

Protección contra incendios:

# ¿Obstáculo u oportunidad? La historia de una transformación tecnológica\*

Por José Luis Torero

*Las normas de protección contra el fuego hoy están desgraciadamente limitadas para edificios convencionales; pero éstos son cada vez más frecuentes y la evolución de la construcción ha avanzado mucho más rápido que la normativa y que la educación en Ingeniería de Protección contra incendios.*

Una de las conferencias más esperadas del Congreso Latinoamericano de Siderurgia, ILAFA-50, era la del profesor José Luis Torero, tanto por la calidad profesional del expositor como por la importancia del tema. Nacido en Lima, ha desarrollado gran parte de su carrera en el exterior, primero en la Universidad de Maryland, Estados Unidos, para proseguir posteriormente en la Universidad de Edimburgo, Gran Bretaña, donde además de su cargo de Decano de la Facultad de Ingeniería, es profesor de Ingeniería de Seguridad contra Incendios.

Es autor de más de 300 trabajos sobre el tema, contribuyendo con ellos a mejorar el conocimiento en los campos de la combustión y las ciencias del fuego, dinámica y propagación de las llamas y el uso de la combustión para remediar suelos contaminados.

Se resumen a continuación los principales conceptos expuestos en su conferencia.

## Introducción

En el comienzo el Prof. Torero, planteó el objetivo de su disertación: Discutir el tema del acero como un material para la construcción sustentable y analizar

el concepto de la normativa como una oportunidad o como limitante para la utilización de este material.

Para impactar a la audiencia, Torero se refirió a un hecho protagonizado por el arquitecto Ludwig Mies van der Rohe, cuando diseñó el edificio Seagram en Nueva York. Van der Rohe trató de mostrar exteriormente la estructura ya que como era de acero quería destacar la fuerza de la misma.

Se encontró con una limitante normativa de tener que dar protección pasiva a la estructura y, por ende, se comprometió a tratar de obtener una solución con los ingenieros. Ésta consistió en poner elementos de bronce que, básicamente, representan una falsa estructura ya que simplemente era la cobertura de una estructura real, sin embargo daba una imagen similar.

Las palabras de van der Rohe ilustran su desazón:

«La estructura debe estar a la vista –hubiese querido dejar al acero expuesto pero las normas de seguridad contra incendios no me lo permitieron–. Tuve que pegar elementos estructurales falsos hechos de bronce teñido para lograr acercarme a lo que buscaba. Cuando lo pienso me pongo a llorar».

\* Versión no literal, tomada de la conferencia dictada durante el Congreso ILAFA-50, en la ciudad de Quito.

Se reemplaza así el acero por un elemento de bronce de mucha menor resistencia y por ello no solamente se está reinterpretando de una manera poco eficiente la concepción del arquitecto, sino que además introduce un problema porque cada seis o siete años deberemos reemplazar todos estos elementos de bronce. En consecuencia, la sustentabilidad de este edificio se reduce por la frecuencia de las necesarias renovaciones del revestimiento de las estructuras.

La normativa tiene la capacidad de ser una manera de abrir muchas puertas, de permitir muchos desarrollos, pero al mismo tiempo es un obstáculo para el desarrollo sustentable, impidiendo la introducción de nuevos materiales de construcción. Incluso puede ser un obstáculo para el manejo de la energía en un edificio.

Por ello es vital analizar la evolución de la normativa y cómo en algunos momentos de la historia ha representado un obstáculo y en otros una oportunidad.

## Estrategia de protección

Antes de comenzar a tratar la evolución histórica es necesario establecer en qué consiste la estrategia de protección contra incendios y hasta qué punto representa un elemento fundamental de todas las partes del proceso constructivo.

## Seguridad de las personas

Cuando se habla de estrategia de protección contra incendios, lo principal, siempre es la protección de las personas. Para proteger a las personas hay que asegurar que puedan evacuarse en caso de una emergencia. Esto afecta completamente la distribución de un edificio: las salidas, la dimensión de los espacios, la capacidad de concentración de las personas. En otras palabras, representa una limitante fundamental para el diseño arquitectónico.

## Estrategia de evacuación

Bajo el concepto de lo que es la estrategia de evacuación aparece, por ejemplo, todo lo que es el diseño de las vías de escape, el sistema de detección y las alarmas para empezar el proceso de evacuación y la señalización para asegurar que las personas salgan por los lugares adecuados.

