con monos, e incluso con hombres vivos (que se ofrecen voluntarios para ello). No hay duda que los experimentos realizados con estos últimos ofrecen muchos más datos, pero quedan limitados a velocidades que no ofrecen peligro grave dadas las condiciones en que se efectúan; generalmente limitadas a 50 km/hora.

Las heridas que pueden recibir los ocupantes de un vehículo provienen, generalmente, de la intrusión de partes del mismo, sea normalmente interiores del habitáculo —como por ejemplo la columna de dirección— o incluso exteriores al mismo vehículo —obstáculos externos u otro vehículo, o proyección al exterior de los ocupantes mismos—. Cuando se desea estudiar el efecto de un choque a velocidades importantes, en las que interviene la inercia y resistencia de los distintos elementos del choque, no hay otra vía más que actuar sobre automóviles completos, aunque sea para estudiar solamente el comportamiento de elementos aislados, ya que debe reproducirse la ley de deceleración que ocurre en la realidad al chocar y deformarse el automóvil.

Como ya se ha dicho, el aplastamiento de un automóvil en un choque es del orden de un centímetro por cada km/hora de velocidad y dura unas 7 centésimas de segundo; las fuerzas originadas en este brevísimo tiempo llegan a ser de 3.000 kg sobre los anclajes si el automóvil va a 50 km/hora; a 100 km/hora esta fuerza no sería menos de los 4.500 kilos.

Las nuevas orientaciones para la construcción de automóviles más seguros ante un eventual impacto discurren bajo criterios de *deformidad controlada*, llegando incluso a que sea posible la destrucción periférica de la carrocería, tratándose así de que la energía cinética desencadenada a raíz del choque se vea absorbida al máximo. Antiguamente se fabricaban estructuras muy rígidas, queriendo con ello imprimir la máxima resistencia a la caja del automóvil; hoy día

²⁶ En Francia ha provocado indignación saberse que se han utilizado cadáveres de dos niños en pruebas de seguridad vial. Según el profesor C. Got, «estos experimentos aportaron enseñanzas que es imposible conseguir de otra manera, ya que los maniqués antropomórficos son demasiado rígidos y no permiten conocer toda la realidad». (Ref. ABC, 21-4-98).

los criterios han cambiado, en especial en los últimos 5-10 años, pues se pretende que la periferia del vehículo amortigüe al máximo el golpe, preservado al máximo el interior del habitáculo (incorporando el concepto de «habitáculo de supervivencia»).

De este modo, los vehículos modernos absorben mucho mejor la energía cinética que los basados en concepciones clásicas de rigidez de la carrocería, pensando que si aumentaban la resistencia del conjunto se vería favorecida la seguridad pasiva. De este modo, no es tanto el grado de intrusión lo que interesa, sino la manera en que a raíz de esa intrusión se absorbe la energía cinética, y su repercusión sobre los ocupantes: respuesta de la estructura de los vehículos ante tales exigencias de seguridad pasiva y funcionamiento correcto de los demás sistemas que contribuyen a definir la anterior.

Concepto

Crashworthiness quiere indicar hasta qué punto un vehículo protege al ocupante en un choque. (Esto es, el término incide en el efecto protector ante el aplastamiento, sobre la capacidad de acogida, amparo, capaz de dispensar el vehículo.)

Además del concepto, se van a considerar los siguientes apartados²⁷:

- Test de choques frontales.
- Elementos de evaluación de los vehículos.

El Insurance Institute for Highway Safety –IIHS– (Instituto de los Seguros para la Seguridad en la Carretera) de los EE UU toma en consideración distintas estimaciones para llevar a cabo esta evaluación, y con distintos tipos de vehículos (automóviles de lujo, de tipo medio, todo terreno, etc.).

Test de choques frontales

Los vehículos actuales, en general, suelen estar diseñados para ser más resistentes que los de antes. A pesar de ello, el choque frontal sigue siendo una causa importante de muerte en las carreteras (alrededor de unos 30.000 ocupantes mueren al año en las carreteras estadounidenses, la mayoría en choques frontales).

El principal componente de la evaluación en cada vehículo es su rendimiento en un test de choque frontal *offset* (esto es, una colisión frontal excéntrica), a 40 millas por hora (unos 64 km/hora).

Desde los años setenta, el Federal New Car Assessment Program (programa federal de valoración de nuevos vehículos) viene utilizando en sus estu-

²⁷ De acuerdo con la información facilitada por el Centro de Investigación del automóvil, del IIHS (Insurance Institute for Highway Safety, de los EE UU), recibida en diciembre/97.

dios de investigación el *crashworthiness*. Este programa trata de realizar pruebas a unas 35 millas por hora contra una barrera rígida de máxima anchura (o colisión central), y ha sido muy eficaz en proporcionar información para el usuario; asimismo ha contribuido a la introducción de mejoras en los nuevos vehículos.

La eficacia del New Car Assessment Program ha provocado que las diferencias en el rendimiento de los nuevos vehículos sean menores en las pruebas de choque de máxima anchura, pero esto no quiere decir que no existan diferencias de comportamiento a raíz del impacto, pues en realidad existen, y así se demuestran en las configuraciones añadidas a los test de choque frontal, como es el choque *offset*.

Las pruebas de choque de máxima anchura y las pruebas *offset* vienen a complementarse. Al distribuir las fuerzas de un choque a lo largo de todo lo ancho de un vehículo, la absorción de la energía cinética se emplea al máximo, para que se pueda mantener intacto el interior del vehículo en todos los choques, salvo en aquellos que sean a muy alta velocidad.

Las pruebas de máxima anchura producen deceleraciones rápidas en el comportamiento del ocupante, y son muy exigentes con los sistemas de restricción del impacto. En las pruebas *offset* sólo choca una parte del vehículo contra la barrera, de modo que una pequeña parte de la estructura debe de absorber toda la energía del choque. Esto significa que la zona afectada se aplasta más que en los choques de máxima anchura y la intrusión es más probable.

De este modo, las pruebas de máxima anchura son más exigentes en cuanto a los elementos de restricción del impacto, pero no lo son tanto para comprobar la respuesta de la estructura del vehículo, que es lo que en realidad interesa en las pruebas *offset*.

En las pruebas *offset* del IIHS, realizadas a 40 millas por hora, el 40 % de la anchura total de cada vehículo choca contra una barrera, en el lado del conductor. La parte externa de la barrera está construida con paneles de aluminio que hace que las fuerzas del test sean similares a las de un choque frontal *offset* entre dos vehículos del mismo peso, viajando a poco menos de 40 millas por hora. Esto significa que los resultados de los tests sólo son comparables entre vehículos de tamaños y pesos similares. Igual que en las pruebas de máxima anchura, en las pruebas *offset* no se puede comparar el rendimiento de vehículos de distintos pesos y tamaños (Fig. 12.12).

Respecto a la velocidad alcanzada en los tests, ésta se relaciona con la gravedad de las lesiones que se producen en la realidad (O'Neill *et al.*, 1996). Los resultados de un estudio del test del 40 % *offset* contra una barrera deformable a 40 mph (64 km/hora) representan la gravedad real de un 75 % de las lesiones, de tres o más, y un poco menos de la mitad de las lesiones mortales de los ocupantes, de los choques frontolaterales que suceden en los Estados Unidos. Otra razón para considerar la elección de los 64 km/hora como velocidad de prueba es que el Comité Europeo Experimental de Vehículos (grupo de trabajo III) consideraba que el nivel mínimo recomendado para realizar



Figura 12.12. Choque frontal *offset* a 40 mph (64 km/h). Ref. Insurance Institute for Highway Safety (USA).

estos test es el de 60 km/h (37 mph), para coches nuevos en la Unión Europea (Lowne, 1995)²⁸.

Elementos de evaluación de los vehículos

a) *Estructura*. La evaluación del rendimiento de la estructura incluye las mediciones que indican el grado y el tipo de intrusión en el test *offset*. Muestran cómo la zona del impacto se comportó como consecuencia de la energía cinéti-

²⁸ O'Neill B, Lund AK, Zuby DS, Estep CR. En: *New Vehicle Crashworthiness Evaluations by the Insurance for Highway Safety*. Trabajo presentado en la XV Conferencia Internacional de Seguridad en los Vehículos, Melbourne (Australia), 13-17 de mayo de 1996. Editado por el Insurance Institute for Highway Safety, Arlington, EE UU, 1996.

Hidden page

Criterios de evaluación de las lesiones²⁹

La estimación de las lesiones se hace en el *dummy* (Hybrid III, ya referido) colocado en el asiento del conductor, y se estudian para analizar la posibilidad de recibir lesiones significativas en varias zonas del cuerpo, tomándose 28 mediciones distintas en cada uno de los tests *offset* del Instituto (IIHS), así:

- La aceleración del centro de gravedad de la cabeza en tres direcciones.
- La fuerza axial, la fuerza antero-posterior, y el momento de fuerza (antero-posterior) en relación con el desplazamiento de la cabeza sobre el cuello del *dummy*.
- La aceleración de la columna vertebral del *dummy* en tres direcciones.
- La compresión del tórax.
- Fuerza axial en cada fémur.
- Desplazamiento tibia-fémur.
- Dos momentos de fuerza transversales a cada extremo de la tibia.
- Fuerza axial en cada tibia.
- Aceleración de cada pie en dos direcciones.

Las 28 mediciones se agrupan en cuatro zonas corporales: cabeza y cuello, tórax, y cada pierna y pie. Se emplean seis parámetros para calcular la protección de la cabeza y el cuello, cuatro para la del pecho y nueve parámetros para evaluar la protección de las dos piernas y pies.

Cada zona corporal recibe una puntuación para la protección de las lesiones, establecida de la forma siguiente: buena, aceptable, marginal y mala, y que se determina según la respuesta que se obtenga en la evaluación de los anteriores parámetros. Para que una zona corporal reciba una valoración de «buena», las puntuaciones en todos los parámetros para esta zona han de mostrar buenos resultados. Si cualesquiera de los parámetros indican sólo un resultado «aceptable», entonces la valoración será de aceptable. Y si cualesquiera de los parámetros tienen una valoración marginal, la calificación para esa zona corporal también será de marginal.

