

**FORO DE INGENIERÍA**  
**Olavarría – 2006**

**LA INGENIERIA FORENSE Y LOS PARADIGMAS DE LA  
INGENIERIA DEL SIGLO XXI**

Ing. Aníbal Oscar GARCIA\*

GIP-baires - Venezuela 1869 9º "C" (1096) Buenos Aires - [agarcia@perarg.com.ar](mailto:agarcia@perarg.com.ar)

\* Ingeniero Mecánico. Especializado en Investigación y Análisis de Fallas

**ingeniería forense ciencia técnica tecnociencia**

## RESUMEN

La Ingeniería, disciplina de las Ciencias Técnicas, tiene una progresiva aplicación en la dilucidación de casos litigiosos derivados de fallas de máquinas y estructuras, de sistemas de transmisión, de protección, de señalización e información, y en general con los elementos técnicos que intervienen en el desarrollo y la organización de la producción, el tránsito de personas y mercancías. En esta especificidad se convierte en el contribuyente por excelencia de aportes únicos e irrepetibles en la investigación de hechos criminales de diversa naturaleza.

En este marco la ingeniería pierde progresivamente su especificidad (civil, mecánica, eléctrica, electrónica) tendiendo a convertirse en un todo *interdisciplinario* (unificación de las especialidades), con trascendencia *transdisciplinaria* a la biología, la sociología, la economía, la arqueología y la paleontología.

La *ingeniería forense* puede ser concebida entonces, como el campo de interacción de las ciencias básicas (matemáticas, física, química y biología), con los conocimientos tecnológicos implícitos en las máquinas y las instalaciones productoras de situaciones de riesgo.

Si bien históricamente la ingeniería se desarrolló como una relación subordinada *-física integrada con tecnología-*, de aplicación de conceptos científicos generales a soluciones para determinados problemas, en las últimas décadas ese paradigma ha sido revolucionado. Hoy, cuando la biología ocupa el espacio central del desarrollo científico y determina la dinámica del mismo, la ingeniería ya no descansa en un reducido juego de ecuaciones confiables (las *leyes generales*), sino que debe abarcar y contemplar todas las complejidades existentes entre todas las formas de vida y de la evolución.

En ese camino la ingeniería va dejando de ser solamente ciencia aplicada, desarrollando sus propias alas teóricas, cuyo desarrollo lleva el saber técnico más allá de los límites de la experiencia común.

La Ingeniería forense se desenvuelve y progresa en el contexto de estas nuevas situaciones. Como disciplina de integración con capacidad de crear su propio bagaje conceptual, contribuye a la elaboración de una ciencia en sí misma, individual, integradora y por sobre todo, *transdisciplinaria*, capaz de generar innovaciones de utilidad general.

## LA INGENIERIA, AYER Y HOY

La ingeniería como actividad humana, está presente en el diseño, construcción y prueba de los dispositivos y elementos que formarán parte de una forma concreta del fenómeno general de la fricción. En ese proceso de diseño, construcción y prueba se genera conocimiento, *saber técnico*,

La base conceptual de la Ingeniería ha sido históricamente la Física, ciencia teórica y experimental, cuyo objeto es, al decir de Einstein, *escribir a grandes rasgos las tentativas de la mente humana para encontrar una conexión entre el mundo de las ideas y el mundo de los fenómenos*. La Física define modelos abstractos (conceptos), expresados como relaciones matemáticas (ecuaciones, relaciones matemáticas en general), y verificados a través de la observación y mediante experimentos de laboratorio. De esta manera no sólo explica lo observado, sino anticipa nuevos fenómenos.

Se denominan *Ciencias Técnicas* al saber social adquirido como concurrencia de las ciencias de la Naturaleza y la Sociedad; de esta manera nos referimos a las razones últimas que rigen el comportamiento de las relaciones en la naturaleza (basadas en la física y la química), entre la naturaleza y el ser humano (la psicología, la ergonomía y la ecología por citar algunos ejemplos), y entre los hombres (la sociología, la economía).

