

## **“EL FUTURO DE LA PATOLOGÍA“**

Vicente Alegre Heitzmann. Ingeniero de Caminos  
Director Técnico de COTCA, S.A.

### **RESUMEN**

Los estudios de daños han supuesto siempre un impulso para la tecnología y es necesario que ese espíritu investigador siga guiando su futuro. La rotura frágil de los barcos Liberty, por ejemplo, supuso el avance definitivo de las uniones soldadas; el colapso del puente de Tacoma el arranque del desarrollo de los estudios de inestabilidad aerodinámica. Los problemas del cemento aluminoso despertaron la conciencia del usuario así como la cultura del mantenimiento. Los fallos puntuales en las estructuras son una llamada continua a la responsabilidad de los técnicos.

En el futuro los daños irán del brazo de los nuevos materiales, las nuevas tecnologías y sobretodo de la mano del hombre, que es su principal inductor.

En esta ponencia se intenta esbozar hacia dónde van los daños, que es también decir hacia donde van las causas que los producen y las metodologías que los estudian.

## **1 PASADO Y PRESENTE DE LA PATOLOGÍA**

Los estudios de daños, han sido y serán siempre una punta de lanza para estudiar “el más allá” de los comportamientos reales de las construcciones. Las estructuras “hablan” movilizando sus recursos y presentando daños o “dolores” que han de saber ser reconocidos por el patólogo. Ello requiere tener un profundo conocimiento técnico de la materia, una experiencia y una metodología contrastada y disponer de recursos y criterios para analizar el daño y para conocer su evolución, con objeto de poder diagnosticar y “curar” (reparar, rehabilitar, sustituir,...).

El símil con la medicina es conocido (1), como en el caso de las personas, una construcción es concebida cuando se diseña, nace cuando se construye, vive mientras está en uso, y muere de vieja o por un accidente. Los avances en la medicina son un espejo donde mirarse, pues las obras y los hombres son vidas paralelas. De hecho hay cuadros patológicos comunes, como son las guerras o los incendios, que generan metodologías específicas de actuación:

Los bomberos se ven obligados a utilizar una metodología intuitiva, en lugar de una metodología técnica o científica dada la urgencia con que es necesario definir el riesgo que plantea el edificio en llamas o en estado de prerrotura para establecer su actuación.

Los terremotos, han sido capaces de catapultar el desarrollo de métodos científicos, para predecir su riesgo, y se instrumentan con acelerómetros los puntos idóneos, o se registran periódicamente en ríos las emisiones de gas radon. Es un camino paralelo a la medicina preventiva.

Hay tecnologías que se trasvasan como es el caso de introducir unas cámaras en un catéter para diagnosticar el estado de venas y arterias, que tiene su homólogo en introducir cámaras móviles sobre pequeños vehículos para inspeccionar daños en tuberías.

## **2 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS**

Los estudios de daños, tienen para el técnico especialista, el patólogo, la virtud del continuo aprendizaje, aprender del error. Al haberse sobrepasado los límites de la tolerancia de alguna de las propiedades o de los estados límites de la estructura, se está estudiando una situación límite real, que está a caballo entre la ciencia y la técnica.

Una vez se ha producido el daño, se han de crear unas bases para establecer una normativa, que hoy en día no existe, y una metodología, hoy en desarrollo que permitan conocer su etiología.