Estas categorías de calificación se fundamentan en la información biomecánica actual sobre lesiones humanas (Mertz, 1994; Begeman y Prasad, 1990; Begeman *et al.*, 1993; Mertz y Patrick, 1971; Parenteau, 1995; Welbourne, 1994; Zeidler, 1984). A menudo, pero no siempre, el margen entre «aceptable» y «marginal» de un parámetro corresponde al umbral publicado para una lesión significativa relacionada con dicho parámetro. Las valoraciones «aceptables» corresponden a las puntuaciones justo por debajo del umbral de la lesión, y las «buenas» aún más por debajo del umbral. Igualmente, las valoraciones «marginales» corresponden a puntuaciones justo por encima del umbral publicado, y las malas, a las de más arriba.

²⁹ O'Neill B, Lund AK, Zuby DS, Estep CR. En: *New Vehicle Crashworthiness Evaluation by the Insurance for Highway Safety*, 1996, o. c.

Por ejemplo, Mertz indicó que el índice 1,0 para la tibia es el umbral de fractura de la tibia. En consecuencia, en las evaluaciones del Instituto (IIHS), las puntuaciones por debajo de 1,0 inferiores a un 20 % son buenas, y las que estén por encima de 1,0, en más de un 20 %, son malas; las puntuaciones justo por debajo del umbral publicado, o justo por encima de él, son «aceptables» y «marginales», respectivamente.

Es preciso reconocer que es un proceso complejo, y no es posible prever en un sistema de codificación todas las combinaciones de los desenlaces y de las lesiones. Por tanto estas informaciones se han de tomar como directriz, con carácter orientativo, y siempre han de poder ser modificadas según las circunstancias de un test en concreto y de una nueva información biomecánica sobre la resistencia.

Los autores de este trabajo indican que los resultados obtenidos con ocasión del *crashworthiness* muestran un amplio rendimiento para valorar la protección fronto-lateral respecto a la integridad estructural, medición, de las lesiones y la cinemática del *dummy*. Y tal rendimiento es digno de mención ya que confirma que la velocidad elegida para evaluar el *crashworthiness* es adecuada. Los resultados separados indican que se producen choques reales, que determinan lesiones graves o mortales, semejantes a los del test de 64 km/hora contra una barrera deformable.

De la evaluación de los vehículos probados, se concluye que algunos ya proporcionan una buena protección, y que en otros ha de mejorarse. También hay que decir que el test del NCAP (New Car Assessment Program, choque frontal de máxima anchura, a 35 mph), afectó a alguna de las evaluaciones globales, como en el Toyota 4Runner (que hubiera recibido una evaluación global buena, si no fuera por HIC * marginal –más de 900–), sugiriéndose que los sistemas de restricción de los vehículos «todo terreno» no son tan modernos como en otro tipo de automóviles. De todas formas, la diferencia muestra que los dos tipos de tests son necesarios: el de máxima anchura, para valorar el sistema de restricciones en las deceleraciones súbitas, y el test *offset* para conocer cómo se afecta la integridad del comportamiento del ocupante cuando choca sólo una parte delantera (Tablas 12.3, 12.4 y Fig. 12.13).

Cargas en las extremidades inferiores en choques frontales ³⁰

Las lesiones en la parte inferior de las piernas son una consecuencia frecuente y costosa de los choques, especialmente frontales. En los ocupantes pro-

* El HIC (*head injury criterion*) es un parámetro biomecánico muy discutido pero muy importante, que hace referencia a los criterios de protección de la cabeza; sirve para evaluar la protección de la cabeza ante aceleraciones y deceleraciones determinadas, en caso de impacto; se refiere a la cantidad de energía que a raíz del impacto recibe la cabeza (*exclusivamente la cabeza*); más técnicamente se dice que «es una integral de aceleración rectificada en el tiempo». Se describen tres tipos de HIC: HIC sin establecer tiempo mínimo de impacto; HIC 36 milisegundos (tiempo de impacto); HIC 15 milisegundos. El HIC interesa que sea bajo, pudiéndose clasificar así: bueno (< 750); aceptable (750-899); marginal (900-999); pobre (≥ 1.000) (N.A.).

³⁰ Zubay SD, Farmer CM, *Lower Extremity in Offset Frontal Crashes*. Trabajo presentado en la 15 Conferencia Internacional de Seguridad en los Vehículos, Melbourne (Australia), 13-17 de mayo de 1996. Editado por el Insurance Institute for Highway Safety, Arlington, EE UU, 1996.

tegidos por cinturones y *airbag* se dañan con frecuencia las extremidades inferiores. Las lesiones en la pelvis, los fémures, las rodillas, la parte inferior de las piernas, y los tobillos/pies, constituyen el 24 % de todas las lesiones clasificadas de gravedad moderada, o más, según la AIS (*Abbreviated Injury Scale*, AIS ≥ 2), para estos ocupantes.

TABLA 12.3. Estimación paramétrica de las lesiones IIHS, 1996

Injury Parameter * Scores Associated with Good, Acceptable, Marginal, and Poor Performance - IIHS 1996

Medida de las lesiones	Buena	Aceptable	Marginal	Pobre
Cabeza y cuello				
HIC	< 750	750-899	900-999	≥ 1000
Aceleración de la cabeza (pico de g)	La clasificación de lesiones de la cabeza basada en el HIC se rebaja una categoría si g (fuerza de la gravedad) es mayor o equivalente a ≥ 70 , correspondiente al contacto con una superficie dura.			
Esfuerzo cortante a nivel del cuello	Mide las lesiones en atención a un tiempo determinado, tanto que en la abscisa se recoge el «esfuerzo cortante», y en la ordenada el tiempo. Tal esfuerzo supone la fuerza existente en el plano perpendicular al eje axial de la columna vertebral (en este caso cervical), situado tal plano en la base del cuello o en la parte superior.			
Tensión en el cuello	Tensión en el cuello: determina las fuerzas tendentes a separar la vértebra del cuello.			
Comprensión en el cuello	Fuerzas comprensivas a nivel de las vértebras del cuello.			
Flexión en el cuello **	< 90 Nm	90-139 Nm	140-189 Nm	≥ 190 Nm
Extensión en el cuello **	< 40 Nm	40-58 Nm	57-73 Nm	≥ 74 Nm
Pecho				
Aceleración del pecho 3 ms	< 60 g	60-74 g	75-89 g	≥ 90 g
Comprensión del pecho	< 50 mm	50-59 mm	60-74 mm	≥ 75 mm
Criterio de viscosidad	< 0.7 m/s	0.7-0.9 m/s	1.0-1.2 m/s	≥ 1.3 m/s
Pierna y pie				
Fémur axial force	Evaluación de la fuerza axial aplicada en el fémur.			
Tibia-fémur desplazamiento	< 12 mm	12-14 mm	15-17 mm	≥ 18 mm
Índice tibial, superior o inferior	< 0.8	0.8-0.9	0.1-1.1	≥ 1.2
Fuerza axial sobre la tibia	< 4.0 kN	4.0-5.9 kN	6.0-7.9 kN	≥ 8.0 kN
Aceleración del pie	< 150 g	150-199 g	200-259 g	≥ 260 g
Momento de torsión en la parte inferior de la tibia	< 160 Nm	≥ 160 Nm		

* Obsérvese que todas las mediciones están redondeadas igual que los valores mostrados en las tablas antes de ser clasificadas.

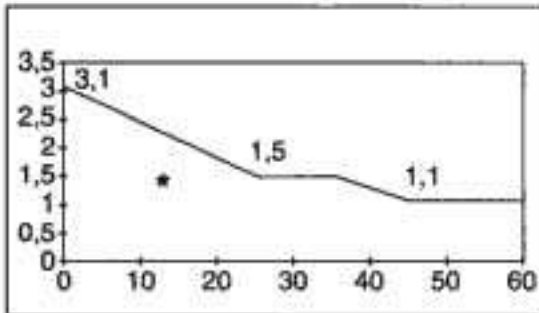
** El momento occipital de flexión y extensión del cuello, calculado a través de las fuerzas y los momentos medidos con la carga en la parte superior el cuello del Hybrid III, debe compararse solamente con los valores indicados en la tabla cuando un análisis de la película puede verificar la flexo/extensión del cuello hacia adelante/atrás, respectivamente.

TABLA 12.4. Crashworthiness-evaluación

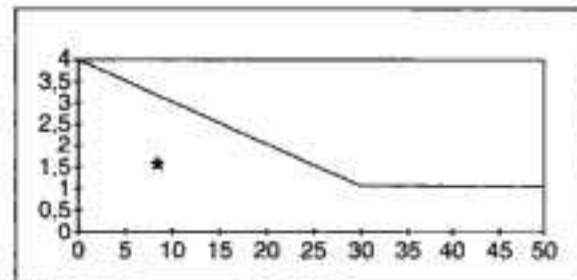
		Resultado (rendimiento) del vehículo en el choque offset								
	evaluación global		Movimientos de restricción estructura del maniquí	Medidas de las lesiones				Diseño para restricción de la cabeza	Rendimiento del parachoque	
				Cabeza/ cuello	Pecho	Pierna/ pie	derecho/ izquierdo			
FORD TAURUS 1996 Modelo	B	B	B	B	B	B	B	P	B	
CHEVROLET LUMINA 1995-96 Modelo	B	B	B	B	B	B	B	P	M	
FORD TAURUS 1992-95 Modelo	B	B	B	B	B	B	B	P	M	
VOLVO 850 1993-96 Modelo	B	A	B	B	B	B	B	B	M	
TOYOTA CAMRY 1995-96 Modelo	A	A	B	A	B	A	B	M	M	
SUBARU LEGACY 1996 Modelo	A	A	B	B	B	P	B	M	A	
HONDA ACCORD 1996 Modelo	A	A	B	B	B	P	A	P	A	
MAZDA MILLENIA 1996 Modelo	A	M	B	B	B	P	B	P	M	
TOYOTA AVALON 1995-96 Modelo	M	M	B	B	B	P	A	P	P	
SAAB 900 1995-96 Modelo	M	P	M	B	B	B	A	A	A	
FORD CONTOUR 1995-96 Modelo	P	M	B	B	B	P	P	M	A	
VOLKSWAGEN PASSAT 1995-96 Modelo	P	M	P	B	B	P	B	P	M	
CHEVROLET CAVALIER 1996 Modelo	P	P	P	A	B	P	B	P	A	
MITSUBISHI GALANT 1994-96 Modelo	P	P	P	B	B	P	A	P	P	
CHRYSLER CIRRUS 1994-96 Modelo	P	P	M	B	B	P	P	P	M	
NISSAN MAXIMA 1995-96 Modelo	P	A	P	M	B	P	P	M	P	
TOYOTA 4RUNNER 1995-96 Modelo	A	B	B	B	B	B	A	P	P	
LAND ROVER DISCOVERY 1994-96 Modelo	A	A	B	A	B	B	A	M	P	
FORD EXPLORER 1995-96 Modelo	A	A	P	A	B	B	B	P	P	
JEEP GRAND CHEROKEE 1993-96 Modelo	M	A	B	B	B	P	P	P	P	
ISUZU RODEO/ HONDA PASSPORT 1996 Modelo	P	P	M	B	B	P	P	P	P	
CHEROLET BLAZER/ GMC JIMMY/ OLDSMOBILE BRAVADA 1995-96 Modelo	P	P	B	P	B	B	A	P	P	