En consecuencia, cuando se habla de la seguridad de las personas y estrategias de evacuación se está afectando la arquitectura del edificio.

## Diseño estructural

Todo diseño estructural es afectado, desde el material que se utiliza, la forma de

la estructura, el diseño de detalle, por todo lo que son elementos de seguridad contra incendios.

Además de lo que es la concepción de la estructura, aparece el concepto de compartimentación. Durante la historia de la protección contra incendios se introducen (siglo XIX) como un mecanismo de control «cajitas». Se tiene una gran cantidad de cajas en los edificios que eliminan la propagación del incendio o por lo menos la reduce.

Eso es nuevamente un impedimento a la arquitectura, ya que significa una restricción a la utilización de ciertos materiales, y también al diseño estructural. Se está obligando a cerrar ciertos compartimientos como un mecanismo de protección contra incendios.

## Redundancia

Más adelante en la historia se introducen elementos de redundancia; se piensa muchas veces que los rociadores son la forma de atacar el incendio, pero realmente son un elemento de redundancia. ¿Por qué? Porque si en verdad se tiene una estructura que no se cae, un sistema de evacuación adecuado, no importa si hay un sistema de rociadores. El sistema no va a funcionar sólo porque hay rociadores. Pero mueren todos sus ocupantes si se cae el edificio. Entonces los rociadores tienen que ver con un sistema de redundancia. Junto a ellos hay otros elementos, tales como los del manejo de humos, que son componentes que afectarán todos los servicios del edificio como la ventilación y el aire acondicionado. Tienen que ver inclusive con el manejo del monóxido de carbono de los estacionamientos subterráneos y cómo utilizar ese mismo sistema para evacuar el humo en caso de un incendio. Pero todos esos elementos que se diseñan de una manera redundante y que no están optimizados, serán afectados por el problema de la seguridad contra incendios.

En resumen: La ingeniería de protección contra incendios afectará a todos y a cada uno de los elementos del diseño y construcción de un edificio. Por lo tanto, representa un elemento fundamental en lo que es la estrategia de diseño y concepción de una edificación.

## Comienzos de la historia de la ingeniería de protección de incendios

### Origen de las regulaciones

Para entender la historia, debemos comprender que la Ingeniería contra Incendios tiene un carácter reactivo. O sea, no

se piensa en la protección a menos que se tenga evidencia que hay un problema. Y la evidencia en este caso es bastante grande. Existe una lista extensa de los principales incendios tales como los de Nueva York (1835), Londres (1861) Chicago (1871), Boston (1872) y San Francisco (1906) que destruyeron ciudades enteras o partes muy importantes de las mismas. La reacción ante estos eventos transformó el concepto de urbanismo moderno.

## Experiencia, reglas y entendimiento

Como resultado, a mediados del siglo XIX aparece una serie de reglas que son fundamentalmente el producto de la experiencia de los bomberos, los arquitectos y los ingenieros de ese entonces. No nacen del conocimiento o de la ciencia de la investigación, sino de la experiencia esporádica de los individuos que tuvieron que lidiar con este tipo de problemas. Se basan, entonces, en un pobre entendimiento tanto del comportamiento de las personas durante un incendio como de la dinámica del fuego y el comportamiento estructural.

## Características de las reglas

Se establecieron en esa época una serie de reglas que representaron el primer concepto de normativa o reglamentación, con ideas tales como distintas **distancias de separación** de los edificios para evitar la propagación de un edificio a otro, como había ocurrido en los grandes incendios del siglo XIX. Pero si se tienen dos edificios pegados hay que considerar conceptos de **compartimentación**, lo que significa generar muros resistentes al fuego que los separen. Asimismo hay que trabajar en la protección de los techos, además de los muros, para tratar de lograr que el incendio no se extienda de un lugar a otro. En ese sentido, la **separación y dimensión de las ventanas** representan un elemento importantísimo porque son puntos vulnerables.

Como se ve en la **Figura 1**, la arquitectura se vio afectada ya que las ventanas debían estar muy separadas, ser muy pequeñas, con áreas no inflamables alrededor, lo que evitaba la propagación del incendio de un piso a otro o de un edificio a otro.