Las Ciencias Técnicas tienen carácter sistémico, determinado por su origen (integración del espacio social y del espacio natural) y por su objetivo: la *producción* que en un sentido general abarca toda el espacio de la interacción recíproca entre el hombre y la naturaleza. En un análisis muy sintético pueden individualizarse las Ciencias Técnicas por medio de cinco principios, a saber:

- 1) Principio de **FINALIDAD**, alcanzar objetivos predeterminados;
- 2) Principio de **CONTROLABILIDAD**, armonizar las disponibilidades generadas por la ciencia y el dominio de la técnica (cuestiones relacionadas a la ética y la moral);
- 3) Principio de **FIABILIDAD**, funcionamiento aún en el caso de fallo de algún componente o subsistema;
- 4) Principio de **EFICIENCIA** logro de una relación aceptable entre los esfuerzos invertidos y los resultados obtenidos, y
- 5) Principio de **EFICACIA**, medido por el grado de satisfacción de los fines propuestos.

Esta ha sido la caracterización de la ingeniería desde la Revolución Industrial hasta avanzado el siglo XX; un vector que partiendo de ciertas ramas de la ciencia se diferenció de éstas en el objeto: En tanto para la ciencia la unidad fundamental es el descubrimiento, para la ingeniería la unidad que la identifica y la diferencia es la resolución de problemas.

Este paradigma ha sido quebrado por la aparición de actividades interdisciplinarias, lo que algunos investigadores denominan la *tecno-ciencia*, donde los objetivos están definidos por determinados proyectos y objetivos, antes que por materias y disciplinas científicas.

Ello sucede en forma simultánea a la aparición de la biología en el rol de la ciencia más dinámica, la que hace las veces de locomotora del desarrollo tecnológico, desplazando a la

física y a la química. Y la biología no descansa en algunos principios básicos y ecuaciones generales, sino que alcanza todas las complejidades existentes entre las diversas formas de vida y de la evolución.

Al amparo de las relaciones generadas por la tecnociencia, y con el paradigma de la biología molecular al frente, se habilita una zona de transición en la que científicos e ingenieros desarrollan nuevas maneras de comunicación a través de instrumentos, hábitos y palabras, para llevar adelante un determinado proyecto.

La rotura de las fronteras entre las diversas disciplinas otorga a la tecnociencia y la zona de intercambio condiciones de vitalidad desconocidas en nuestra profesión. Mientras los ingenieros intervienen de manera cada vez más decisiva en proyectos demandados por el desarrollo de la biología, los biólogos piensan y se expresan como ingenieros, probando mecanismos, sistemas, haciendo control de calidad y participando de la construcción de complejos industriales.

En esta actividad “de frontera” juega un rol esencial la informática unificando los distintos lenguajes. Las oficinas de ingeniería se van convirtiendo cada vez más en departamentos de tecnología de información aplicada. En términos relativos, cada vez menos ingenieros se dedican a construir, y cada vez más trabajan con modelos y símbolos. Siguen trabajando con máquinas, por supuesto, pero con máquinas que procesan cada vez más información y cada vez menos materia. En lugar de calcular estructuras, desarrollan software para calcular y verificar estructuras. Y lo mismo ocurre en el campo de los sistemas hidrodinámicos, termodinámicos, aerodinámicos, de las ciencias de los materiales –particularmente de los materiales sintéticos-, etc., etc..

En paralelo aparecen las llamadas “áreas maduras” de la ingeniería, ramas donde la capacidad de exploración e innovación está prácticamente agotada. Es el caso de la ingeniería civil en relación con el acero y el hormigón. Incluso en los procesos de transformación de materiales inorgánicos propios de la ingeniería mecánica (fundición, forja, soldadura, recubrimientos de protección y otros), y la relacionada con los materiales sintéticos, la evolución del último cuarto de siglo se encuentra de manera cada vez más importante, en el diseño y la producción de sistemas de control automático, telecontrol y robotización.

Esta tendencia en las ramas clásicas de la ingeniería, segrega la innovación y la práctica creativa a las actividades de base no científica como los métodos de trabajo, los aspectos organizacionales y de la administración, y en general, a una suerte de “práctica del mercado”. Pero incluso en este ámbito, el espacio se reduce por la intervención a progresión geométrica de la informática

En este contexto se abre para los ingenieros jóvenes un dilema a resolver, que se extiende a aquellos ingenieros expertos que se plantean nuevas directrices para su actividad profesional. O bien someterse a las limitaciones del mercado, concentrándose en prácticas rutinarias de organización y control, o por el contrario, orientarse a los nuevos espacios de las tecnociencias donde el diseño, la ingeniería, la programación, el arte y el lenguaje convergen.

En ese espacio habita la ingeniería forense.