Valoración: B Bueno A Aceptable M Marginal P Pobre

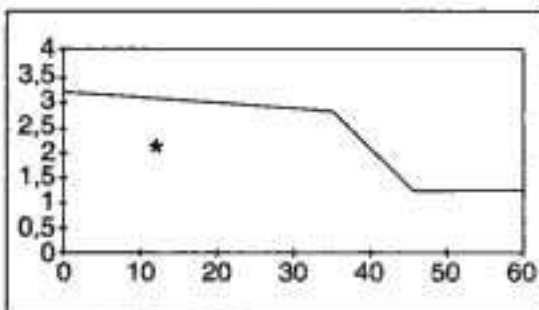
Esfuerzo cortante a nivel del cuello (+/-).
Duración (en ms) del límite significativo.



Duración de la fuerza de compresión en el cuello.
Límite significativo de la lesión.



Tensión en el cuello.
Duración del límite significativo de la lesión.



Valoración de la lesión para la fuerza axial en el fémur.

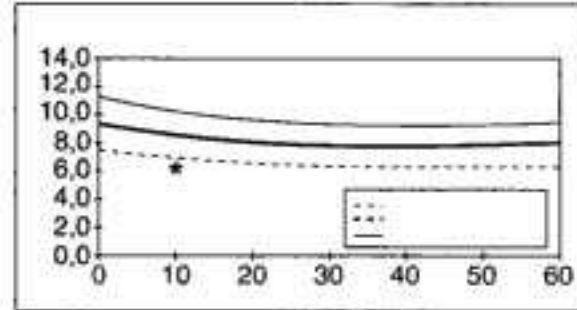


Figura 12.13.

* Zona de seguridad.

El análisis de los datos de los choques indican que el riesgo y gravedad de las lesiones aumentan si ocurre la intrusión en el hueco de los pies. No obstante, aunque la intrusión es uno de los factores que influye en la gravedad de las lesiones en las extremidades inferiores, algunos autores (como Pattimore, 1991) han advertido que es difícil separar el efecto de la intrusión del producido por la energía del choque, lo que, a su vez, tiene una decidida influencia sobre la gravedad de las lesiones y la deformación del vehículo.

Crandall *et al.* (1995), a partir de datos de la National Accident Sampling System (años 1988-1993), demostraron que la razón de las lesiones AIS-3, con todas las lesiones, fue mayor en los choques en que se produjo una intrusión de más de 46 cm que en los que fue menor de 3 cm. Los autores separaron los efectos de la intrusión de la energía del choque, clasificando los datos en cuatro categorías de velocidad. Dentro de cada categoría aumentó el riesgo de sufrir una lesión por debajo de la rodilla con niveles mayores de intrusión.

Se examinaron las lesiones de las extremidades inferiores sufridas por los ocupantes que llevaban cinturón, en choques frontales, empleando un sistema de retroceso multivariado para separar los efectos de la gravedad del choque y

de la intrusión. Se demostró que aunque la intrusión del hueco para los pies y el incremento de velocidad estaban relacionados significativamente con el riesgo de sufrir una lesión AIS ≥ 2 , la intrusión explicó una discrepancia 5,2 veces mayor que el incremento de velocidad. Los trabajos recientes demuestran la relación entre intrusión y un riesgo elevado de recibir lesiones en las extremidades inferiores. Para desarrollar y evaluar contramedidas fiables se necesita realizar tests que establezcan la relación entre la intrusión y el riesgo de lesionarse. Los maniqués HYBRID III pueden modificarse para llevar instrumentos que miden las fuerzas en el compartimento del ocupante (Nyquist y Denton, 1994). Comparando las fuerzas de los tests con ejemplos biológicos, se puede calcular el riesgo de dañar a las distintas partes de las extremidades inferiores. Se han publicado datos de referencia para la evaluación de las heridas (Mertz, 1994).

Los resultados de los distintos autores son fuente de discusión, al existir discrepancia sobre los mismos. No obstante, se han observado algunas correlaciones significativas entre las mediciones en las piernas de los maniqués y la magnitud de la intrusión. Por ejemplo, los momentos de fuerza en la tibia superior en ambas piernas fueron correlacionados con las mediciones de intrusión del tablero de mandos inferior, y los momentos de fuerza en la tibia distal de la pierna izquierda fueron correlacionados con las mediciones de intrusión de la zona donde apoya el pie.

Las cargas en la pierna izquierda, según este trabajo, están relacionados con la magnitud de la intrusión, guardando correlaciones no sólo con la deformación general del compartimento del ocupante, sino también con la intrusión de estructuras específicas, por ejemplo, apoyapiés. Igualmente, la intrusión de la parte inferior izquierda del tablero de controles guardó relación con la carga axial en el fémur izquierdo y con el momento de fuerza de la tibia superior.

El análisis confirma la relación entre las cargas de las extremidades inferiores y la intrusión. Las correlaciones para la pierna derecha no se han mostrado significativas, pero aun así se establece una relación entre intrusión y cargas mayores.

Influye mucho la deformación de las estructuras. El desplazamiento hacia atrás del apoyapiés, en donde se colocó el pie izquierdo antes del choque, mostró correlaciones fuertes con las cargas en la pierna izquierda. También aceleraciones del pie guardaron mucha correlación con el desplazamiento lateral de las estructuras del hueco para los pies, más cercanas a un pie. Las correlaciones eran menores para las estructuras originariamente más alejadas de la posición primitiva del pie.

Los choques que se dan en la realidad indican que cuanto más se deforme el compartimento del automóvil más riesgo existe de recibir lesiones graves; y los análisis con los maniqués así lo confirman.

La conclusión práctica que se saca de todo ello es que los efectos de la intrusión se pueden reducir cambiando el diseño de los automóviles, con el fin de conseguir mayor amplitud y espacio libre.

Relación entre delta V y velocidades de impacto en tests de choques frontales offset³¹

En los años setenta se desarrollaron programas de ordenador (CALSPAN CORPORATION) para computar el cambio de velocidad del centro de gravedad del vehículo provocado por las fuerzas de choque —llamado delta V—, a partir de las medidas de deformación.

En algunos choques y tests, el delta V puede interpretarse como equivalente a la velocidad de impacto, pero en otros no. El cambio de velocidad empieza en el momento del primer contacto, pero el fin del cambio puede considerarse o en el momento de máxima deformación o el momento en que el vehículo se separa del objeto contra el que ha chocado. Así, en un choque a 30 mph (49 km/h) contra una barrera plana, el cambio de velocidad en el punto de máxima deformación es de 49 km/h, porque en ese momento la velocidad ha llegado a 0. No obstante, después del máximo aplastamiento dinámico, algo de la superficie aplastada se recupera, y el vehículo rebota con una velocidad negativa. De esta forma, el cambio en la velocidad en el momento en que el vehículo se separa de la barrera es 30 mph, más la velocidad de rebote.

Prescindir del componente de la velocidad de rebote, haciendo equivalente el delta V, equivale a la velocidad de impacto, y puede llevar a malas interpretaciones.

Igualmente, en el caso de un choque frontal entre dos vehículos idénticos, viajando a la misma velocidad, cada vehículo tendrá el mismo delta V que en un choque contra una barrera a la misma velocidad, y la deformación será igual.

Delta V sólo puede interpretarse como equivalente a la velocidad «barrera» para impacto de máxima anchura contra objetos rígidos, o choques de máxima anchura entre vehículos con una rigidez semejante. Sin embargo, en choques frontolaterales (*offset*) no es correcto relacionar el delta V con la velocidad de los tests. Desafortunadamente, en todo tipo de choque real, a veces los delta V esta mal interpretados como velocidades equivalentes «de barrera».

Una mala interpretación del delta V, como «velocidad equivalente a energía (EES), dio lugar al desarrollo de un parámetro alternativo, haciéndolo técnicamente equivalente a la velocidad de «barrera». Se define como la velocidad que el vehículo tendría que alcanzar en el contacto con cualquier objeto rígido para disipar la energía de deformación correspondiente al aplastamiento residual observado en el vehículo. Pero dadas sus limitaciones, su uso se circunscribe a la recogida de datos por los fabricantes de vehículos.

El sistema delta V está más extendido, y con el creciente interés en la investigación de choques frontolaterales es necesario entender cómo se relacionan las velocidades de impacto con los delta V con ocasión de la realización de los test.

³¹ O'Neill B, Preuss CA, Nolan JP. En *Relationships Between Computed Delta V and Impact Speeds Crash Tests*. Trabajo presentado en la XV Conferencia Internacional de Seguridad en los Vehículos, Melbourne (Australia), 13-17 de mayo de 1996, con transcripción resumida. Editado por el Insurance Institute for Highway Safety, Arlington, EE UU, 1996. Para comprender mejor el significado de este desarrollo revisense los conceptos que hacen referencia a la teoría del choque y a las acciones de choque.

En las experiencias recogidas por los autores de este trabajo, el delta V muestra que en todos los casos es menor que la velocidad de impacto, con diferencias entre 6 a 16 km/h, en el caso de choques entre coches; en los choques del 40 % contra barreras deformables las diferencias entre las velocidades de impacto y los delta V fueron mayores, estimadas entre 16 y 27 km/h, con una media de 21 km/h. Se tuvo en cuenta la absorción de energía cuando se calculó el delta V, al añadir la energía absorbida por la barrera a la energía absorbida por el vehículo. Esto produce un cálculo de delta V ligeramente más alto que el obtenido por las medidas de aplastamiento sólo.