Aparece el concepto de **distancias de evacuación** porque ahora se tiene el incendio en un compartimiento y demorará cierta cantidad de tiempo en romper ese recinto y ése es el lapso que se tiene para evacuar. La distancia que deben recorrer los ocupantes en ese tiempo es lo que luego se establece como una regla de la distancia de evacuación. Y así, sucesivamente, aparecen los **rociadores automáticos con mecanismos de**

**Figura 1**  
**Tipología de construcción entre 1850 y 1940**



control, surge la protección estructural, que es la protección pasiva para tratar de proteger las estructuras y aparece el concepto de **cuerpos de bomberos profesionales** en la ciudad de Edimburgo. Esto último genera un nuevo tiempo: el que debiera demorar el bombero en llegar al lugar, durante el cual la estructura debe responder de una manera natural.

**Concepto de incendio estándar**

Todo esto genera toda una serie de oportunidades que se basan fundamentalmente en una idea muy simple, que es el

**incendio estándar.** Es una curva que se utiliza para tratar de ensayar todos los elementos estructurales. Pero esa curva se basa en el concepto de compartimentación. En efecto, se usa como muestra un recinto de aproximadamente 4 m x 4 m x 4 m para ver cómo se genera un incendio y reproducirlo para probar los elementos estructurales.

Esos incendios experimentales permiten trabajar con una serie de variables como la ventilación, la carga térmica, etc. y se genera así un incendio de comportamiento estandarizado (**Figura 2**).

Éste se establece en 1906 y es la base fundamental de toda la normativa que

controlará a la industria de la construcción. Para ello se introduce un elemento estructural en un horno que seguirá una curva estándar en función de un tiempo de calentamiento y una temperatura crítica, bajo la cual el material se considera que fallará (que en el caso del acero es de 550 grados). Se establece así la resistencia de ese elemento estructural, que debe ser compatible con los tiempos de llegada de los bomberos, evacuación de las personas y el consumo total del combustible.

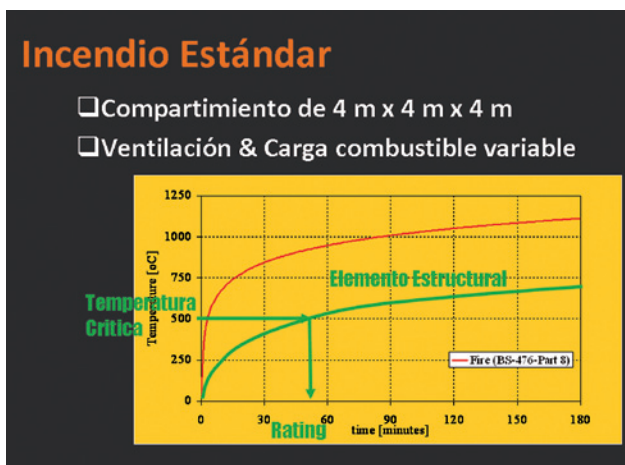
A partir de 1906 es la regla de base para la seguridad contra incendios estructurales. ¿De dónde viene esto? Fundamentalmente esta regla es el peor de los casos. Se hicieron una serie de incendios en pequeños compartimentos típicos de construcciones de la época y se buscó una curva envolvente, la que representaba el peor incendio posible y en función de ésta se generó la curva estandarizada (**Figura 3**).

La idea es que el *rating* o el tiempo requerido, depende de cuánto combustible existe. Mientras más combustible, más tiempo puede durar el incendio antes que aquél se consuma completamente. Entonces, para un edificio que tenga mucha carga de combustible se le pedirá un *rating* de tres horas mientras al que tiene poca carga de combustible, como una oficina, se le pide un *rating* de sesenta minutos.