Las características básicas de los estudios de daños, que habrán de ser el punto de partida para una futura norma y para el desarrollo de la metodología existente son:

- \* Cada edificio es un prototipo... (no hay ningún ser igual, se diría en medicina).
- \* Los edificios, las estructuras, reaccionan a los cambios con el principio de la mínima energía.
- \* La causa del daño rara vez es única, lo que conlleva la presencia de especialistas de varias disciplinas, eso sí, siempre bajo la coordinación del patólogo especialista.
- \* Un pequeño porcentaje de causas produce la mayor parte de los defectos (Principio de Pareto).
- \* La trascendencia del error, obliga al técnico a trabajar con humildad, prudencia y objetividad.
- \* Para estudiar los sistemas constructivos, hay que realizar el mínimo número de catas para extraer el máximo de información.
- \* No hay una relación biunívoca entre causa y daño, una sola causa puede dar lugar a varios efectos, y un efecto puede provenir de varias causas.
- \* Siempre que sea posible se tenderá a la metodología científica, apoyando científicamente la respuesta, y evitando los métodos intuitivos o técnicos que son válidos en procedimientos de urgencia.

Los pasos básicos, en la metodología científica, de un estudio de patología son, de forma resumida los siguientes:

Recopilar toda la información posible, conocer la obra en su conjunto, hacer una toma de datos exhaustiva, realizar los ensayos e instrumentaciones necesarios, modelizar teóricamente el comportamiento, analizar las causas a partir de todo lo anterior y tomar decisiones en función del nivel de conocimiento adquirido y las consecuencias de un nuevo error.

### 3 FACTORES QUE INFLUYEN EN SU EVOLUCIÓN

Los principales factores asociados a la presencia de situaciones patológicas están relacionados con las razones por las que se producen los daños.

a/ La limitación del conocimiento de muchos fenómenos (viento, sismo, comportamiento no lineal de materiales, agresividad medioambiental, nuevos materiales y tecnologías, etc...) y asociado a ello las limitaciones de las normas que han de consolidar en el papel lo que está suficientemente contrastado en la práctica.

b/ El insuficiente tratamiento racional de los riesgos. En cada fase debería hacerse una identificación de los riesgos analizándolos desde el punto de vista cronológico, energético, de influencias y de “escenarios de fallo”. Debería seguirse un orden lógico en las actividades relacionadas con todo el proceso constructivo sin saltarse ninguna fase: planificación, proyecto, materiales, ejecución, control de calidad, instrumentación, uso y mantenimiento, para combatir los riesgos residuales.

Herramientas para combatir el riesgo son (2)

RIESGO	ACTIVIDAD
Contra riesgos desconocidos	Investigación
Contra riesgos no detectados	Formación continuada, información control de calidad
Contra riesgos despreciados	Responsabilidad y por lo tanto motivación
Contra medidas inadecuadas	Control
Contra aplicaciones indebidas de las medidas	Exigir protocolos de procedimiento
Contra riesgos residuales	Control de calidad, inspección, mantenimiento, normativa

c/ La idiosincrasia del sector de la construcción con inercias importantes que no permiten avanzar en el tema de responsabilidades, en el tema de investigación, en el cumplimiento de las normas que ya existen, y que no se adecuan muchas veces a la realidad (lo que hace lógico en muchos casos su incumplimiento sistemático).

d/ La lenta incorporación del control de calidad en todos los procesos constructivos, como medida preventiva del fallo, mientras esta disciplina forma parte y está incorporada, en todos los procesos industriales, en medicina, en alimentación, etc.

e/ El desarrollo de los métodos de diagnóstico, ensayos no destructivos o semidestructivos, seguimiento de variables mediante la instrumentación con sistemas informatizados de medida simultánea de varias variables (sensores captadores de desplazamiento, galgas extensométricas, rayos láser, acelerómetros para la instrumentación dinámica, flexímetros potenciométricos, inclinómetros,.....)

f/ La falta de concienciación de que las construcciones no son eternas, pese a su evidencia. La cultura del mantenimiento en construcción es paupérrima.

g/ Por último, y más importante, el factor que influye más en el nivel de daños es el error humano, que impregna todas las fases del proceso constructivo donde se cometen fallos que estadísticamente (3) suponen el 75% del total.

Estos errores son consecuencia principalmente de la falta de formación, de información, de comunicación y de motivación.