Para estimar la distribución del delta V para choques frontales, es necesario antes segregar los choques según los desperfectos, y de acuerdo con la Collisions Deformation Clasification (CDC), resulta:

- Los que afectan a un tercio o menos del lado de la parte delantera.
- Los que afectan entre un tercio y dos tercios de un lado de la parte delantera.
(Los distribuidos a lo largo de la parte delantera, con impactos centrados en el medio, afectando a menos de un tercio, fueron excluidos.)

Según la gravedad de las lesiones, el resultado ha sido el siguiente:

- En todos los automóviles cuyos ocupantes sufrieron lesiones AIS igual a 2, o superior, el valor de la mediana de los delta V fueron 34 km/h.
- En las lesiones cuya gravedad según la escala AIS es de 3 o más, la mediana del delta V es 40 km/h. En estos casos, de choques más importantes, las diferencias entre la mediana de los delta V entre choques con un solo vehículo y los de entre dos vehículos son menos aparentes, en tanto que en las lesiones de gravedad AIS 2 las diferencias son mayores.
- En los choques que provocan accidentes mortales, la mediana de delta V es de 51 km/h, 11 km más alto que en el caso de las lesiones AIS 3.

Los resultados de este trabajo indican que los test realizados (40 % de superficie de contacto, 64 km/h) representan una gravedad real, por debajo de la cual ocurre un 75 % de las lesiones AIS 3 (o superior) y un poco menos de la mitad de todas las lesiones mortales, en los ocupantes de automóviles en este tipo de accidentes (Tabla 12.5).

Accidentes en automóviles equipados con airbag

El *airbag*, en general, del mismo modo que el cinturón, salva vidas, aunque en determinados casos se producen lesiones que son directamente provocadas por este medio de protección, algunas de ellas mortales. Junto al *airbag* básico, existen otros tipos, como el que se coloca lateralmente, la cortina hinchable, dispuesta en la parte lateral del marco de la puerta, evitando que en caso de impacto la cabeza se pueda golpear contra la ventanilla y las estructuras en vecindad; también se han hecho estudios para colocar estos sistemas de seguridad en los depósitos de gasolina de las motocicletas.

TABLA 12.5. Mediana de delta V (km/h) (NASS 1990/1994)

Gravedad de lesión	Tipo de impacto		
	Dos vehículos	Un vehículo	Total
AIS = 2			
Offset 2/3	32	39	35
Offset 1/3	26	29	27
Total	32	37	34
AIS ≥ 3			
Offset 2/3	40	42	40
Offset 1/3	32	34	34
Total	40	40	40
Ls. Mortales			
Offset 2/3	51	46	50
Offset 1/3	34	42	40
Total	52	48	51

Ya existe en la actualidad un airbag para motocicletas, especie de chaleco salvavidas que se infla en el momento en que el motorista sale despedido.

El hecho de que un *airbag* (cuyo complemento indispensable es el ineludible cinturón, hay que insistir en ello) se pueda hinchar a razón de 6 litros por milésima de segundo, representa una velocidad de entre 157 a 338 km/h, pudiendo ejercer una presión entre 500 y 1.200 kilos sobre el cuello, lo cual debe llevar a reflexionar, tal como ya advirtió la General Motors en 1979. En este sentido hay que tener en cuenta los posibles traumas producidos por el *airbag*, como son lesiones oculares, sordera –especialmente cuando hay giro de la cabeza–, lesiones cervicales, torácicas (ruptura de la aorta torácica, etc.), llegando incluso a producir la muerte en niños o adultos de baja estatura, o en sujetos de complexión débil³².

Por parte, la NHTSA afirma, en un documento sobre la eficacia de los sistemas de retención de los ocupantes, que el airbag es eficaz en la prevención de la mortalidad y morbilidad en la carretera. La combinación del cinturón de tres puntos/airbag permite reducir las muertes en un 11%, y en un 60% el número de heridos en los vehículos tipo turismo.

Respecto a las lesiones abdominales, I. Roche*, anota que las lesiones abdominales son escasas merced a la combinación cinturón de tres puntos y air-

³² *Le Quotidien du medecin (Francia)*, 28-2-97, y algunas notas tomadas de la revista *Interviu* (20-1-96).

* Roche, I., Lésions abdominales: revue des mécanismes et de la tolérance au choc. INRETS (Francia), Informe LBSU n° 9707, agosto, 1997.

bag; se constata una reducción de las lesiones hepáticas y del bazo cuando la intrusión es débil; por el contrario, en intrusiones severas, tal asociación cinturón/airbag tienden a ver disminuidos sus beneficios. Los órganos abdominales, hígado y bazo no están completamente protegidos por el airbag, pues la inclinación del volante permite pasar por debajo del airbag y penetrar en la parte baja toracoabdominal.

Se estima que un 30 % de los sujetos en los que se despliega el *airbag* sufre algún tipo de lesión, habitualmente leves, y ocasionalmente graves y hasta mortales. Los mecanismos lesionales de la bolsa de aire propuestos por Zuppicchini *et al.*³³ son:

- Impacto directo con la bolsa desplegada.
- Impacto con la bolsa desplegada con la interposición de objetos o de parte de la extremidad superior.
- Impacto con el volante a pesar de la bolsa.
- Lesiones intratorácicas por rotura de costillas.
- Lesiones viscerales por desaceleración.
- Transmisión de presiones a las vísceras.
- Quemaduras y otras lesiones químicas.

La Dirección de la Oficina de Seguridad en el Tráfico por Carretera en EE UU ha autorizado a reducir la presión de inflado de los *airbag* en un 25-30 %, pues se ha comprobado que si han evitado desde su instauración 1.700 muertes, igualmente han sido causa de 30 muertes en niños y 20 en adultos de poco peso. De esta forma, aun disminuyendo la presión de inflado se estima que pueden ser asimismo efectivos. También se ha autorizado a los fabricantes que introduzcan un dispositivo que permita al usuario reducir la presión de inflado e incluso desconectar este sistema de seguridad. Se estima que para 1999 se dispondrá de *airbag* inteligentes, cuya presión de inflado se adapte a las circunstancias personales del usuario (según peso, estatura, edad)³⁴.

Además, Japón está poniendo a punto un sistema de seguridad con el nuevo cinturón denominado *air belt*, con el fin de reducir la presión sobre la caja torácica en caso de accidente, con un mecanismo de inflado en la pared del cinturón próxima al hombro; su funcionamiento es semejante al de un *airbag*, tanto que en el momento del impacto una unidad de control envía una señal para iniciar el inflado del cinturón³⁵.

Augenstein (1996, USA)*, refiere algunos casos de choques frontales con intrusión importante del tablero de a bordo para los conductores, pese a la combinación de cinturón de tres puntos + airbag:

³³ González-Luque JC. En *Seguridad vial y medicina de tráfico*, o. c., págs. 62 y 63.

³⁴ Según nota informativa de Radio 5, Radio Nacional de España, emitida el 1-1-1997, a las 5.25 pm.

³⁵ Noticia publicada por *El País*, 7-12-97.

* Augenstein y Huelke, autores según referencia de I. Roche, *Lesions abdominales*, o.c.

- Un caso: choque a las 11 horas, delta V 53 Km/h, intrusión de 43 cm, con una lesión abdominal, una laceración del hígado AIS 3, con fractura de la 5ª costilla y pneumotórax de AIS 3.
- Un caso: choque a las 12 horas, delta V 35 Km/h, laceración de hígado, AIS 2, con fractura de 3ª y 5ª costillas.
- Un caso mortal: choque a las 11 horas, el cálculo del delta V no manifiesta la severidad del choque, delta V 32 Km/h y 68 cm de intrusión, con lesión de hígado AIS 5.

Huelke (1996, USA)*, estudió los accidentes en 69 casos de despliegue del airbag en pasajeros de la parte delantera: las lesiones no interesaban más que a la cara, el cuello y los miembros superiores.

Los modos de producirse las lesiones son variados, a veces de no fácil explicación, como se desprende del trabajo realizado por A. K. Lund, S. A. Ferguson y M. R. Powell, en una investigación de 39 accidentes mortales en automóviles dotados de *airbag* (entre casos recopilados entre 1989 y 1993)³⁶ cuyo resumen se ofrece a continuación, con la finalidad de que el lector, en atención a los ejemplos y accidentes que fueron analizados, pueda sacar sus conclusiones sobre los posibles efectos lesivos que puede provocar el *airbag*.

Se calcula que el *airbag* es eficaz con una reducción del 20 % de los choques considerados como mortales, aunque en otros casos no sirve (por ejemplo, en los supuestos de eyección del ocupante, o en choques muy severos); y en un 1 %, aproximadamente, puede causar lesiones graves. Se han dado casos en que los conductores, y niños en el asiento del acompañante han muerto por lesiones en la cabeza y en el pecho, directamente relacionadas con el *airbag*; y esto es todavía más preocupante si se piensa que se trataba de impactos que en sí no eran graves.

Para proteger bien al ocupante, el *airbag* debe inflarse en menos de 1/20 segundos. El despliegue del *airbag* es peligroso si el ocupante se encuentra muy cerca del volante en ese momento, estando consideradas como posibles víctimas, especialmente, personas de poca talla, o sin el cinturón puesto, o que se acercan mucho al volante a causa de la deceleración brusca.

La eficacia del *airbag* puede ser mejorada reduciendo la energía de su inflado, en choques graves y también en los que no son muy graves, incluso en los casos de conductores sin cinturón.

En el estudio referido los casos elegidos se clasificaron de esta forma:

- Por el suceso principal, es decir, choque frontal, lateral o con vuelco.
- Por el número de impactos: es decir, un solo impacto, o con múltiples impactos (más de un impacto importante).

* Augenstein y Huelke, autores según referencia de I. Roche, *Lesions abdominales*, o. c.

³⁶ Lund AK, Ferguson SA, Powell MR. En *Fatalities in air bag-equipped cars: a review of 1989-93 NASS cases*. Insurance Institute for Highway Safety.

