

# Una teoría (muy) general para la reconstrucción de siniestros

*Gallardo Ortiz M. A.<sup>(1)</sup>*

## INDICE

Introducción .....	pág. 2
Una aproximación matemática para la reconstrucción pericial.....	pág. 3
Física general para la modelización y simulación. Mecánica teórica.....	pág. 4
Ingeniería para la reconstrucción de siniestros.....	pág. 6
Técnicas modernas de reconstrucción de accidentes.....	pág. 8
Referencias.....	pág. 22

## **Una teoría (muy) general para la reconstrucción de siniestros**

*Gallardo Ortiz M. A.<sup>(1)</sup>*

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 esencia 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 obra en la literatura jurídica y pericial. En nuestra opinión, el ingeniero en el juzgado difícilmente pueda 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:

$$\begin{aligned}f^1, (X^1, X^2, \dots, X^n, t) &= 0 \\f^2, (X^1, X^2, \dots, X^n, t) &= 0 \\f^m, (X^1, X^2, \dots, X^n, t) &= 0\end{aligned}$$

Puede idealizar la realidad relevante en una reconstrucción entre el momento  $t = 0$  y  $t = t^{(\text{fin})}$ , donde el momento 0 es el origen de tiempos de reconstrucción y  $t^{(\text{fin})}$  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:

$$\begin{aligned}X^{1'} &= f^1, (X^1, X^2, \dots, X^n, t) = 0 \\X^{1''} &= f^2, (X^1, X^2, \dots, X^n, t) = 0\end{aligned}$$

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 cualesquiera 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 lo tanto, de responsabilidades civiles y penales.

### ***Física general para la 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 podamos 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 una 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 en 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, ésta es la misma esencia y 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 video.*

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 video de menos de un minuto de duración que se visualiza en el juzgado o en 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 las 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 lo 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 articulaciones de masas mecánicamente articuladas de forma compleja.

Actualmente se dispone de recursos técnicos suficiente 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 los 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 la 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 puedan 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 contraria 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 en 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 puramente cinemáticas, por muy vistosas que resulten. Incluso es posible, y en ocasiones muy recomendable, la contraperitación 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" (2). 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 de accidentes 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.).

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 adapte 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 más (3).

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 todo los movimientos, cadenas cinemáticas, y, en general, la posición de 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 producen, o, en todo caso, la influencia sería insignificante (no se olvide que el cuerpo pesa tanto como  $g$ , fuerza de la gravedad- está sometido).

Para proceder a la reconstrucción, en primer lugar, se han de acumular los suficientes elementos de información ( a partir del *input*, de tal entrada de datos, profundizando en los aspectos biomecánicos y biocinemáticos), con sus correspondientes cálculos, para que se pueda realizar un análisis de simulación aceptable, a lo que ha de seguir una interpretación rigurosa, tanto que si se desconocen estos aspectos no es posible realizar un informe pericial serio o, simplemente, un informe pericial (4).

Entrando en matizaciones, se puede distinguir entre "reconstrucción" y "simulación". La reconstrucción trabaja con los datos desde el final al principio; la simulación, por el contrario, inicia el tratamiento desde el principio para llegar al final. Pero en cualquier caso siempre se parte de toda la información disponible, dándole un tratamiento científico (lo que es distinto de meras recreaciones, presentadas con animaciones, a veces muy cautivadoras, pero que desconoces tal carácter y rigor científico).

Igualmente se debe concretar el modo en el que se ha elaborado la resolución; esto es, si realmente se han llevado a cabo todas las ecuaciones diferenciales de la dinámica de sólidos, en resolución 3D (tridimensional), o si, en cambio, se trata de una resolución en 2D, simplificada, y que luego se presenta en forma de 3D; también cabe la posibilidad de que la resolución sea meramente estimativa (y por tanto con menor valor que las anteriores). Por tanto hay que distinguir entre resolución 3D (auténtica, completa, con todas las ecuaciones diferenciales), resolución en 2D, y resolución meramente estimativa (de tanteo).

Los modelos generados científicamente quieren explicar, y a veces reproducir, conductas humanas complejas, y a veces existe la tentación de cultivar el reduccionismo sin tener en cuenta el gran número de parámetros adecuados a 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 casual, 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 casual, 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" e 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 en especial adaptar en tiempo real la respuesta de los sistemas de video-registro con el momento de 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 desaceleración 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 maniqués, como, por ejemplo, el HYBRID III, y, aunque el comportamiento de tales maniqués 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 la 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 cinemática 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 tránsito. En este marco, se ha podido desarrollar un paquete informático denominado SIVAT (o Simulador de Víctimas de Accidentes de Tránsito), cuyas características generales se exponen ahora tal como sigue (5).

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 tránsito. 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 maniqués de impacto *dummies* con segmentaciones diferentes. La segmentación mínima para conseguir un grado de precisión aceptable se presenta 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.