De todos es sabido lo importante que es la formación en las escuelas técnicas, sin duda será objeto de ponencias en el Congreso. Si no se acierta con las materias a tratar, la forma de tratarlas y el momento de introducirlas, se está abocado al fracaso.

Desde el punto de vista de la patología, el futuro debe avanzar incluyendo en todas las carreras técnicas las asignaturas de control de calidad y de dirección de obra, el concepto “preventivo” en la construcción, el trabajo en equipo, el carácter científico de las respuestas y como colofón algunos temas sobre metodología patológica. Lo primero ha de concienciar al técnico a hacer las cosas bien, y responsabilizarse de la situación, lo último a conocer las consecuencias de lo contrario.

La formación también se refiere a los usuarios, a la sociedad en general, inculcando la cultura del mantenimiento, de la responsabilidad y de la exigencia de calidad ante los fallos que sufren.

La patología es una “punta de lanza” también en sentido peyorativo, y aquél que no practica la “ingeniería preventiva”, que no controla la calidad de lo que hace, puede verse “atravesado” por su arrollador poder legal, que hoy en día mantiene siempre al técnico en “libertad condicional”, por el desamparo legal que supone el incumplimiento de tanta ley a veces incumplible. Al entrar en una obra, el técnico competente se

da cuenta de muchos errores (que son incumplimiento de norma), que deberá asumir, porque el riesgo intuitivamente es bajo; el técnico “que no ve” asume a ciegas los incumplimientos, quedando como el anterior fuera de la ley.

La información es cada vez más universal y necesaria, y existen y están en continuo desarrollo métodos avanzados para estar informados al día, ya sea a través de redes de información (internet), interconexión entre despachos profesionales, archivos bibliográficos,.... La información es a veces cara y sobreabundante y en saber seleccionarla y aprovecharla está el futuro.

La comunicación. Hay que gestionar la información para que todos la conozcan. Hay que conseguir romper las inercias de comportamientos patológicos, facilitando la comunicación técnica y humana de todos los que intervienen en el proceso constructivo, evitando los compartimentos estancos, las falsas “parcelas de poder”.

La motivación. Quizás sea ésta desde el punto de vista humano la que más afecte a la calidad de un trabajo, y a la posibilidad de errores. Cada vez más, los técnicos están siendo manipulados por los poderes de la sociedad, políticos y económicos. Es importante revitalizar la categoría del técnico, y lograr un nivel de respeto basado en la integridad profesional, y la afición por el tipo de trabajo escogido para vivir. Actuar sobre estos factores es mejorar el futuro de la patología que se deberá ceñir, si se escoge ese camino, a los riesgos materiales (viento, sismo, temperatura, agua, terrenos, avalanchas, ataque químico,...) más que a las actividades humanas (utilización, colisión, explosión, incendios, error de ejecución, error de mantenimiento, error de explotación...).

## **4 EL FUTURO DE LOS ESTUDIOS DE DAÑOS**

Desde el punto de vista de la fase del proceso en que se produce el fallo, existen múltiples estadísticas que indican qué actividad está sujeta a una mayor probabilidad de fallo; planificación, proyecto, ejecución, materiales, uso.

La planificación requeriría, como comienzo del proceso, un capítulo aparte por su importancia (por bien que se haga el dimensionamiento de un firme, si las carreteras están mal gestionadas las pérdidas de salida son enormes). Pese a su importancia los técnicos están habitualmente marginados de esta fase del proceso, y el futuro está en ir convenciendo de nuestra necesidad.

### 4.1 El futuro del estudio de los daños de diseño

A esta actividad se le asocia del 40 al 50% de los fallos. Al margen de los errores humanos ya comentados, y de la necesidad de crear equipos multidisciplinadores acoplados, hay que incidir sobre el futuro de los métodos de análisis, y de las normativas.