- Por la causa de la muerte, pudiendo ser: por la intrusión de una superficie del vehículo, por el efecto de una superficie sin que haya intrusión, por el *airbag*, y por causas no relacionadas con el impacto.

Los resultados muestran que 18 fallecimientos ocurrieron en choques de un solo impacto, y 21 en choques con múltiples impactos. El 44 % llevaba puesto el cinturón y el 46 % había prescindido de esta medida de seguridad; del 10 % restante no se pudo saber. Impactos laterales, el 46 %; 38 %, frontales, y 15 %, con vuelco.

De los accidentes mortales no frontales (24) no había ninguno en los que el *airbag* pudiera beneficiar al conductor, y tampoco se dieron casos en los que en los choques no frontales el *airbag* contribuyó al resultado mortal. En nueve de estos casos el fallecimiento ocurrió por contacto con la estructura del vehículo en intrusión, y en un caso por contacto con la estructura, aunque no hubo intrusión. En otros casos la muerte se produjo por expulsión total (sin cinturón) o parcial (y con cinturón), o por otras causas, como infarto, quemaduras, por resultar ahogado.

De los choques frontales (15 muertes), uno de los accidentes estaba relacionado con la intrusión, conductor sin cinturón puesto, y se trataba de un accidente de máxima gravedad, con alta deformación del vehículo. En otro accidente (sin cinturón, con intrusión, aunque hubo menos deformación del vehículo) la muerte del conductor fue provocada por el impacto con un poste que impulsó el volante hacia atrás, hasta que el borde quedó casi horizontal. Es probable que fuera este borde el que causó la muerte (sección de aorta, AIS 6), aunque no se sabe por qué el volante se comportó de esta forma. Es posible que se rompiera la columna de dirección por el peso y fuerza del ocupante (195 libras, sin cinturón), permitiendo que el borde se elevase a la altura del pecho, en tanto que la columna de dirección giraba hacia arriba. Además la víctima sufrió un hematoma subdural (AIS 4) que pudo ocurrir mientras el cuerpo seguía el giro del volante con el *airbag*, lo cual fue la causa de que la cabeza se golpease contra la parte superior/interior del vehículo, o contra el parabrisas.

Quizá el *airbag*, siguiendo en el análisis de este caso, contribuyese a provocar las lesiones, si por el hecho de impactar contra un poste el *airbag* se inflara tarde, y el conductor hiciese contacto con el volante antes de activarse el *airbag*, siendo este mismo el causante de las lesiones en el pecho (??). Sin embargo, por otra parte, este automóvil disponía de sensores que en teoría deberían evitar la tardanza en la activación del *airbag*, lo que, pensando así, hace poco probable tal tardanza.

El *airbag* contribuyó a la muerte en cuatro casos. En uno de ellos el conductor llevaba puesto el cinturón; también el vehículo chocó contra un poste, y la deformación del automóvil era moderada; por el valor del delta V (29 millas/hora) se entiende que el choque no fue muy grave, incluso si no hubiese *airbag*. No obstante, se trataba de una conductora de 62 años, de talla pequeña, que sufrió un impacto bilateral en el pecho (AIS 5) y una laceración perforada del ventrículo derecho (AIS 5). Son estas lesiones las normales si el conductor

Hidden page

vehículo; en estos tres casos de eyección, el conductor fue parcialmente arrojado por la ventanilla de su lado, sufriendo lesiones masivas al quedar la cabeza atrapada entre el vehículo y el suelo. Dos de las otras dos expulsiones ocurrieron después de choques frontales a poca velocidad (cambio de velocidad de 13 y 15 millas/h).

En otros ocho casos, el conductor murió por lesiones producidas al contactar con el interior del vehículo (volante, tablero de controles, etc.). En uno de estos casos, una furgoneta chocó frontalmente contra un coche en el lado del acompañante. El accidente fue muy grave, haciendo contacto la cabeza del conductor del coche contra el volante. Las fuerzas laterales hicieron que un *airbag* hubiera sido inútil.

De tres casos, el *airbag* hubiera mitigado el efecto (se apreciaron lesiones en el pecho, debido al contacto con el volante en choques frontales), pero en un caso hubo más de un impacto. El *airbag* quizá hubiera ayudado de haber estado presente.

En los otros cuatro casos es posible que el *airbag* hubiera aliviado las consecuencias; no obstante los cuatro mostraron lesiones parecidas a los casos en los que el *airbag* contribuyó al fallecimiento. En tres de estos casos, por sucesos previos al choque principal, el conductor quedó fuera de la zona óptima de alcance para que el *airbag* desarrollase su efecto protector, e incluso estando en una posición peligrosa en donde la víctima pudiera ser lesionada por el propio *airbag* si existiese. En el cuarto caso, el automóvil chocó contra un poste a alta velocidad (delta V 37 millas/hora). A veces, al chocar contra un poste, el *airbag* no se activa en el momento; también es posible que el conductor hubiese estado demasiado cerca del *airbag* en el momento de inflarse, de existir *airbag*.

La *conclusión* que sacan los autores de esta investigación es que, para lograr la mayor eficacia y protección del *airbag*, los conductores han de llevar el cinturón correctamente puesto, y sentarse lo más lejos del volante.

CONCLUSIONES PERICIALES

Para el establecimiento de las conclusiones en esta materia, es preciso traer a colación una serie de premisas que sirvan de aval a la conclusión explicativa del mecanismo capaz de causar el accidente.

Tales premisas se formularán en atención a los antecedentes obrantes, y en especial analizando los siguientes extremos:

a) *Síntesis del mecanismo productor de la lesión*: se tomará en consideración las condiciones y circunstancias del accidente tanto en su globalidad como en lo que en particular interese destacar para cada caso (ver ficha protocolaria). De sumo interés es el conocimiento del atestado de la policía de tráfico interviniente, así como el reportaje fotográfico, en caso de que se pueda disponer del mismo. Con carácter orientativo se indican los siguientes aspectos:

- Los vehículos implicados:
 - tipo de vehículo y trayectoria
 - maniobras de urgencia/emergencia
 - desplazamientos
 - tipo de impacto/impactos
 - daños apreciados en el vehículo: externos (zonas de intrusión, características de la superficie impactante, obstáculo principal); internos (estabilidad de los asientos, columna de dirección, otras estructuras internas deformadas/desplazadas)
- Las personas lesionadas:
 - tipología (edad, peso/talla, obesidad, aa. biopatológicos)
 - número de lesiones, distribución y severidad (nivel de conciencia, datos médicos en el momento de la admisión, informes hospitalarios)
 - evacuación
- Cinemática del lesionado:
 - pre-impacto: posición partida, elementos de retención y seguridad, etc.
 - impacto: desplazamientos (globales, segmentarios; gestos defensivos, cadenas cinemáticas, etc.)
 - post-impacto
 - evacuación

b) Imputabilidad de la lesión al accidente

- nexo causal pleno y directo: las lesiones y secuelas descritas son atribuibles al accidente y sus consecuencias;
- nexo causal inexistente: secuelas atribuibles a un estado anterior, no teniendo su génesis en los hechos traumáticos que se han analizado;
- nexo causal existente, concurriendo en *estado anterior que se ha agravado a raíz del accidente*, conformándose, en cualquier caso, una situación nueva, distinta y más grave que la anterior.

Con fines prácticos, en situaciones que no entrañen gran complejidad, la reconstrucción del accidente, en lo que a la parte médica interesa, puede incluirse en el informe pericial dentro del epígrafe que corresponde al nexo causal, y, a su vez, en el subapartado del mecanismo del accidente. Otras veces, no obstante, el nexo causal puede ser el objeto principal del mismo informe pericial médico, de modo que en tales casos ha de dársele un tratamiento singular.

De esta forma, ante un caso concreto, se puede seguir, con carácter orientativo, el esquema de trabajo que ahora se propone. Así, sea el lesionado XXX, que sufre impacto frontolateral, con las características que abajo se indican. Este ejemplo es muy sencillo, elaborado desde una situación hipotética, siendo el nexo causal evidente, por lo que no precisaría mayor esfuerzo interpretativo. No obstante, si se invoca es con la finalidad de facilitar al lector una mejor com-

presión de la metódica que se propone. En tal orden, llegado al epígrafe del nexo causal, se puede trabajar, ya dentro del informe médico, de acuerdo con el siguiente modelo:

YYY, médico, con ejercicio profesional en..., colegiado n.º, requerido a instancia de XXX, por lesiones y secuelas derivadas de hechos de la circulación, una vez estudiada la cuestión que se le plantea, emite informe:

1. *Antecedentes:* XXX sufre accidente de tráfico el.... En el centro hospitalario donde se le presta atención, en el momento del alta se establecen las siguientes lesiones: «cambios sutiles en el alineamiento del segmento cervical, a nivel de C5-C6; signos electromiográficos de denervación reciente C5 derecha; herida inciso contusa en mano izquierda, en la región palmar; contusión en la mano derecha; fractura del extremo radial muñeca derecha; rotura del ligamento lateral interno rodilla izquierda».

2. *Balance actual:* al lesionado XXX se le examina por primera vez, el día 00, 00, 00, esto es, a los cuatro meses de la fecha del accidente, y con posterioridad, para la realización de las exploraciones que se han estimado pertinentes. Del resumen de lo actuado resulta:

- Síntomas:
- Exploración física:
- Exploración instrumental y espaciada:

3. *Juicio diagnóstico:*

- Síndrome cervicobraquial cronificado (subluxación C5-C6; signos de afectación radicular C5, de intensidad 2/3).
- Rotura del ligamento lateral interno rodilla izquierda, (sin operar).
- Fractura de la extremidad inferior del radio de la muñeca derecha consolidada con la formación de callo vicioso.
- Cicatriz de 4 cm de trazado irregular, en región palmar mano izquierda.