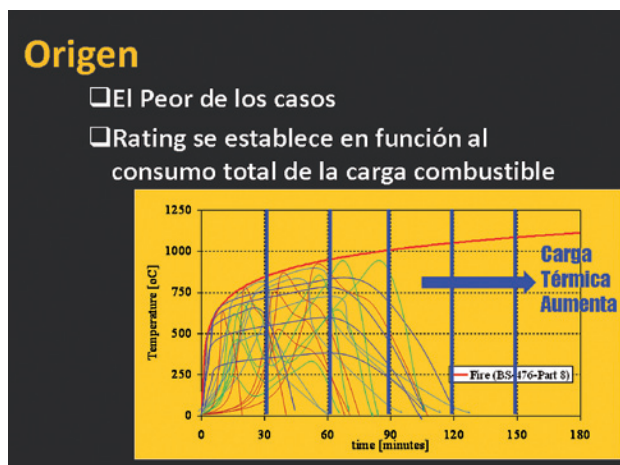
**Resultado: Un enorme factor de seguridad**

Todo esto se ha confundido con el tiempo y actualmente se ha mezclado la evacuación con la carga de combustible. Y a un edificio de altura porque se demora más en evacuar, se le pide tres a cuatro horas sin importar que al cabo de 20 minutos no haya combustible para quemar.

**Figura 2**  
**Incendio estándar**



**Figura 3**  
**Curva estandarizada**



Y esta confusión generada en la curva estándar ha determinado un enorme factor de seguridad. Básicamente se utiliza el peor de los casos y se basa el diseño de la estructura en función de que debe aguantar hasta que se consuma todo el combustible. ¿Por qué? Por casos como el de la **Figura 4**. Son vigas de madera que soportan vigas de acero que se han deformado completamente encima de las vigas de madera. Pero se pregunta el Prof. Torero: «¿La conclusión es que la madera es mejor que el acero?». Y su respuesta es: «No». Este tipo de imágenes eran el resultado de un incendio muy largo en el cual la estrategia de la prevención no estaba representada por el resultado. La validez universal dada a este ensayo se debió a la falta de conocimiento de la física del comportamiento de los materiales, del pobre entendimiento de la dinámica del fuego y de la poca tecnología que disponían los bomberos de la época.

Finalmente se generaron reglamentaciones o normas representando la responsabilidad social de dar una mínima seguridad para proteger al individuo y se incluyó un factor de seguridad enorme para que todas las personas se vean protegidas de una manera natural.

## La normativa como oportunidad

Así es como se empieza en el siglo xx. Toda esa reglamentación, a pesar de sus factores de seguridad, abrió las puertas a la ingeniería estructural para transformar las ciudades con nuevas edificaciones.

Pero en la Segunda Guerra Mundial evolucionaron aún más los conocimientos, porque se utilizó el incendio como una manera de quemar ciudades y destruir la moral de la población. Entonces se invierte una enorme cantidad de dinero en una serie de instituciones (BRE, NBS, Universidades de Harvard y Tokio, etc.) para entender el incendio y simple y sencillamente tratar de generar mecanismos para destruir ciudades de una manera más eficiente. Todas esas personas empiezan a aprender, a conocer, a entender el incendio. Como resultado positivo, la normativa evoluciona muy por delante de la industria de la construcción y se dispuso de una gran libertad técnica para poder diseñar por otras dos o tres décadas.

## Comienzan los problemas (1950-1970)

Entre los años '50 y los años '70 todo crece. Aumenta la complejidad de las edificaciones y la densidad de las ciudades y nuevamente la normativa (al no haber

preocupación por actualizarla), empieza a quedarse atrás. El resultado fueron los grandes incendios como el hotel y casino MGM, en las Vegas, Dupont Plaza en Puerto Rico, etc. Todo empieza a salir mal. Se introducen plásticos en la construcción, se cambia el incendio y se empieza a generar una arquitectura nueva que altera el manejo del humo, aparecen problemas estructurales por la utilización de hormigones de alta resistencia o de aceros nuevos. La complejidad comienza a exceder a los conocimientos. Aparecen una serie de problemas donde la normativa lleva a un falso sentido de la seguridad.

Entonces, ¿qué sucede en este período? La normativa se convierte en un obstáculo y no en una oportunidad. La norma comienza a quedarse atrás increíblemente en los períodos de alto crecimiento económico. Esto tiende a suceder porque la construcción avanza mucho más rápido que la capacidad de tratar de entender la innovación. Esta genera cuestiones que no se habían analizado y que la norma no es capaz de seguir.

## La respuesta de los años '70

Los gobiernos comienzan a reconocer el problema de los incendios, se entra en recesión y se empieza a invertir en mejorar el entendimiento. Se da un paso atrás y se trata de ver qué tan sólido se está trabajando.