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 como 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 del cálculo dinámico se ha empleado la técnica de *bond graph*

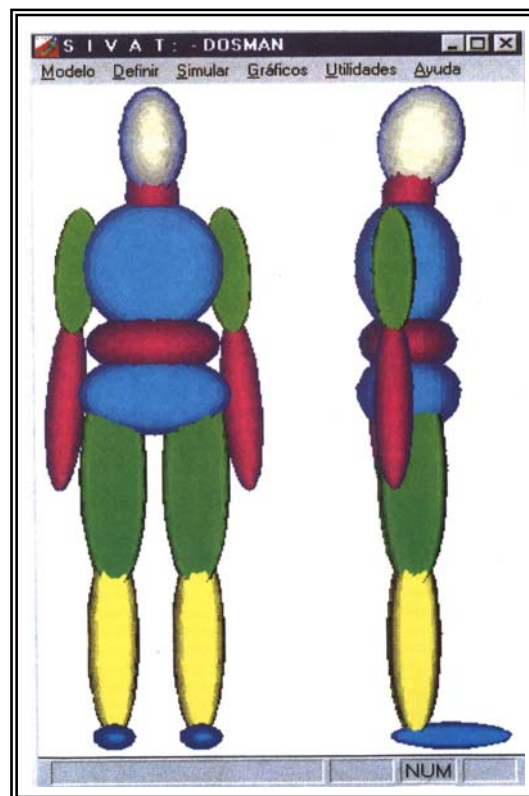
FIGURA 12.1

El programa SIVAT está preparado para incluir distintos 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 tránsito. 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 (6)), 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 lesiones. El modelo ATB es un programa de ordenador tridimensional, utilizado como herramienta para la reconstrucción de los accidentes de tránsito, 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 de 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.

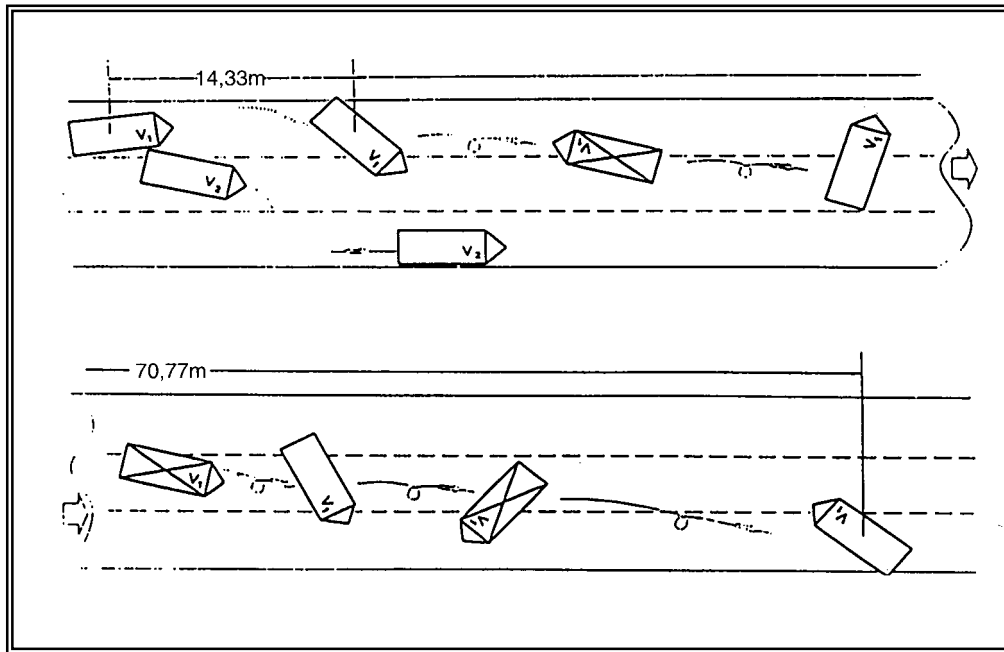
-Fuerzas de contacto plano/segmento y segmento/plano.

-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 la información disponible en el informe del accidente" (Figs. 12.2, 12.3, 12.4 y 12.5).

Si bien los simulacros con ordenador no representan con exactitud los pequeños detalles del accidente, proporcionan, no obstante, un modelo fiable del comportamiento del ocupante que puede analizarse en estudios paramétricos investigando las contramedidas de las lesiones. En cualquier caso, la fiabilidad de un simulacro está en función de los datos disponibles en el informe del accidente.

Otro sistema utilizado en la investigación de las lesiones por accidentes de tránsito es el que se conoce como MADYMO (cuyas siglas responden a los términos *MAtemáticaL DYNamic MOdels* del TNO Crash-Safety Research Centre), muy versátil, dadas sus múltiples aplicaciones (seguridad en los accidentes de automóviles y motocicletas, seguridad en el interior del habitáculo y elementos que contribuyen a aumentarla, reconstrucción de accidentes, etc.) (6). Ofrece opciones especiales para analizar la reacción del cuerpo humano bajo determinadas cargas de impacto; se pueden obtener los parámetros lesionales a partir de la base de datos disponibles, de forma que el usuario puede diseñar un modelo de trabajo sobre tales datos, y así predecir el tipo de lesiones que se pudieron haber producido.