## CIENCIA FORENSE E INGENIERIA

Contra la creencia más difundida, las ciencias forenses no son "nuevas ciencias", ni ciencias especiales poseedoras de una dinámica única y exclusiva. Las ciencias forenses son sólo aplicaciones al ámbito forense -el ámbito de la investigación criminal-, de las ciencias naturales, exactas y sociales: matemáticas, física, química y biología, sus asociaciones o interfases -físico-química, bio-física, bio-química etc.-, y la interacción con ciencias de la sociedad como la sociología, la psicología, la economía y el derecho entre otros.

En su desarrollo y aplicación, las ciencias forenses recurren al auxilio indispensable de técnicas de diverso tipo, entre las que ocupa un lugar de privilegio la informática.

Las ciencias forenses se expresan como ciencias de finalidad o "ciencias técnicas". No persiguen como objeto descubrir nuevas leyes científicas, sino aplicar saberes ya conocidos a la resolución de problemas concretos, previamente determinados. Sin embargo, como en toda aplicación de la ciencia, se desarrollan núcleos que impulsan el progreso y evolución.

El saber técnico es el núcleo del análisis forense. Cuando se investiga un caso de finalidad judicial, los rastros muestran los efectos debido a la ocurrencia de diversos hechos. Estos hechos, que sólo pueden ser medidos, representados y evaluados por aplicación *concurrente* de las leyes más generales, y mediante el uso de técnicas e instrumentos de distinta procedencia, cuya construcción y operación demandan distintos aspectos del saber técnico. Sin esta concurrencia, los rastros quedan reducidos a rastros. Interpretados científicamente, los rastros se constituyen en evidencia cuya consistencia crece cuanto más grande es el involucramiento de la ciencia y la técnica.

En este dominio de la actividad humana se encuadra la tarea de investigar las causas de incendios y explosiones, los fenómenos derivados de la agresión al medio ambiente, las fallas accidentales y sistemáticas de máquinas y estructuras, las fallas de materiales en servicio, los vicios de diseño, de construcción y de mantenimiento, y otros que desembocan en daños materiales y humanos. Incluso en situaciones de daño potencial, como es el caso del impacto en el medio ambiente de las grandes construcciones industriales, de grandes generadores y transformadores de energía. En todas las situaciones mencionadas se demanda un saber integral e interdisciplinario, propio de las ciencias técnicas, como condición necesaria para establecer de manera detallada y consistente la relación de determinadas causas con determinadas consecuencias.

Desde este punto de vista, las ciencias forenses son formas del ejercicio de la ingeniería. Formas concretas de una práctica orientada al estudio de los aspectos fácticos que se encuentran en el origen de los conflictos y situaciones controversiales entre personas de distinta naturaleza, con la finalidad de determinar el grado de probabilidad de ocurrencia de los hechos, y la relación de las personas físicas y jurídicas con los hechos y las cosas productoras de los mismos.

Puede entonces afirmarse que en la esfera de las llamadas ciencias duras, la ciencia forense es ingeniería forense, cuyos objetivos expresados de manera genérica son:

- El esclarecimiento de los hechos, de la naturaleza del litigio o controversia.
- La valoración del daño material producido
- El riesgo, definido técnicamente como la mensura de la producción probable de daño a futuro; la *siniestralidad*
- La identificación de distintos actores y protagonistas (personas físicas y jurídicas) y su relación con el sufrimiento y la producción del daño material.
- La identificación de acciones correctivas para prevenir o amortiguar el daño futuro probable (*atenuación de riesgo*) y su eventual valoración

Por otra parte, la ingeniería forense es una práctica tecno-científica. Su finalidad es descubrir una verdad preexistente, de la misma manera que un científico persigue en el laboratorio explicar las causas de un determinado fenómeno. El ingeniero forense en el curso de una investigación, debe relevar evidencia, formular hipótesis, desarrollar modelos y eventualmente reproducir experimentalmente, hechos enlazados entre sí, capaces de explicar la secuencia que siguió la producción de un determinado resultado de naturaleza criminal y de interés judicial.

La práctica forense es un ámbito de convergencia entre ciencia y tecnología, de práctica interdisciplinaria por excelencia, donde se multiplican las relaciones con científicos de distintas procedencias, con políticos, con economistas y sobre todos con hombres del derecho y la sociología; la práctica forense de la ingeniería reúne todas las características que definen el área de la tecnociencia. Esta afirmación se consolida teniendo en cuenta algunas de las nuevas disciplinas profesionales.