Se invierten cientos de millones de dólares en entender los incendios y aparecen una serie de organismos en Estados Unidos, Gran Bretaña, Australia, Suecia, Dinamarca, Francia, Finlandia<sup>[1]</sup>. En todos estos lugares se empieza a estudiar el incendio. Esas investigaciones se reflejan a:

- Métodos de dinámica de fuego (modelos de zonas, correlaciones, etc.) y de análisis de materiales (LIFT, Calorimetría, etc.).
- Nuevo entendimiento del comportamiento humano (modelo de evacuación, etc.).

¿Cuál fue el resultado? A diferencia de la etapa anterior donde la normativa daba una serie de reglas y se podía aplicarlas simplemente sin mayores entendimientos del problema, empieza una transformación que se basa en el conocimiento. La ingeniería de protección contra incendios se convierte en una disciplina de la ingeniería y se comienza a aprender, a diseñar, a calcular. La norma se convierte

**Figura 4**  
**Experimento precario de resistencia al fuego**



**Figura 5**  
**Edificio del Centro Pompidou en Beaubourg, París**



en una herramienta de los ingenieros y no necesariamente en una regla. Toda la ingeniería se transforma en un elemento de asistencia para la normativa pero implica que las autoridades, los ingenieros, los propietarios, los fabricantes, todos tengan un cierto nivel de educación que permita utilizar estas nuevas reglas del juego.

El resultado son edificios como el de la **Figura 5**. El Centro Pompidou en Beaubourg, París, es un ícono de la ingeniería en la protección de incendios. Fue la primera vez que se diseñó una estructura de acero sin ninguna protección pasiva.

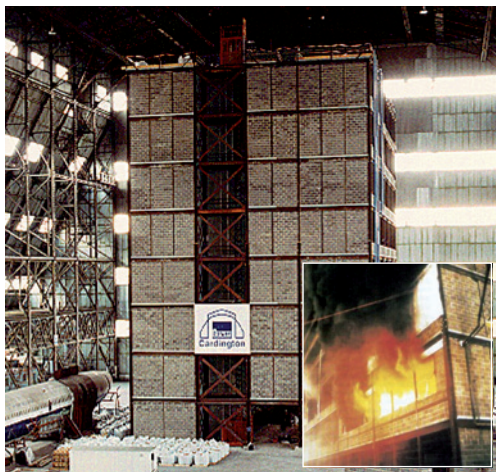
## La normativa como herramienta y la ingeniería como apoyo a la arquitectura

Es después de los años '70 en que se producen distintos hechos:

- a. una evolución de la normativa;
- b. se empieza a reconocer a la Ingeniería de Seguridad contra Incendios;

[1] NIST, FRS,CSIRO, NBR, VTT, SP, SINTEF, vdfb, CSTB.

**Figura 6**  
**Incendios experimentales**  
**en los laboratorios de Cardington**



c. se permite el diseño sobre la base del desempeño (*Performance Based Design*).

Asimismo se empiezan a materializar visiones como la de Ove Arup: el ingeniero al servicio del arquitecto, al servicio de los materiales y de la evolución tecnológica.

A Ave Arup lo sigue Margareth Lob, quien es el primer ingeniero en protección contra incendios que hace cálculos reales que complementan la normativa como una herramienta del ingeniero.

Es entonces que se comienza a aceptar que la protección pasiva no es la única solución y se comienzan a diseñar estructuras metálicas sin ella. **Se acepta que lo esencial no es el material sino que lo importante es el diseño.** Finalmente se evoluciona aún más en el conocimiento y se encara una serie de pruebas de incendios experimentales pero en escala similar a la real (experiencias de Cardington) (Figura 6), que permiten a la industria del acero tomar conciencia que ese material tiene más capacidad frente al fuego de lo que se creía.

Empieza a aparecer lo que es la definición del espacio y la forma en que el arquitecto diseña el espacio. Por otra parte, la solución de los problemas de ingeniería toman preponderancia sobre la selección de materiales. Y como consecuencia aparece todo un entendimiento del análisis estructural que comienza a responder, conceptualmente, la pregunta sobre la utilización del acero *versus* el hormigón.