**FIGURA 12.2**  
Diagrama de la colisión (ATB).

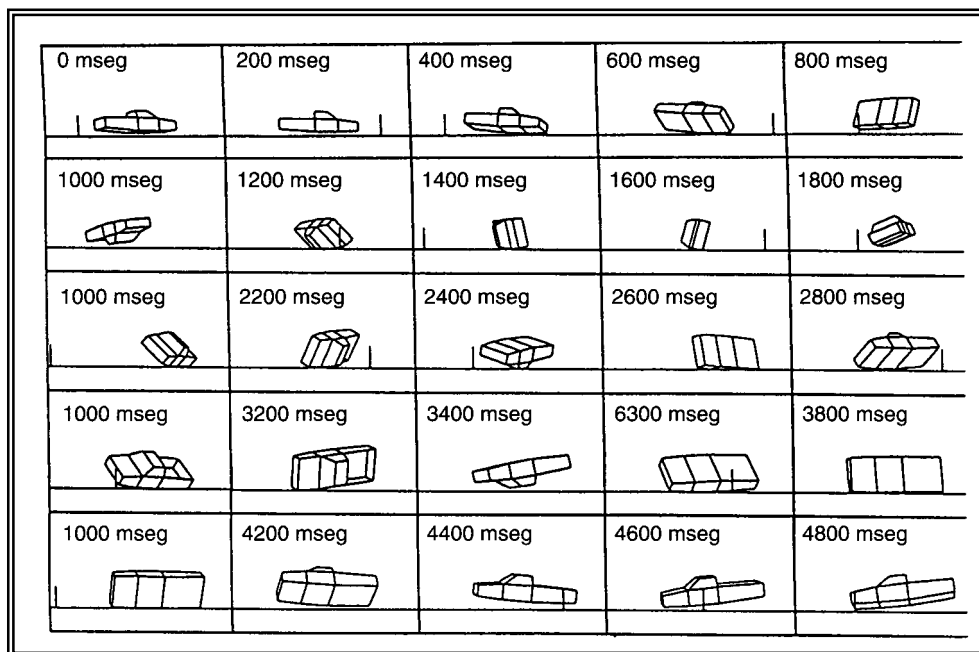
MADYMO ayuda al investigador en la reconstrucción del accidente, proporcionándole un conocimiento acerca de los movimientos del vehículo y/o de los ocupantes.

La reconstrucción del accidente del automóvil con MADYMO, ha de realizarse siguiendo unos criterios de actuación que, de forma resumida, se indican a continuación (7), considerando los siguientes aspectos:

- Movimiento del vehículo y los ocupantes.
- Análisis de las lesiones de los ocupantes, lo que a la vez plantea las siguientes preguntas:

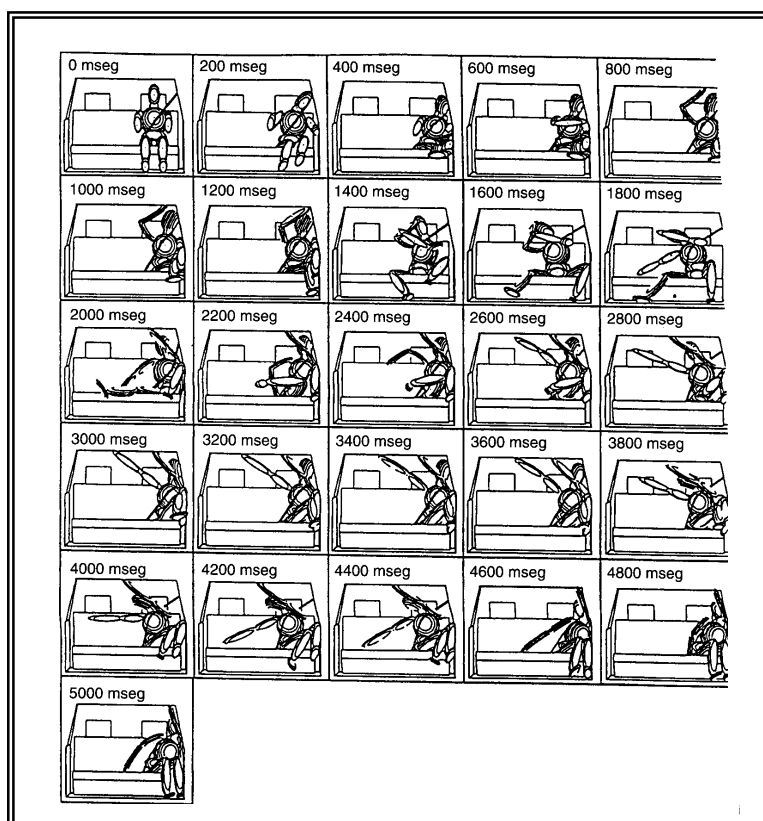
1. ¿Cómo se lesionan las víctimas?
2. ¿Qué contacto provocó la lesión?
3. ¿Llevaban puesto el cinturón de seguridad?
4. Si así es, ¿qué efecto tenían los cinturones?
5. Si los ocupantes fueron expulsados, ¿cuál fue su trayectoria?

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 de datos elaborados sobre modelos antropomórficos, en los maniqués. Se puede emplear el GEOBD, si hace falta disponer de mediciones muy específicas, aunque el GEOBD exige una atención especial a los límites de movimiento de las articulaciones (límites que no se tratan en este trabajo).



**FIGURA 12.3**  
Simulación del accidente del vehículo (ATE).

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 Moton View, los complejos resultados numéricos se pueden ver en la animación. Al plantear situaciones hipotéticas para que sean adecuadas las variables del *input* respecto a los movimientos verdaderos, la idoneidad resulta clara, ya que se pueden comparar los resultados del modelo con los reales.