4. *Nexo de causalidad:* pleno y directo, esto es, las lesiones habidas en el accidente sufrido por XXX se atribuyen a los hechos de la circulación acaecidos en la fecha 00, 00, 00, y en atención a los siguientes criterios:

a) *realidad traumática:* con fecha 00, 00, 00, siendo las 4 PM, XXX, varón de 22 años, relación peso/talla 170/78, estudiante, sin patología previa, y cuando llevaba 30 minutos de tiempo de viaje, sufre accidente de tráfico, circulando vehículo automóvil (tipo..., de 1200 kg de peso), en vía recta, estando el piso de la carretera mojado.

b) *suficiencia diagnóstica*: las exploraciones clínicas practicadas han sido bastantes como para describir las lesiones y su alcance, incluyendo las pruebas instrumentales imprescindibles (RX, examen radiológico funcional, RNM, EMG).

c) *cronología sintomática*: los síntomas y signos descritos por el lesionado guardan relación con los hechos de la circulación de fecha 00, 00, 00.

d) *topografía lesional*: la ubicación de las lesiones justifican las consecuencias dañosas, no sólo en el aspecto iconográfico sino también en lo que al menoscabo funcional interesa.

e) *estado anterior*: sin patología previa. Por otro lado, los resultados electromiográficos establecieron en su momento el carácter reciente de la afectación radicular en relación con el trauma cervical.

f) *mecanismo causal*:

- *pre-impacto*, punto y posición de partida: sentado, en la parte delantera del vehículo, en el asiento simétrico al del conductor, en normal alineación del sinusoide vertebrado; tenía puesto el cinturón de seguridad; el vehículo disponía también de apoyacabezas, aunque no de *airbag*.

- *desarrollo del accidente*: en tramo recto, piso mojado (lluvia previa), de forma súbita cruzó la vía un perro; con el fin de no atropellarlo, el conductor realizó una maniobra de emergencia, intentando eludir al animal, desviando el vehículo hacia la derecha, al mismo tiempo que accionaba el pedal del freno, momento en el cual pierde el control del vehículo, saliéndose de la vía hacia su derecha, impactando finalmente contra un muro, alcanzando al vehículo en su parte frontolateral derecha (accidente de maniobrabilidad). El lesionado se mantuvo consciente, percatándose del peligro en el preimpacto, conservando su capacidad de respuesta para poner en marcha una reacción defensiva ante el inminente impacto.

- *daños apreciados en el vehículo*: a) *externos*: deformación en la parte delantera y lateral derecha, con amplias zonas de intrusión, alcanzando la rueda del mismo lado, si bien en ésta no se han apreciado signos externos propios del impacto; rotura del parabrisas; b) *internos*: deformación de las estructuras del salpicadero, presencia de algunos trozos de cristal del parabrisas; manchas de sangre tanto a nivel del salpicadero como en el asiento que ocupaba la víctima. No se han apreciado signos que pudieran indicar desplazamiento de los anclajes del asiento.

- *lesiones apreciadas en la víctima*: se han descrito lesiones en cinco regiones anatómicas, que se describen a continuación, junto con su índice de severidad:

- cambios sutiles en el alineamiento del segmento cervical, a nivel de C5-C6, con afectación radicular C5 derecha, severidad 3/6;
- herida inciso contusa en mano izquierda, en la región palmar, 1/6;
- contusión en la mano derecha, 1/6;
- fractura del extremo radical muñeca derecha, 2/6;
- rotura del ligamento lateral interno rodilla izquierda, 2/6;

- *reacción defensiva de la víctima*: extensión de extremidades superiores buscando apoyo inmediato en la parte anterior del interior del vehículo, las extremidades inferiores, en el momento del impacto, estaban dispuestas en extensión incompleta, con apoyo directo de los pies en el suelo del vehículo, con las piernas ligeramente desviadas hacia fuera (en valgo), con concomitancia con una leve rotación interna de ambas caderas; contracción brusca de los músculos del cuello. El tiempo de reacción se estima inferior a un segundo.

- *post-impacto*: después del choque, permanece sentado, ligeramente reclinado hacia atrás, sobre el respaldo del asiento, experimenta ligera conmoción, que supera al cabo de breves instantes.

- *evacuación*: abandono del vehículo por sí mismo, sin llegar a precisar ayuda externa. Traslado desde el lugar del accidente por personal cualificado, en vehículo ambulancia, con un tiempo de demora que estima en 20 minutos, en dirección al centro hospitalario más próximo (distante 15 km). Se dispusieron elementos de inmovilización a nivel del cuello, muñecas derecha y rodilla izquierda. No se presumen lesiones sobreañadidas durante la evacuación del lesionado.

En atención a todo ello, siguiendo una orientación razonada, se interpreta la *patogénesis lesional* en los siguientes términos:

- La víctima, previendo la inminencia del choque, se dispone en posición defensiva, reaccionando con los gestos motores correspondientes, con desplazamientos segmentarios que interesan a las extremidades superiores e inferiores, y al mismo tiempo imprime una considerable tensión muscular en la región cervical.

- Las lesiones de la mano izquierda (herida inciso-contusa), de la mano derecha (contusión) y la fractura de la muñeca derecha se producen como consecuencia del apoyo directo de las manos sobre el borde anterior del vehículo; se estima una cadena cinética abierta invertida que involucra a la extremidad superior derecha, culminando con la fractura radial descrita.

- La rotura del ligamento lateral interno de la rodilla izquierda se explica por la acción embestida que se canaliza por las extremidades inferiores, incidiendo en una extremidad dispuesta en ligero valgo (permitiendo así comprender un incremento de la tensión elongadora que se ha producido sobre dicho ligamento).

- La subluxación del cuello, C5-C6, es consecuencia del impacto frontal descrito, que imprime una aceleración del segmento cervical (desplazamiento en anteflexión), seguida de una deceleración, en retroflexión (efecto rebote). No obstante, en este caso, los mecanismos orgánicos de retención (es especial los dependientes del aparato muscular) parece que han entrado en competencia con el insulto, responsables de la sutil subluxación vertebral descrita, al mismo tiempo que durante tal reacción experimenta el daño radicular referido (que por otra parte la electromiografía constata como reciente).

5. *Déficit funcional*: Générico, Específico,
6. *Daño «d'agrément»*:
7. *Dolor y sufrimiento soportados*:
8. *Daño estético*:
9. *Daños futuros y potenciales*
secuelas previsibles,

Y esto es cuanto lealmente puede informar en ciencia, de lo que da traslado a la parte interesada a los efectos pertinentes.

....., a de 1999

Fdo. YYY

El siguiente ejemplo, como se verá, tiene mayores dificultades que el anterior. La cuestión que en este caso se debate, versa en torno a la discusión de la antigüedad de la lisis del istmo interapofisaria de L4, esto es, si era o no anterior a la fecha del accidente. El Servicio de Traumatología del Hospital donde fue inicialmente atendido el lesionado, lo reingresa tres meses más tarde, ya que experimentó en ese tiempo un agravamiento considerable, y, ya ingresado, «se solicita RNM lumbar con el fin de determinar si la espondilolisis es o no anterior al accidente».

A la vista del resultado de la RNM lumbar (02, 04, 00), el traumatólogo del servicio hospitalario concluye informando, e interpretando, que según la RNM se trata de una «Espondilolistesis secundaria a espondililisis antigua», y por lo tanto descarta que su origen esté en el accidente».

En vista de ello, ante la disconformidad con tal criterio médico, se elabora el siguiente informe:

YYY, médico, con ejercicio profesional en..., colegiado nº, requerido a instancia de XXX, por lesiones y secuelas derivadas de hechos de la circulación, una vez estudiada la cuestión que se le plantea, emite informe:

1. *Antecedentes*: el día 01, 01, 00, hace 10 meses, JJJ, de 36 años, sufre accidente de tráfico, que resumidamente, se desarrolló así: cuando se encontraba detenido, como conductor de su propio automóvil, sufre un impacto posterior, alcance por otro vehículo, y a su vez, fue a chocar contra el vehículo que se encontraba

delante (choque en cadena). Del centro hospitalario donde fue atendido se emite el siguiente informe de alta: «Espondilolistesis L4/L5, grado I, con espondilolisis, hernia discal L5-S1, pequeña, y hernia anterior L4-L5, ...»

2. *Balance actual*: el lesionado se examina por vez primera en esta consulta el día 01, 11, 00,

- Síntomas:
- Exploración física:
- Exploración instrumental: radiología simple (01, 01, 00): espondilolistesis L4-L5, asociada a rotura del istmo interapofisario L4 izquierdo. RNM lumbar (02, 04, 00): espondilolistesis grado I L4 sobre L5, en relación con espondilolisis, a confirmar con RX. oblicuas; herniación anterior L4-L5; pequeña hernia discal L5-S1. EMG (01, 11, 00): denervación mixta L5 izquierda, moderada, reagudización respecto estudio previo, (10, 06, 00); denervación mixta, severa, S1 izquierdo (reagudización); denervación crónica moderada L5 derecho. Gammagrafía ósea (10, 11, 00): aumento de captación en el lado izquierdo de L4, compatible con lisis inferior a un año.

3. *Juicio diagnóstico*: lumbalgia severa, con ciatalgia (denervación mixta L5 izquierda, moderada; denervación mixta izquierda, severa; denervación mixta S1 derecho) que se asocia a rotura del istmo interapofisario izquierdo de L4, Hernia discal L5-S1, pequeña (y hernia anterior L4-L5).

4. *Nexo de causalidad*: pleno y directo: la lesión referida se ha estimado por los hechos de la circulación aludidos. Tal nexo de causalidad se establece en atención a los siguientes criterios:

a) *realidad traumática*: el día 10, 01, 00, a las 8,30 AM, JJJ, varón de 36 años, relación peso/talla 175/83, peón de la construcción, sin patología previa, cuando se dirigía al trabajo, al cabo de 20 minutos de viaje, sufre accidente de tráfico, teniendo detenido, bajo la acción del pedal del freno, el automóvil que conducía (tipo.... de 900 kg de peso), en vía recta, sufre el alcance, por impacto posterior, de otro vehículo, a lo que siguió choque de su propio vehículo, al ser lanzado contra el que se hallaba delante (a muy escasa distancia).

b) *cronología sintomática*: es a partir de la fecha del accidente en que el lesionado manifiesta síntomas clínicos de carácter lumbalgico, con ciática izquierda, de evolución progresiva hacia su empeoramiento. Tal agravación progresiva, desde la fecha del accidente en días sucesivos, (y más a medida que «carga», en especial en bipedestación) se relaciona con factores de desplazamiento a nivel del foco de lisis interapofisario.

c) *topografía lesional*: la descripción sintomática del lesionado (lumbalgia con ciatalgia) se corresponde con los hallazgos exploratorios.

d) *suficiencia diagnóstica*: las exploraciones clínicas practicadas y demás pruebas han sido las requeridas para explicar dentro del contexto lesional la patología descrita en el juicio diagnóstico.