La **simulación numérica** (también conocida como *mecánica computacional*), emplea los recursos de la computación para representar determinados fenómenos mediante funciones y algoritmos, y el concurso de programas de representación gráfica.

Prácticamente todos los modelos físicos matemáticos desarrollados en ingeniería de investigación de siniestros con recursos computacionales son aplicaciones de la simulación numérica, tanto en los algoritmos que sostienen los modelos matemáticos básicos, como en las interfases gráficas que los representan y facilitan su lectura, interpretación y comunicación en lenguajes cotidianos. Citamos todos los desarrollos de simulación de sistemas estructurales en tensión-deformación, simuladores de vuelo, programas de animación, y el software de control de procesos empleados en el control y operación de plantas químicas, centrales eléctricas, plantas de compresión de gas y otros afines.

En el ámbito forense, la simulación numérica permite estudiar respuestas difíciles de reproducir experimentalmente, como el movimiento del cuerpo humano dentro de vehículos desacelerando o sujetos a atropellamientos, o la reconstrucción virtual de explosiones. Asimismo es la base de la animación cinemática de sucesos, que pueden representarse con control de la variables cinemáticas y dinámicas.

Otro ejemplo que ilustra la vastedad de los campos de desarrollo de la ingeniería del Siglo XXI es la **biomecánica**. Es el campo de las ciencias de materiales naturales, determinados antes que por una especificación por una historia que refiere al género, la edad, los procesos metabólicos y las prácticas vitales). Y es también el campo de la mecánica teórica

aplicada al movimiento y respuesta del cuerpo humano, concebido como sólido complejo múltiplemente articulado.

La biomecánica comprende diversos capítulos definidos por finalidades específicas, en la que se aprecian objetivos y metodologías diferentes; así tenemos la *biofísica* que entiende de la modulación del trabajo del cuerpo humano, la musculación, la elongación de los huesos; la *bioingeniería* concentrada en el estudio de materiales (problemas de incompatibilidad y rechazo) aplicados al desarrollo de juntas artificiales en reemplazo de articulaciones desgastadas por la edad o enfermedades, o la restauración de miembros y tejidos por situaciones traumáticas.

Pero el enfoque que atrae el interés del ámbito forense es la denominada **biomecánica de impacto**, disciplina en la que se articulan el cálculo y/o medición de fuerzas, aceleraciones, tensiones y deformaciones, y el movimiento kinésico del cuerpo humano considerado una entidad inerte articulada.

La denominación de *biomecánica de impacto* toma en cuenta la inexistencia de respuesta neuromuscular por debajo de los 0,2 segundos. En ese lapso la respuesta del cuerpo a la acción de fuerzas y aceleraciones es puramente mecánica, sin intervención de la reacción combinada del sistema neuromuscular. Para períodos de mayor duración se debe considerar una mecánica con alto contenido de respuesta *humana o biológica*.

El cuerpo humano es un compendio inagotable de estructuras, asumidas como parte de cuerpos complejos, en los que adquieren singularidad tanto la *resistencia* como la *tolerancia* al esfuerzo de los elementos constitutivos –campo de la Mecánica de la Fractura aplicada a impactos en los huesos largos, y a la resistencia al impacto en tórax, abdomen y cadera, etc.-; y por otro lado el estudio integrado de las cadenas biocinemáticas articuladas, del que derivan sistemas tan diversos como la sensibilidad del cerebro a la aplicación de la aceleración (ej: la conmoción cerebral y las características requeridas al casco de seguridad), o la flexión y extensión rápida del cuello (síndrome de golpe de látigo), etc..

Por último, no puede dejarse de mencionar uno de los aportes más trascendentes de la Física a la aplicación forense de la ingeniería: la *Técnica de Investigación*. Una investigación adquiere carácter científico, rigurosidad y confiabilidad más que por los recursos científicos empleados, por la sistemática aplicación de los procesos de observación, medición, formulación de hipótesis, contrastación y cálculo, verificación de certezas y determinación de errores, la obsesiva búsqueda de elementos de consistencia y redundancia en la evidencia y su evaluación.

En este sentido la ciencia converge a la ingeniería forense, contribuyendo a dar a la investigación criminal rasgos de sistematicidad y de rigurosidad propias de las ciencias duras.