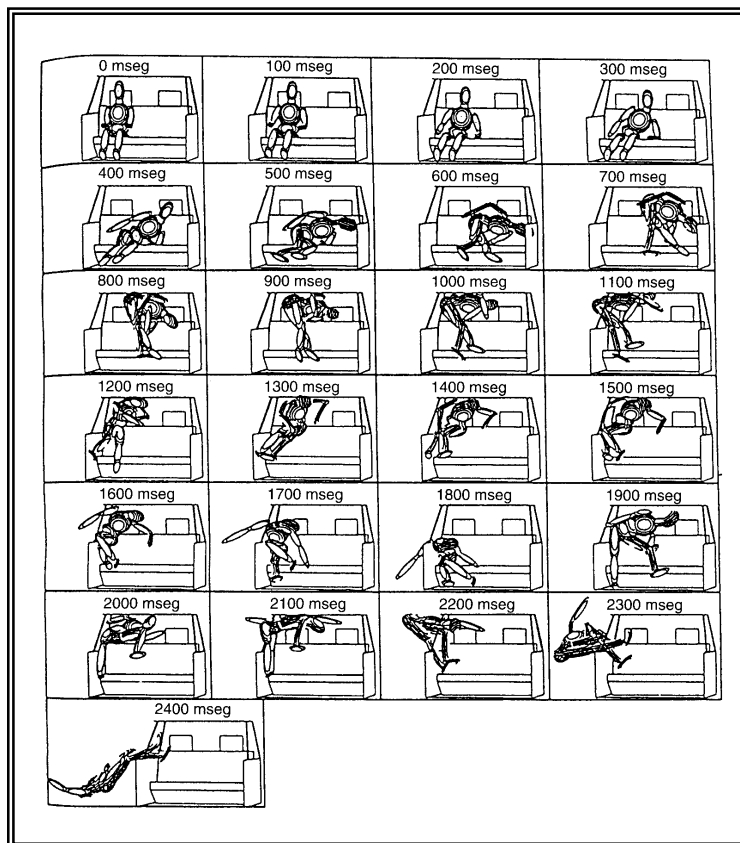
**FIGURA 12.4**  
Simulación del accidente del conductor con cinturón de seguridad (ATB).

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.

### *Movimiento del vehículo*

Los movimientos están presentados en varios formatos. Se puede mejorar la posición con respecto al tiempo, o la aceleración con respecto al tiempo. La posición con respecto al tiempo supone un sistema nulo, o un sistema de movimiento que permite que reaccionen los otros sistemas en movimiento. Es útil cuando se desea examinar la animación del vehículo y del maniquí, moviéndose por el "escenario" del accidente. El pulso de la aceleración, en cambio, es para observar el movimiento del maniquí dentro del vehículo, como si hubiera una cámara montada en el vehículo.



**FIGURA 12.5**  
Simulación del accidente del ocupante sin cinturón (ATB).



### *Modelo de ocupante*

Existen tres opciones: PART III, HYBRID III, o el cuerpo generado por GEOBD.

PART III es un modelo simple, suficiente para apreciar el movimiento en general, o cuando se quiere hacer un estudio rápido.

El HYBRID III se emplea si es necesario ver la interacción con el cinturón, o cómo reaccionan las distintas partes del cuerpo con el interior del vehículo. Al medir el efecto del "desliz" del cinturón, se debe emplear un cinturón adecuado con el HYBRID III. Esto proporcionará una representación fiable de cómo se desliza el cinturón por el cuerpo, dando una idea precisa de la interacción entre el cinturón y las crestas ilíacas, con el tejido blando del abdomen, y con la caja torácica. Para conseguir tanta precisión, es aconsejable utilizar la técnica de interacción de RUNGA-KUTTA, que permite reducir la marcha; las inestabilidades del sistema pueden ser rectificadas al accionar un paso más corto de tiempo.

GEOBD se usa para trabajar con la geometría y el peso del cuerpo del ocupante. Es básicamente el mismo modelo que el PART 572, pero las dimensiones son definidas por el usuario. Se genera al teclear la estatura y el peso de la persona, y entonces todos los "elipsoides" de una persona normal, con esas características serán construidos; en caso de disponer de medidas específicas de la persona; éstas pueden ser anotadas, tal como se muestra en la Tabla 12.2 (estimando 31 parámetros).

### *Tableros, interiores y cinturones de seguridad*

Se trata de representar las superficies interiores del vehículo. Es mejor no usar muchos planos, pero es necesario representar bien las superficies de contacto. Hay que recordar que los planos tienden a crear un modelo inestable cuando un sistema de contacto entra por detrás de la superficie. Esto se reduce usando un parámetro FIN, o colocando un pequeño "elipsoide" al borde del plano. Sin embargo, podría ser más sencillo sustituir el plano por un "elipsoide". En cualquier caso esto requiere práctica.

**TABLA 12.2**

<b>Dimensión</b>	<b>Dimensión</b>
0. Peso	16. Anchura de las caderas (erguido).
1. Estatura (erguido).	17. Longitud de hombro-codo.
2. Altura del hombro.	18. Longitud de 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 ESADIMAD; 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.