Dentro de las pruebas diagnósticas se ha practicado también, ultimamente (10, 11, 00), una gammagrafía ósea, con el fin de determinar si la espondilolisis del istmo interapofisario de L4 es antigua o no. Tal gammagrafía ósea (10, 11, 00) establece que las imágenes muestran un aumento de captación del lado izquierdo de L4, compatible con lisis de evolución inferior a un año.

Al efecto conviene recordar que *«la gammagrafía permite detectar la espondilolisis de adquisición más reciente y sintomáticas, ya que en tales alteraciones se acumula el radionúclido, mientras que no lo hace en las espondilolisis más antiguas y asintomáticas; El palpé de la RNM –resonancia magnética– como método diagnóstico de la espondilolisis parece más limitado»* (Donald Resnick, 1998).

Por otro, la interpretación de la RNM lumbar que se le remite al traumatólogo del centro hospitalario aludido no es la exacta, ni es la correcta, por cuanto dicha RNM lumbar dice: «no se observa edema en la médula ósea de las apófisis espinosas que indiquen la existencia de traumatismo agudo;.... espondilolistesis grado I de L4, en relación con espondilolisis (a confirmar mediante RX. oblicuas)

De esta forma la RNM lumbar referida en ningún momento dice que la espondilolisis sea antigua, es más, ni siquiera es capaz de establecer con seguridad su existencia (tanto que indica, expresamente, «a confirmar mediante RX. oblicuas»); y esto está en consonancia con la limitada capacidad de resolución diagnóstica de la RNM para estos casos; lo que sí dice la RNM lumbar es que «no se observa edema en la médula ósea de las apófisis espinosas que indiquen la existencia de traumatismo agudo». Pero hay que observar que la espondilolisis de la que se habla interesa al istmo interapofisario, estructura anatómicamente distinta de las apófisis espinosas.

En relación con ello, también se puede considerar que aún recibido un impacto directamente sobre una apófisis espinosa, ésta puede muy bien no fracturarse, y descargar en cambio en empuje de la energía cinética a nivel interapofisario, por un mecanismo de transmisión y descomposición de los vectores de fuerza actuantes, fracturándose uno de ellos: las apófisis espinosas sirven de transmisión de la fuerza del impacto.

e) *estado anterior*: no existen síntomas ni datos exploratorios que pongan de manifiesto un estado anterior en relación con la patología descrita. Por otra parte, el lesionado, peón de la construcción, de 36 años, hasta la fecha del accidente, desempeñó su trabajo de forma ininterrumpida, sin antecedentes de baja laboral.

f) *mecanismo lesional*:

- *pre-impacto, posición de partida*: sentado, en el puesto de conducción, normal alineamiento del sinusoide vertebrado; cinturón de seguridad; reposa-cabezas; no *airbag*.

- *impacto, desarrollo del accidente*: cuando tenía detenido su vehículo, bajo la acción del freno, de forma brusca e inesperada, recibe un impacto posterior, muy violento, que lo lanza contra el vehículo que le precedía (también parado, y a muy escasa distancia). Pérdida de conciencia durante la secuencia cinemática descrita, que recupera al ser evacuado por otros automovilistas.

Hidden page

se produce rotura de los elementos mecánicos de sujeción del respaldo del mismo asiento.

De este modo, el cuerpo del lesionado, en brevísimo tiempo, queda sin control voluntario, y se deduce:

– en una primera fase, recibe un impacto directo sobre la región lumbar, que se hiperextiende, entrando en hiperlordosis, como consecuencia de la rotura de la sujeción del respaldo, favorecida por la acción de palanca que en primer instante se canaliza por la extremidad inferior derecha, dado el reforzamiento del apoyo del pie sobre el pedal del freno. Así se explica la hernia discal anterior a nivel de L4-L5, y, además, una acción traumática suficiente (por la acción de la percusión del impacto, favorecida por la hiperlordosis) para fracturar el istmo interapofisario de la vértebra L4 (cadena cinética abierta invertida). Junto a los esquemas de CCA y CCAI aludidos, hay que tomar en consideración un movimiento rotativo sobre el raquis, dada la rotura del elemento de sujeción del respaldo asociado al arranque de los anclajes del asiento en su parte izquierda, como participante en la patogénesis de la listesis (con lisis izquierda).

– en una segunda fase, de la misma secuencia cinemática, hay un desplazamiento en hiperflexión de la región, explicando la lesión en el raquioma L5-S1 (hernia discal L5-S1; anótese que el nivel L5-S1 es el más móvil de la región lumbar, estimándose en un 65-70% su movilidad). En atención a la biocinemática del lesionado que se acaba de referir, junto a los datos que abundan sobre la violencia del impacto recibido, se explican también las lesiones radiculares descritas.

• Hay que anotar, además, que la existencia de la rueda de repuesto en el maletero del vehículo inicialmente percutido (del lesionado) evitó que la intrusión de la parte posterior fuese mayor, pero al mismo tiempo hizo que la absorción de la energía cinética de los impactos también fuese menor por esa estructura mecánica, efectos éstos que provocan una mayor absorción del golpe por el cuerpo de la víctima, con sus consecuencias lesionales:

5. *Déficit funcional*: Genérico, Específico,
6. *Daño «d'agrément»*:
7. *Dolor y sufrimiento soportados*:
8. *Daño estético*:
9. *Daños futuros y potenciales*:

Y esto es cuanto lealmente puede informar en ciencia, de lo que da traslado a la parte interesada a los efectos pertinentes.

....., a de 1999

Fdo. YYY

Cuando se trata de un *atropello*, merece un planteamiento singular, o al menos con algunas modificaciones sobre el anterior, así:

- *Persona lesionada*

- Tipología (edad, peso/talla, obesidad, menoscabos previos al accidente, etc.).
- Número de lesiones, distribución, severidad (nivel de conciencia, datos médicos en el momento de la admisión, informes hospitalarios, control evolutivo).
- Objetos aportados por la víctima susceptibles de autolesionarle.

- *Vehículo implicado*

- Tipo y características:
 - contorno (en V, anguloso, alto y plano)
 - ángulo de ataque ($<70^\circ$; $>80^\circ$)
 - altura del parachoques
 - velocidad
- Daños externos apreciados en el vehículo.
- Daños internos (en su caso).
- Peculiaridades de la superficie impactante.

- *Escenario de accidente*

- Centro urbano. Elementos de señalización (pasos de cebra, semáforos, etc).
- Carreteras, Autovía, Autopista.
- Características del trazado de la vía.

- *Cinemática del lesionado*

- pre-impacto: posición del cuerpo con relación al vehículo (frente-anterior, posterior, perfil-derecho, izquierdo);
- impacto: atropello completo, incompleto; desplazamiento global, segmentarios; gestos defensivos, etc.
- posición post-impacto
- condiciones de evacuación
- explicación razonada de la patogénesis lesional

Los siguientes ejemplos* sirven para comprender la cinemática del sujeto en ciertos casos:

- *sujeto de frente* (ensayo a 10 km/h)

- apoyo de los dos miembros inferiores sobre el conjunto parachoques-calandra;
- inclinación del cuerpo y choque en el medio del capó con la cabeza;

* Estos ejemplos se toman a partir del trabajo experimental realizado por Ramet, M. Cesari, D., Cavallero, C. *Reconstitution d'accidents piétons*. Convention d'études DRCR/ONSER, febrero 1980.

Hidden page

(Hay que considerar, según los autores de estas experiencias, la posibilidad, aunque excepcional, de que la parte terminal de la apófisis xifoides del esternón atravesase al hígado, dando lugar a herida penetrante de la viscera, en un movimiento de torsión del tórax con relación a la cadera, asociado al basculamiento hacia adelante del tronco).

- *sujeto de perfil* (ensayo a 25 km/h)
 - impacto sobre el miembro inferior derecho;
 - apoyo de la cadera y del codo derecho sobre el capó, permaneciendo el cuerpo en posición lateral;
 - la cabeza choca contra la pared baja del parabrisas, con rotura del mismo;
 - movimiento de retorno y deslizamiento sobre el capó, con caída violenta al suelo;
 - lesiones: traumatismo complejo de la rodilla: fractura de la cabeza del peroné derecho, con arrancamiento del ligamento lateral interno derecho, y arrancamiento de ligamento lateral externo de la rodilla izquierda. Este arrancamiento del ligamento lateral externo de la rodilla izquierda sobreviene en atención a la violencia del choque, suficientemente importante como para transmitir los efectos del choque al miembro inferior indirectamente alcanzado, el cual sufre un movimiento de flexión lateral que estira y desinserta el ligamento lateral externo.

El siguiente ejemplo se plantea a partir de un caso real. Se trata de un lesionado de 71 años, relación peso/talla 75/162, que es atropellado en un centro urbano, por un vehículo tipo turismo. El lesionado, en el momento del accidente, camina con muletas y, además, tiene implantada una pierna ortopédica, por amputación a nivel del tercio medio del muslo derecho.

La *declaración del conductor del vehículo*, ante la autoridad municipal, es la siguiente: circulaba a 40 km/h, en sentido este-oeste; ve al lesionado a una distancia de 50 metros, el lesionado cruzó la calle en sentido norte-sur, pero ya cuando había sobrepasado su carril de circulación, «de repente se dió la vuelta, volviendo sobre sus pasos», siendo entonces cuando lo atropelló, impactándole sobre su hemicuerpo derecho; (es decir, cuando al darse la vuelta, se puso a cruzar la calle en sentido sur-norte, impactando el vehículo del conductor por su hemicuerpo derecho).

No obstante la *versión del lesionado* es diferente: dice que lo que afirma el conductor no se ajusta a la realidad, pues el cruzaba la calle en sentido norte-sur, recibiendo el impacto del automóvil por su hemicuerpo izquierdo; no es cierto que volviese sobre sus pasos.