#### 4.1.1 El futuro de los métodos de análisis

Nuestros antepasados con el método de “prueba error”, fueron capaces de hacer construcciones (pirámides) de altura que solo se ha multiplicado por tres en cinco milenios, y bóvedas como el Panteón de Roma, que solo se han multiplicado por cinco en su luz, aunque quizás no en su belleza.

Hoy en día hay una gran proliferación de métodos avanzados de análisis estructural (elementos finitos), pero a pesar de su sofisticación, y del indiscutible avance que ha supuesto en muchos campos, está llegando a su límite de aplicabilidad y continúa lejos de tener la capacidad de conocer el comportamiento real de las estructuras. Probablemente avanzará con el desarrollo de las ecuaciones diferenciales no lineales, y con la implementación de refinadas teorías físicas y químicas a nivel atómico, pero eso ya parece labor para futuras generaciones.

En el campo concreto de la patología, los métodos estadísticos están teniendo una relevancia indiscutible, y son una importante herramienta de futuro. El modelo estadístico deduce el modo de comportamiento de la estructura a partir de su propia historia. Es la vuelta al primitivo método de prueba-error, el procedimiento normal consiste en, hacer una partición de los datos medidos, en ajuste y prueba; y calcular el modelo utilizando solo los primeros correspondientes a un período previo. Entonces se puede hacer una prognosis del modelo hacia los segundos, y comprobar su bondad. La validación del modelo es el resultado de la consideración conjunta de los datos experimentales y de la explicación que de los mismos hace aquél.

Si se consigue conocer la respuesta de la estructura a una serie de acciones en un período determinado, que puede considerarse de ajuste, se puede modelizar el comportamiento, y posteriormente confirmar el modelo con la evolución del otro período (de prueba).

En la era de los ordenadores, la experimentación sigue siendo imprescindible. Debe haber un equilibrio entre simulación numérica e instrumentación y ensayos.

#### 4.1.2 El futuro de las normativas

No se puede decir, por ejemplo, que el ensanche de Barcelona “se cae” porque no cumplen sus paredes en un enorme número de casos la NBE-FL-90 sobre “Fábrica de ladrillo”. De hecho debería de hacerse un esfuerzo técnico para implementar todo el conocimiento de las bóvedas a la catalana, las paredes de fábrica de ladrillo, las bóvedas tabicadas, los revoltones, etc de los edificios del ensanche, e incorporarlo a la normativa, ajustando la realidad del comportamiento estructural, que con sus grietas ha sido válido durante más de 50 años, a una norma que debe ser no sólo un conjunto de disposiciones de obligado cumplimiento, sino también la consolidación del saber y experiencia adquiridos en la práctica de la profesión, y contrastados como válidos, definiendo de forma estable algo que ha sido resuelto con anterioridad.

El futuro de las normativas ha de lograr enmarcar todas las actividades de la construcción, consolidando procedimientos en los que ampararse, y protocolos de ensayos que validen lo construido y lo encuadren en el riesgo previsto.

Mientras esto no exista, ha de triunfar el “sentido común”, aunque no se cumplan las normativas, hay que estudiar porqué “no se cae”, y hay que avanzar en la definición del riesgo, cuestionando las exigencias de la normativa, cosa por otra parte sugerida en las propias normas, que te permiten avanzar más allá si se justifica.

#### 4.2 El futuro del estudio de daños de los materiales

El futuro de los materiales, es en cualquier caso una gran incógnita. Lo que se diga hoy sobre futuro, mañana es pasado. La tecnología está en continua evolución aparecen nuevos materiales que darán lugar según sus propiedades últimas a nuevos ensayos, nuevos aparatos de medida, nuevos métodos de diagnosis y nuevas causas de daños.

Un material fundamental, que será objeto de mayor atención en el futuro es el agua, el agua influye en lo edificado y su durabilidad de forma directa. Ya se restringe hoy en día su dosificación en función del ambiente, y de la calidad que se busca en un hormigón. Se estudiará el agua en los edificios y su influencia en crear ambientes más o menos húmedos.