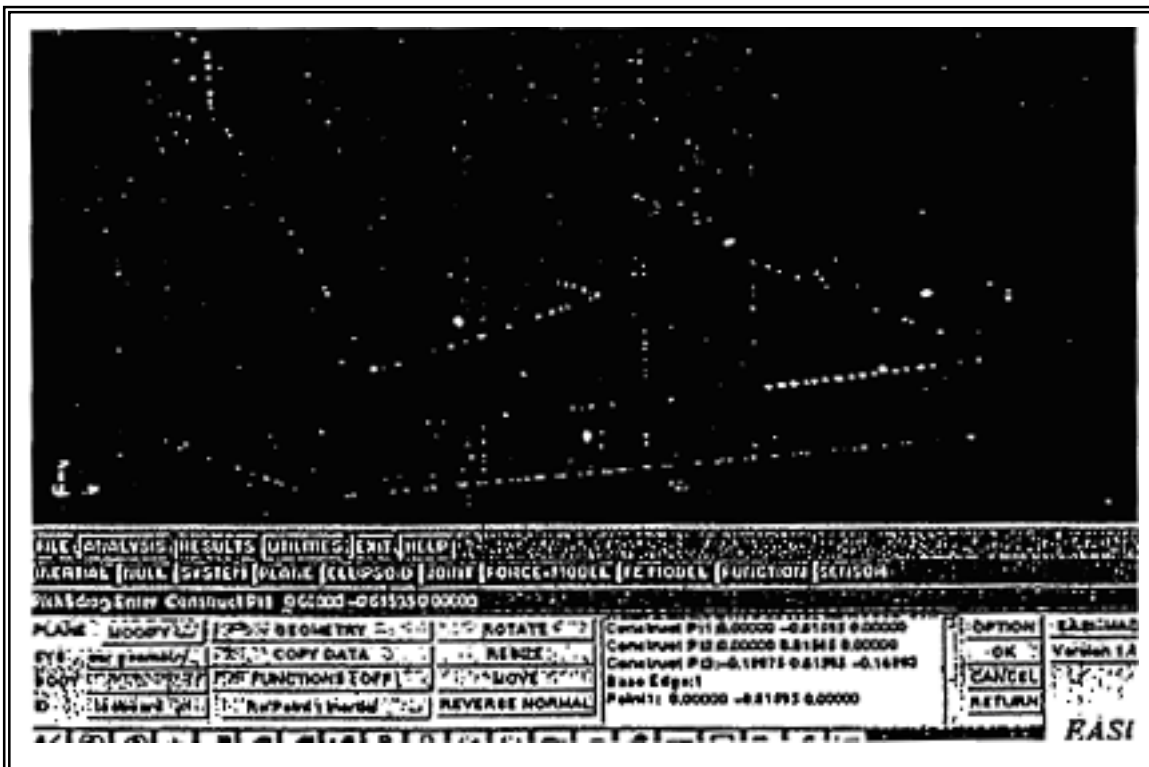
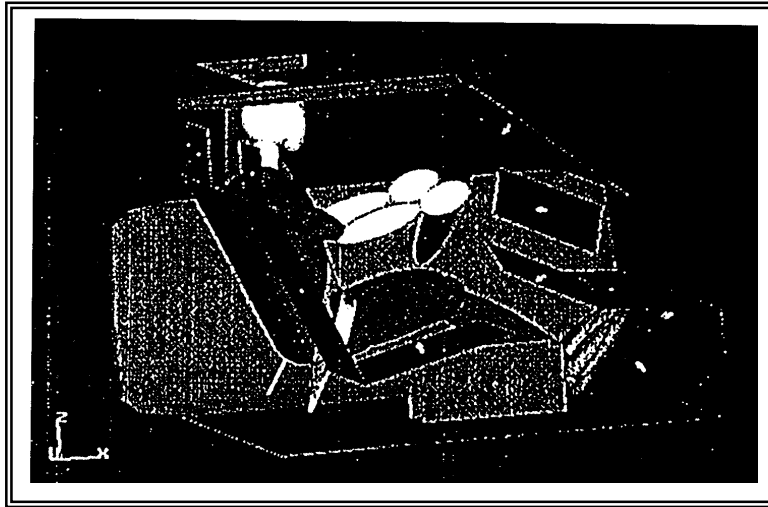
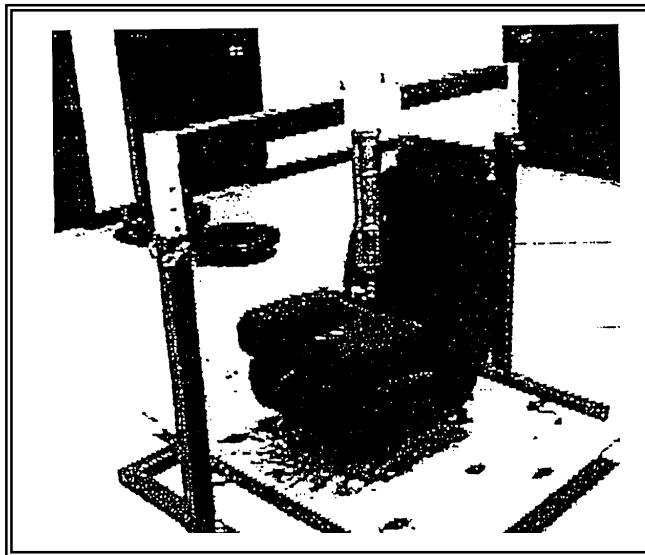