Se informa cuanto sigue:

1. *Antecedentes*: accidente de tráfico acaecido el día 00, 01, 00, atropello; cuando el lesionado se encontraba cruzando la calle fue alcanzado por un vehículo tipo turismo, que le impacta directamente en su hemicuerpo izquierdo, a lo

Hidden page

- desarrollo del accidente: cuando cruzaba la calle fue impactado a nivel de su hemicuerpo izquierdo (*según testimonio del lesionado*) a lo que sigue la pérdida de conciencia; finalmente, el cuerpo se precipita al suelo;
- características del vehículo impactante: turismo, tipo Mercedes. Se trata de un vehículo de contorno anguloso en la parte superior, con altura inferior a los 100 cm, ángulo de ataque mayor de 80°; altura de la defensa al suelo 40 cm;
- lesiones apreciadas en la víctima: T.C.E. –traumatismo cráneo encefálico–, pérdida de conciencia. Contusiones múltiples. Herida inciso-contusa región supraorbitaria derecha. Diagnóstico principal: T.C.E. con hematoma subdural de localización parietal izquierda (*según el informe hospitalario*);
- daños apreciados en el vehículo impactante: abolladura en el capó delantero, con hundimiento en su parte central izquierda;
- reacción defensiva de la víctima: en el preimpacto, sobreapoyo de la manos en las muletas y aumento de tensión muscular sobre la extremidad inferior izquierda; no hay gestos defensivos en el impacto, que se sigue de pérdida de conciencia;
- post-impacto: el lesionado es recogido del suelo, y evacuado, en estado inconsciente, en vehículo ambulancia, al centro sanitario más próximo y, al cabo de tres horas, se traslada a un centro hospitalario de mayor dotación. No se presumen lesiones sobreañadidas después del atropello, con ocasión del traslado y manipulación del herido.

En atención a las premisas anteriores, la *orientación razonada del mecanismo lesional* se explica así:

- Al cruzar la calle, la víctima sufre impacto por el vehículo descrito en su hemicuerpo izquierdo, a una altura entre la cadera y el tercio superior del fémur izquierdo (variando la zona de impacto en atención al impulso ascensional del cuerpo en el momento del preimpacto) a lo que sigue, a raíz del impacto, proyección del cuerpo sobre el capó del vehículo; esto es, la víctima es proyectada hacia arriba y lateralmente, viniendo a caer sobre la cubierta del capó. Es entonces cuando se golpea la cabeza en su parte izquierda, con violencia suficiente como para abollar el capó del automóvil impactante en su parte central izquierda, y producir, subsiguientemente, un hematoma localizado en la región parietal izquierda (lesión principal). Breves instantes después de este primer impacto (principal) sigue, una vez golpeado en la cabeza, un giro de la extremidad cefálica, con el resto del cuerpo, en sentido anterior, alcanzando el sobresaliente de la ceja derecha (que explica la herida inciso-contusa a nivel de la región supraorbitaria derecha). Se describe también, según la resonancia magnética, un pequeño hematoma frontal derecho, atribuible al segundo impacto, al tiempo de la lesión supraorbital derecha (correspondiendo, topográficamente, a un área de vecindad con tal región supraorbitaria derecha).

El lesionado, dado su menoscabo en la extremidad inferior derecha, tiene muy desarrollada la fuerza muscular en la extremidad simétrica, imprimiéndole especial tensión en situaciones de peligro y alerta, como en el caso del accidente. Hay que considerar, pues, que la fuerza y tensión establecida sobre la extremidad inferior izquierda (la que no tiene prótesis), favoreció la proyección lateral de la víctima sobre el capó del automóvil; de este modo la extremidad inferior izquierda, a raíz del accidente, ha actuado como un brazo de palanca de segundo género en el impulso ascensional del cuerpo hasta proyectarlo sobre el capó del vehículo referido.

La tesis de que el lesionado fue alcanzado por su hemicuerpo derecho no resulta explicable biocinemáticamente, en atención a la topografía de las lesiones descritas, que a su vez se relacionan con los apreciados en la parte externa del vehículo (capó delantero). Por otra parte, también conviene considerar que el lesionado es portador de una prótesis en la extremidad inferior derecha (insertada ya desde el muslo) y ha de deambular lentamente, con la ayuda de las muletas. Si el conductor, como tiene declarado, circulaba a 40 km/h, y ve a la víctima a 50 metros, quiere esto decir que esos 50 metros los tarda en recorrer 4,5 segundos, resultando imposible que en ese tiempo pueda apreciar como la víctima cruza la calle y vuelve sobre sus pasos en la forma descrita por el conductor.

Propuesta y conclusiones prácticas

– El análisis cinemático de las lesiones por hechos de la circulación se ha de ver reflejado en la historia clínica de las víctimas de estos traumatismos, habiendo de suscitar, igualmente, interés y su reclamo en el ámbito forense.

– Es deseable contar con una ficha protocolaria en que figuren datos que sirvan para contribuir a la reconstrucción del accidente, cuya aplicación, no obstante, siempre será de forma individualizada al caso.

– Las autoridades del tráfico, junto con sus agentes, se han de involucrar en este contexto, procurando que la recogida de datos responda a un protocolo; un protocolo para la recogida de datos a raíz de accidentes por hechos de la circulación, agilizando los trámites jurídico-administrativos pertinentes, dando facilidades para el conocimiento de los datos del atestado, con el fin de impulsar y mejorar la labor médica en este terreno y todo ello bajo el común denominador de la adecuada coordinación.

– Es importante disponer de los datos fotográficos del accidente (reportaje fotográfico), revelaciones de los testigos y demás circunstancias, para apreciar las condiciones del pre-impacto, las características del impacto y los hechos que pudieran haber sucedido a continuación, tanto para información previa para ayuda al personal sanitario de urgencias como para análisis y actuaciones ulteriores.

«En el aspecto médico-forense, se debe considerar los problemas de imputabilidad que plantean una secuela tardía o una muerte que se demora en el tiempo, después del accidente: *ciertas fracturas o lesiones internas permanecen sin diagnosticar durante horas, o los días que siguen al tratamiento de un politraumatizado de accidente de tráfico*» (Mercier, Lambert, Görtz, Wirringer, Desmarez). «En la valoración de los resultados y de las consecuencias de un accidente sólo se suelen considerar lesiones importantes,..., aunque también *es importante la*

observación de la víctimas durante cierto tiempo después del accidente, dado que pueden producirse lesiones de cierta gravedad que no se manifiestan inmediatamente» (F. Camps).

– Tratándose de niños, mujeres embarazadas o personas de edad avanzada, se ha de procurar un seguimiento muy estrecho de estos lesionados en estos casos de accidente de tráfico.

– El campo de la investigación ha de ser impulsado, precisando, evidentemente, una colaboración multidisciplinar, especialmente entre físicos, ingenieros y médicos, aplicándose en la reproducción experimental de los accidentes, estableciendo líneas de trabajo, buscando los siguientes propósitos:

- Análisis global del accidente.
- Elaboración de un espectro de posibles lesiones en relación a la naturaleza del impacto, colacionando situaciones nuevas, a la vez que se profundiza en los conocimientos ya existentes.
- Establecer propuestas y conclusiones para idear habitáculos y sistemas de retención y protección que contribuyan a mejorar la seguridad, aminorando las consecuencias nefastas del accidente automovilístico.
- La realización de la autopsia completa y sistemática en los cadáveres de aquellas víctimas por hechos de la circulación, *con fines de investigación*, es una práctica que ha de merecer especial atención, pues las aportaciones de tales exámenes podrán contribuir de forma decisiva a un mejor conocimiento y desarrollo de la labor en este terreno, así como poder disponer de grupos generales de lesiones para cada tipo de accidente y «patrones» lesionales de tipo orientativo, patrones cinemáticos que expliquen la patogénesis lesional.
- disponer de un archivo hospitalario de lesiones de tráfico, con datos de carácter global del accidente, con referencia en particular a la localización topográfica de las lesiones, lo más precisa posible, incluyendo los cambios macroscópicos y microscópicos apreciados, facilitando, finalmente, su acceso a los investigadores.
- los accidentes «sin lesiones» también han de interesar la investigación, ya que pueden proporcionar datos sobre los comportamientos de los mecanismos de seguridad*.

– En cualquier caso, en la fase de recepción de los accidentados han de considerarse los siguientes axiomas¹:

- Hasta probarse lo contrario, debe considerarse que todo paciente inconsciente politraumatizado presenta lesión de columna cervical.
- Durante la evaluación de las lesiones cefálicas el nivel de consciencia es un signo de suma importancia.

* Perrin, C., Cavallero, C., Bonnoit, J., Fernández, F. En: *Enquête multidisciplinaire sur les accidents de la circulation*. INRETS, Laboratoire de Biomécanique appliquée, marseille (France). III Coloquio National sur la Sécurité Routière, Casablanca (Marruecos), 5 y 6 de diciembre de 1996.

¹ Wilder, o. c., pág. 10.

Hidden page

Obra que, considerando el accidente de tráfico como singularidad traumática, analiza distintas modalidades lesivas, diferentes patrones lesionales, atendiendo a la patogénesis de la deformación del biosistema, por el efecto de la confluencia de pluralidad de agentes (movimientos comunicados, gestos motores, cadenas cinemáticas y cinéticas que se ponen en marcha ante aceleraciones y deceleraciones segmentarias y globales), en el contexto biocinemático, de acuerdo con la geometría del desplazamiento del cuerpo humano, y como respuesta del sistema constituido por la *interacción hombre-máquina-entorno*, ante una violencia que irrumpe súbitamente, propiciando un escenario hostil.

Se ha intentado, partiendo de la reacción de defensa que surge en el preimpacto, junto con sus condicionamientos, y dado el mecanismo patogénico activado a raíz del impacto automovilístico, aportar conocimientos de utilidad, con repercusión práctica; facilitar resortes y medios que, estimulando la capacidad de análisis del lector, sirvan en su momento para su traslado ante un caso problema concreto, como contribución a un mejor conocimiento, a veces con carácter predictivo, y a una mayor información, para, en definitiva, poder alcanzar un diagnóstico más certero de los daños, en referencia al nexo causal de las lesiones y secuelas realmente habidas y derivadas del accidente.

ISBN: 84-7478-415-6



9 788478 794157

E-mail: ediciones@diazdesantos.es
Internet: <http://www.diazdesantos.es>