## LA INGENIERIA FORENSE Y LOS INGENIEROS

Con justicia se reconoce en Arquímedes (287 - 212 a.C.), al primer ingeniero forense. Según relata Vitruvio, Hierón II, tirano de Siracusa y protector de Arquímedes, le encomendó

comprobar un presunto fraude en la confección de una corona de oro, para la que el tirano había entregado una determinada cantidad de oro puro.

En un establecimiento de baños, la observación del agua que desbordaba de la bañera a medida que se iba introduciendo le inspiró la idea que hoy conocemos como el Principio de Arquímedes. Esta idea está reflejada en una de las proposiciones iniciales de su obra *Sobre los cuerpos flotantes*, pionera de la hidrostática. Y como allí se explica, haciendo uso de él es posible calcular la ley de una aleación, lo cual le permitió descubrir que el orfebre había cometido fraude.

En nuestros días el equipo liderado por el Dr. Ernesto Martínez del Instituto Balseiro, ha desarrollado métodos de identificación del lugar geográfico de origen de disparos en un determinado momento, a partir de reconstrucciones basadas en el estudio de la ecografía y composición probabilística de las trayectorias del sonido original y de sus reflexiones. Por su parte el Dr. Mario Mariscotti, ex gerente de tecnología de la CNEA logró identificar con técnicas no destructivas las dimensiones, posición y defectos de los hierros en el interior de estructuras de hormigón armado. Para ello desarrolló procedimientos de reconstrucción tridimensional computarizada, a partir de la variación de la densidad de placas radiográficas impresionadas por el pasaje de radiación a través de las estructuras observadas.

Lo relevante es que ambos desarrollos, de proyección mundial en el ámbito de las ciencias forenses, fueron logrados por profesionales argentinos, sin subsidios y en épocas de profunda crisis industrial, económica y científico tecnológica. Estos ejemplos nos permiten afirmar que la práctica forense de la ingeniería es personal, específica y humana, no automatizable. En el ámbito forense la informática es una herramienta subsidiaria que potencia la capacidad de investigación, y lejos de sustituirlo, reinstala la centralidad de la función del ingeniero.

En un mundo donde se expanden las “áreas maduras” de la ingeniería como lagunas en las que la capacidad de innovación está prácticamente agotada, la ingeniería forense ofrece nuevos espacios de realización, permitiendo a los ingenieros orientarse a los nuevos espacios donde las diferencias entre las especialidades se atenúan en tanto convergen el diseño, el arte y los lenguajes de distinto nivel y distintos significados simbólicos.

La ingeniería forense revitaliza la importancia del saber teórico. Cada investigación criminal, desarrollada con prácticas forenses de ingeniería implica la elaboración de una teoría específica, reinstalando la práctica profesional en los planos superiores, rescatándola de los pliegues limitantes del saber empírico. Nuevamente podemos recurrir a la reflexión de Einstein, quien nos recuerda que *de la teoría de la gravitación he aprendido ... (que) una colección de hechos empíricos, por muy abundante que sea, no puede conducir al establecimiento de ecuaciones tan complicadas. Una teoría puede contrastarse con la experiencia, pero no hay ningún camino de la experiencia a la construcción de una teoría*

Para cerrar esta breve presentación se mencionan los ámbitos de aplicación de la ingeniería forense. En forma sumaria, y sin ser excluyente puede citarse:

En el ámbito del DERECHO PENAL

- Homicidios y lesiones (casos criminales). Hechos de tránsito con lesiones a y/o muerte de personas
- Incendios y explosiones, atentados y acciones fraudulentas en general.
- Problemáticas sociales y colectivas en general, como la agresión al medio ambiente y su derivación a problemáticas individuales (intoxicaciones, enfermedades, malformaciones, etc.)
- Estafas y defraudaciones (identificación de vicios administrativo, infidelidad comercial)

#### En el ámbito del DERECHO CIVIL y COMERCIAL

- Acciones civiles por reparación de daño material. Hechos de tránsito sin daños a personas
- Valuaciones y tasaciones
- Cumplimiento de contratos (aspectos no tangibles) Justo precio. Calidad de producto y de servicio.
- Aplicaciones modernas en el derecho del consumidor y del usuario

#### En el ámbito del DERECHO DEL TRABAJO

- Accidentes del trabajo.
- Enfermedades profesionales