FIGURA 12.6 Generación de planos



**FIGURA 12.7**  
Vehículo terminado (modelo  
MADYMO).

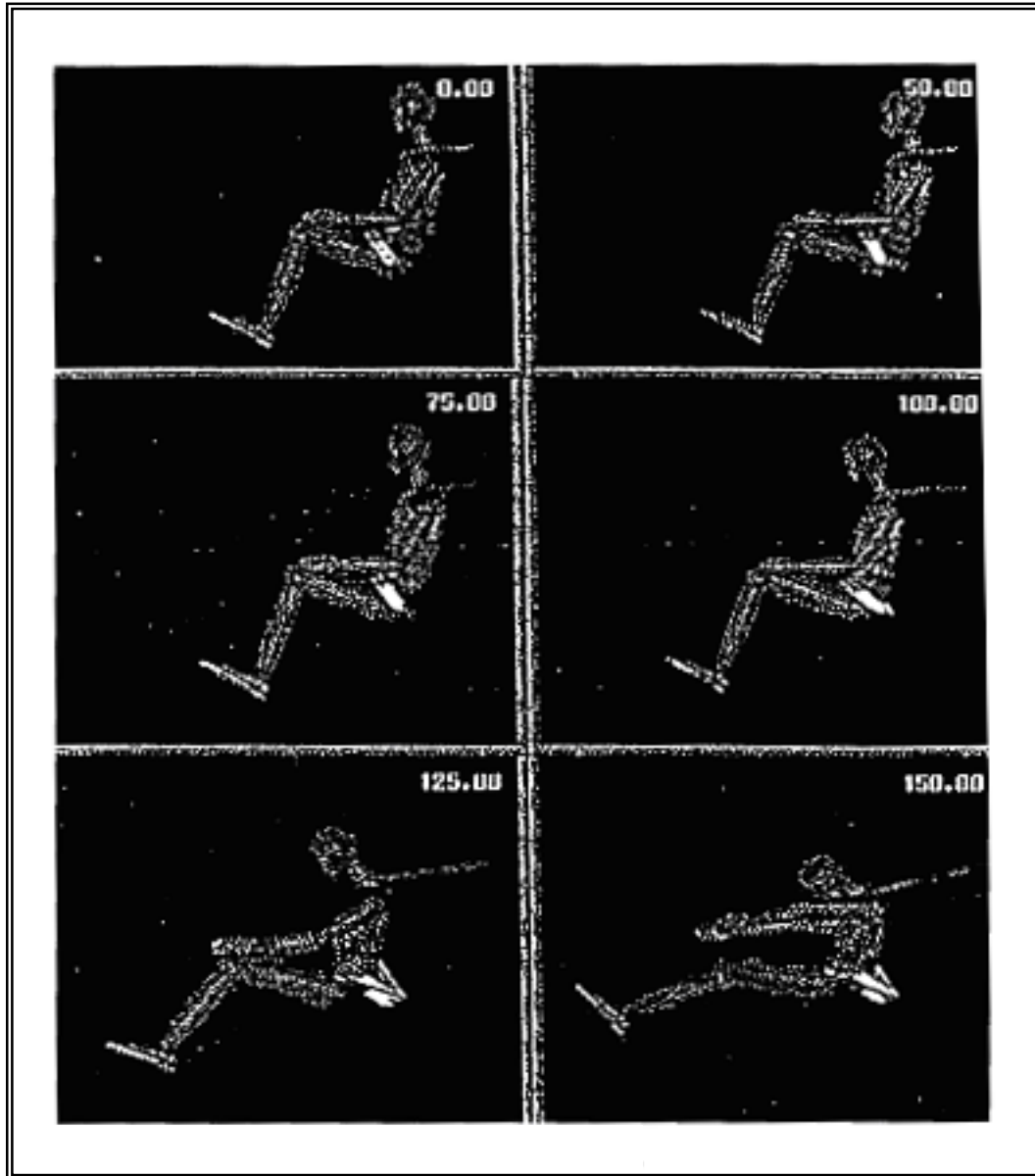


**FIGURA 12.8**  
Fotografía de aparato para el test

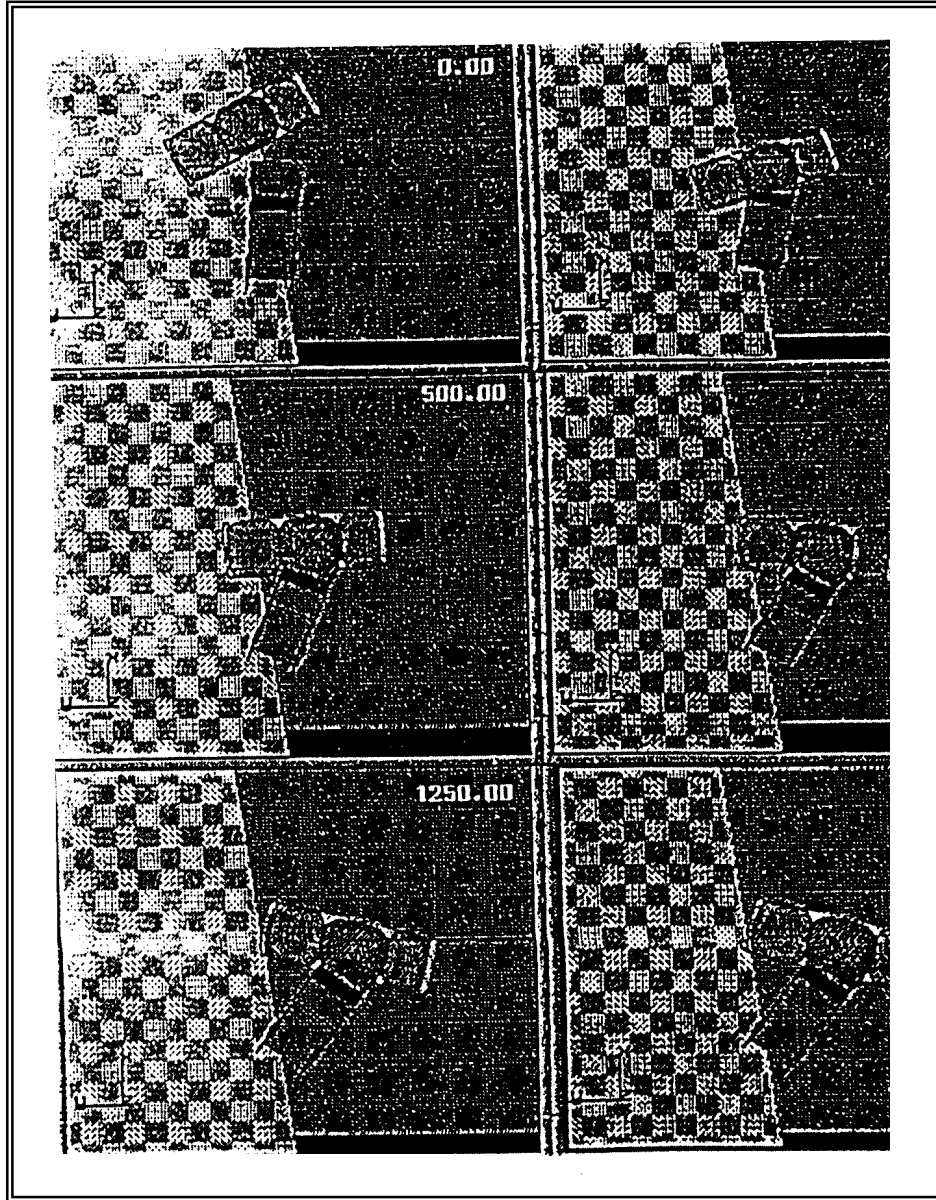
### *Modelar*

El modelo de reconstrucción es similar a otros modelos. Simplemente se escogen los específicos parámetros del *output* que se necesitan.