Los composites apuntan como una nueva generación de materiales a tener en cuenta, y ya se utilizan hoy en puentes, refuerzos, ...

El estudio de los materiales antiguos, su durabilidad, y los efectos ambientales y de contaminación atmosférica sobre ellos es también el futuro si se pretende conservar el pasado.

#### 4.3 El futuro de los daños en la ejecución

El futuro cercano de los daños en la ejecución está muy ligado al control de calidad, tanto interno como externo de los procesos constructivos.

Cuando se haya subido este escalón, la instrumentación de variables que validan procesos de ejecución será una garantía mayor, que minimice los riesgos del proceso constructivo.

Se debe tender a “homologar” todos los procesos constructivos, como se homologan en la industria, y en algún caso concreto (soldadores o procedimientos de soldadura) en la construcción. Esta homologación, debe marcar unas tolerancias admisibles acordes con el procedimiento y debe llevar incorporada el tema de seguridad.

#### 4.4 El futuro de la patología durante el uso y mantenimiento

Las construcciones no son eternas, como las personas requieren “una revisión periódica” y unos cuidados que la mantengan en condiciones dignas de servir a la sociedad.

El futuro más próximo está en las ITE (Inspecciones Técnicas de Edificios). Al terminar la obra se debe entregar un plan de explotación, inspección y mantenimiento, indispensables para alcanzar el período de servicio previsto. Estas herramientas en el futuro serán básicas para el diagnóstico de los posibles daños que se produzcan, como información de partida.

Aunque también hay que plantearse qué cosas merece la pena mantener, en un mundo cada vez más lleno de construcciones obsoletas.

#### 4.5 El futuro de la patología en las instalaciones

Todo lo dicho en las fases anteriores vale para las instalaciones, ahora bien éstas tienen alguna particularidad específica como es el tema de las “pruebas de funcionamiento”, cuya no realización de forma correcta, es fuente de un alto porcentaje de daños.

El futuro apunta hacia comprobaciones de sistemas más que análisis de componentes y materiales. La reducción de costes de determinados materiales y componentes como consecuencia de la aparición de nuevas tecnologías, hace que su reposición no sea tan gravosa como hace unos años. La constante innovación tecnológica acelera la obsolescencia de determinados sistemas, y en ocasiones resulta la aparición de un daño, como una oportunidad de sustitución y renovación.

### **5 EL FUTURO DEL PATÓLOGO**

Cuando se está entrando en un nuevo ciclo económico (“The fifth wave”) impulsado por los semiconductores, la fibra óptica, la biotecnología, el software y las telecomunicaciones, en fase claramente expansiva parece intuirse que los factores del entorno de tipo más intangible o cultural pueden ser más importantes que los factores estrictamente tecnológicos.

El patólogo ha de desarrollar su propio lenguaje. Los textos de los informes constituyen una fuente de errores y/o imprecisiones de la que es difícil evadirse. Hay que luchar para que “la palabra” no sea otra fuente de patología. Efectivamente, a pesar de que los patólogos están rodeados de esa tecnología, no hay que olvidar que, no por ello son ajenos a los defectos comentados: falta de formación, información y comunicación. Por fortuna, hay que decir que no ocurre así en lo que se refiere a la motivación. En general, es esa motivación la que mueve al patólogo y la que le permite disfrutar de esta disciplina inagotable y enriquecedora cuyo futuro está estadística e intrínsecamente garantizado.

### **BIBLIOGRAFÍA**

1. Why buildings fall down. Levy and Salvadori. Norton Company. 1992
2. Análisis de riesgos y planificación de medidas. Peter Tanner. Hormigón y Acero nº 210. 1998
3. “Influencia del factor humano en la calidad” Alvaro García Messeguer. RCT. 1999
4. El nuevo papel de la mecánica experimental. Xavier Ayneto Gubert SEM Sistemas de ensayos de materiales. 1999