## Acero y hormigón (concreto)

En este punto de la disertación, el Prof. Torero se pregunta: «¿Cuál es la distinta

respuesta entre del acero respecto al hormigón?». Y responde: «Es simplemente el cambiar barras<sup>[2]</sup> (rangos) de error por precisión de cálculo». Cuando se analiza el acero, si no está protegido evolucionará de una forma tal que generará deformaciones al inicio del incendio y se debe diseñar para esa etapa.

El acero permite, por el conocimiento y las propiedades de sus productos con una geometría bien definida y por la fabricación industrial, diseñar y calcular las conexiones para evitar esas deformaciones, para darle resistencia a las estructuras y aprovechar todas las potencialidades que un material bien definido le posibilita realizar al ingeniero.

Lo que da el hormigón es resistencia, ya que con su inercia térmica protege al acero, dando un tiempo adicional. Pero éste es, en contraposición, la gran barra (rango) de error, pues no se conoce cómo se comportará el hormigón. No se puede diseñar con el hormigón y en consecuencia lo único que se puede hacer con él es proteger al acero. Entonces el hormigón representa grandes barras de error mientras que **el acero encarna la posibilidad de optimizar, de diseñar, de utilizar la capacidad y los conocimientos de los ingenieros.**

Con todos estos conceptos se produce un cambio desde la seguridad dada por la protección pasiva y el diseño tradicional hacia la seguridad dada por la Ingeniería, por el cálculo y el conocimiento de cuál será la progresión de las propiedades del material en función de la temperatura.

Ya las curvas estándares no son suficientes y entonces se comienza a trabajar con curvas mucho más detalladas que permiten calcular un incendio real. Con toda esa información actualmente es posible modelar para establecer cuáles son los incendios potenciales en un espacio particular y evitar condicionarse a un elemento de protección estandarizado.

En la actualidad, desgraciadamente las normas están limitadas para edificios convencionales; pero éstos son cada día menos frecuentes y la evolución de la construcción ha avanzado mucho más rápido que la normativa, la educación y la norma e ingeniería como herramientas. Desgraciadamente los profesionales se han convertido en víctimas de quienes les venden normas desde afuera, productos de protección, todas esas cosas que, en el fondo, no se llegan a entender. El resultado de este tipo de situaciones es que aparece un falso sentido de seguridad.

## La normativa como obstáculo

La normativa es así nuevamente un obstáculo y no una oportunidad. La inversión en la ingeniería da resultados: La ingeniería opera como herramienta del arquitecto y los diseños novedosos han podido ser ejecutados. El diseño basado en el desempeño da realmente un sentido verdadero de seguridad y eliminación de la incertidumbre.

La reducción de costos es algo importantísimo. Por más que se piense que la normativa es más barata, no es cierto. Es la ingeniería la que reduce costos y esa es la manera mediante la cual se han podido diseñar edificios como los de los Juegos Olímpicos de Beijing donde la Ingeniería Contra Incendios junto con la normativa han sido aplicadas como herramientas.

## Conclusiones

En este punto el Prof. Torero expone las siguientes conclusiones:

- Las Normas no son la solución.** La norma es un impedimento y debe convertirse en una herramienta de un ingeniero capacitado.
- Las Normas no dan la solución más barata.** Es la Ingeniería de Protección contra Incendios la que la provee.
- No se sabe todo lo que hay que saber.** La tecnología de la construcción y los arquitectos cambian a diario las reglas de juego. Por ello cada día la ingeniería se hará más importante.
- No se está educando a los profesionales para utilizar la ingeniería y las normas como herramientas de diseño.** Los profesionales se han dejado vencer en su ignorancia por los vendedores y se han convertido en pésimos compradores.
- Hoy la protección contra incendios es un obstáculo normativo.** Se debe abrir los ojos a la oportunidad que brinda la Ingeniería de Protección contra Incendios.

El Prof. Torero finaliza su exposición con una pregunta a la industria siderúrgica: «¿Qué inversiones está haciendo en educación de Seguridad contra Incendios?», concluyendo su conferencia con un cerrado aplauso de los asistentes. 🇪🇺

<sup>[2]</sup> Nota del editor: El Prof. Torero que habló en español en la conferencia siempre se refirió a «barras de error», traducción del término «*error bars*». Las barras de error se usan en gráficos para indicar la incertidumbre respecto a una medición dada.