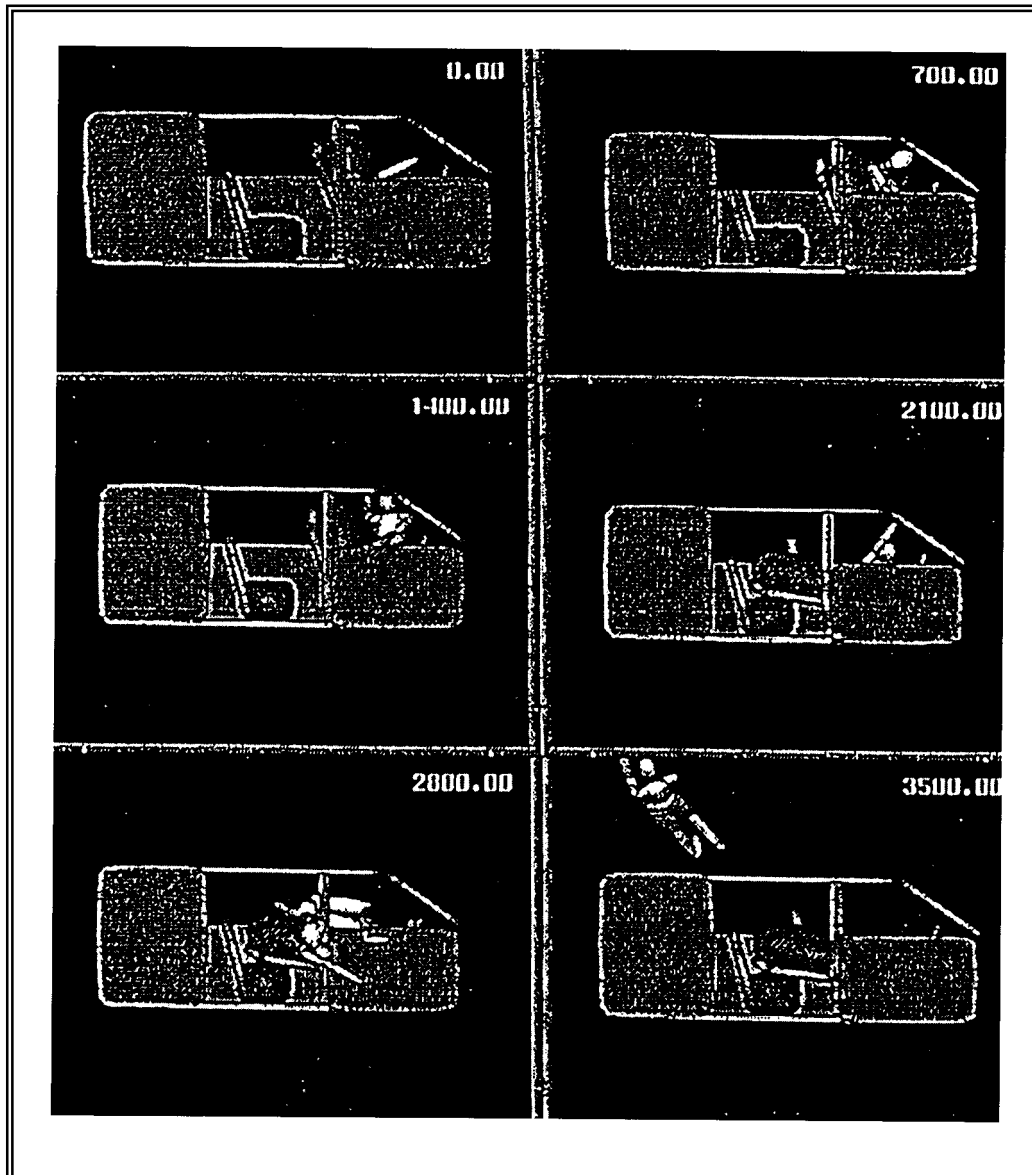
Como ejemplos de reconstrucción con MADYMO, se pueden observar las siguientes figuras, correspondientes a un efecto submarino del ocupante, durante un choque frontal (Figs. 12.9 y 12.10), y la trayectoria del ocupante (con eyección del mismo) a raíz de un vuelco (Fig. 12.11).



**FIGURA 12.9**  
Efecto submarino  
durante un choque  
frontal



**FIGURA 12.10**  
Reproducción de un  
choque



**FIGURA 12.11**  
Trayectoria del ocupante y eyección del mismo con ocasión de un vuelco del vehículo.

## **REFERENCIAS:**

(1) Gallardo Ortiz MA, texto transcrito del trabajo Una teoría (muy) general para la reconstrucción pericial de siniestros. Accidentología y criminalística, publicado en *la Revista Española del Daño Corporal*, N° 7, Madrid, 1998.

(2) Rossinyol Miralles J, La fotogrametría aplicada a la reconstrucción de accidentes de tráfico. *Mapfre Seguridad*, N° 30, Madrid, 1988.

(3) Sobre la animación del movimiento humano por ordenador puede consultarse un interesante artículo en la revista *Investigación y Ciencia*, N° 260, mayo 1998. Barcelona, Prensa Científica, S.A.

(4) Últimamente, la reconstrucción virtual de accidentes se ha presentado en varias ocasiones ante las salas de la justicia. Algunos jueces han expresado su opinión sobre la reconstrucción virtual de sucesos, así: la titular del juzgado de Motril ha admitido como prueba y ha juzgado un caso en el que se aporta la "película" del accidente, estimando que "ayuda a una mejor comprensión los hechos, pero necesita la apoyatura de otra clase de pruebas tradicionales"; para esta juez, siguen siendo no sólo válidos sino necesarios los atestados de las fuerzas policiales, los informes periciales, las aportaciones de los testigos, etc, sobre todo porque "desconozco si las imágenes, por sí solas son manipulables". El magistrado Miguel López Muñoz Goñi, conocido estudioso de esta materia, autor del libro *Accidentes de tráfico; problemática e investigación*, considera que es "un riesgo aceptar como pruebas unas imágenes que no son sino lo que pudo ser el accidente"; no obstante, tampoco quiere negar la validez de la prueba, "pero siempre que se pueda verificar si realmente las imágenes están basadas en un informe pericial en el que se tiene en cuenta deformaciones, masas, energía...". Para Máximo Poza, titular de primera instancia e Instrucción del Juzgado de Logroño, no ve fiable este tipo de pruebas, "porque son de parte y como tal hay que tomarlas"; no obstante, no tendría inconveniente en aceptarlas como un dato más, "pero será el tiempo y la experiencia los que, en su caso, le den valor como prueba fiable". Por el momento se fie más de la lógica y de su experiencia, incluso más que de los propios informes de la Guardia Civil; y según Mauricio Murillo, magistrado juez decano de Zaragoza, el apoyo de la escenificación de accidentes "es muy positivo, porque viene a suplir la inspección ocular que debería hacerse del lugar del accidente, y te ayuda a comprender cómo sucedió"; pero cuando se plantea una sola hipótesis, y viene de parte, "el juez tiene que tener cuidado y considerar sólo los argumentos lógicos y razonables del informe de la Guardia Civil, que se suele equivocar muy poquitas veces". Notas tomadas de la revista *Tráfico*, n.º 130, mayo-junio, 1998.

(5) Según Martínez L. Vera C, INSIA (Instituto de Investigación del Automóvil, Universidad politécnica de Madrid), INDUTEC, VI Semana de la Ingeniería Industrial, marzo, 1998.

\*Para el estudio del comportamiento de los ocupantes se ha 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 el peso; este programa genera grupos 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, *finit element method*-, "mallas", que permitan "discretizar" una estructura tanto como se quiera, o puntualizar en determinados niveles (aunque una mayor pormenorización supone más tiempo y más coste).

(6) MADYNO tiene varias áreas de aplicación, siendo muy valiosas sus aportaciones en todos aquellos datos que sirven para el diseño de diversos medios de transporte (automóviles, motocicletas, seguridad interior de los trenes, aviones y helicópteros, productos consumibles de seguridad) pretendiendo que su diseño industrial se haga buscando la máxima seguridad. Actualmente, los principales centros de investigación en este campo se llevan a cabo en EE UU (TNO-MADYMO North-America, Northville-USA), Japón (CRC Research Institute, Tokyo) y en Europa (TNO Crash Safety Research Centre, Delf-Holanda).

(7) Según las 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.