

ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE LA FIGURA LEGAL DEL CASO FORTUITO

**Ing. Alberto H. Puppo (UTN FRGP), Dr. Ing. Raúl D. Bertero (UBA- UTN FRGP) y
Dr. Carlos Calvo Costa (UBA)**

RESUMEN

Las estructuras están diseñadas para soportar determinados niveles de acciones de la naturaleza tales como huracanes y tornados, sismos, inundaciones. En muchos casos luego de la ocurrencia de alguno de estos fenómenos naturales los ingenieros estructurales son convocados por los tribunales y compañías de seguros como peritos para el análisis de las responsabilidades derivadas de la figura legal del Caso Fortuito consagrado en los contratos y en el Código Civil.

El principal objetivo de este trabajo es clarificar, mediante la utilización de conceptos probabilísticos y estadísticos, la figura legal del Caso Fortuito y su aplicación a problemas estructurales.

Para ello se comienza con una introducción legal a los conceptos de Caso Fortuito y Fuerza Mayor. Posteriormente se desarrolla el enfoque probabilístico. Se introducen los conceptos de período de retorno y funciones de distribución de probabilidad que permiten definir con precisión el límite para la configuración de Caso Fortuito. También se establece la relación de la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural y su especificación contractual con el valor de la prima de seguro. Finalmente se realizan recomendaciones para la elaboración de especificaciones técnicas que minimicen las interpretaciones legales arbitrarias.

SUMMARY

Structures are designed to bear certain levels of action caused by forces of nature such as hurricanes, tornados, earthquakes and floods. After the occurrence of any of these natural phenomena, structural engineers are often summoned by courts and insurance companies to analyze the liability derived from the legal principle of Act of God as established in contracts and the Civil Code.

The main objective of this paper is to explain the legal principle of Act of God and its application to structural problems through the use of probabilistic and statistical concepts.

The paper starts with an introduction to the legal concepts of Act of God and force majeure. After that, the probabilistic approach is developed. Then the concepts of return period and probabilistic distribution function are presented since they enable us to define the limits of the principle of Act of God with accuracy. The relationship between the probability of occurrence of a natural disaster and its contractual specification with the insurance premium is also established. Finally some recommendations are given on how to draw up technical specifications that will minimize arbitrary legal interpretations.

1. INTRODUCCIÓN LEGAL DEL CASO FORTUITO

Son muchas las normas del Código Civil argentino que hacen referencia a los institutos del *caso fortuito* o *fuerza mayor* (ej. arts. 513, 889, 893, 1091, 1516, 1522, 1568, 3837, etc.).

Si bien existe doctrina y jurisprudencia que permiten considerar ambas expresiones como *sinónimos* con idéntica finalidad práctica: de configurarse cualquiera de ellas, el deudor queda exonerado de responsabilidad, desde el punto de vista su aplicación a problemas de ingeniería resulta conveniente la interpretación tradicional que entiende que el caso fortuito está referido a los hechos de la naturaleza, y la fuerza mayor a los actos humanos.

Esta diferenciación permite asociar en aplicaciones ingenieriles el caso fortuito con las disciplinas de la estadística de los fenómenos naturales y, por lo tanto, con la interpretación frecuencial de la teoría de las probabilidades en tanto que la fuerza mayor, en cuanto derivada de los actos humanos con las, así llamadas, probabilidades subjetivas. En este trabajo nos referiremos al caso fortuito.

El art. 514 del Código Civil lo define de la siguiente manera: “*Caso fortuito es el que no ha podido preverse o que previsto no ha podido evitarse*”, consagrando a su vez en el art. 513 CC la irresponsabilidad del deudor ante un supuesto de incumplimiento ocasionado por dicho evento imprevisto e inevitable.

Tradicionalmente la doctrina y la jurisprudencia han sostenido que pueden resultar de aplicación las normas del caso fortuito o fuerza mayor en los siguientes casos: *Fenómenos naturales, Acto de autoridad pública (hecho del príncipe), Guerra, Huelga, Hecho de un tercero, Enfermedad o accidente del deudor, Incendio*. Este trabajo es de aplicación al caso de los Fenómenos Naturales.

A modo de ejemplo de las dificultades que enfrentan los jueces a la hora de determinar sin ambigüedades la configuración de Caso Fortuito ante la ocurrencia de eventos naturales transcribimos los siguientes dos fallos de la Cámara Nacional de Apelaciones en lo Civil Salas C¹ y D² referidos a los efectos de una inundación y de una tormenta de viento respectivamente:

“...Para aceptar la existencia de fortuito eximente de responsabilidad del concesionario de ruta por peaje, no basta con invocar que el accidente -en el caso, el rodado del actor fue arrastrado hacia una zanja- ocurrió por una inundación producida por una tormenta en la que la caída de agua fue superior al promedio común en la zona, sino que además debe acreditarse que fue muy superior a las normales y que se produjeron estragos generales imposibles de superar con una previsión corriente...”

“...Para que una tormenta --de viento, de lluvia, de nieve-- configure un caso fortuito, tiene que ser extraordinaria --para el lugar y las circunstancias-- y de una magnitud o fuerza notoriamente inusuales, pues los accidentes de la naturaleza no constituyen casos fortuitos mientras que por su intensidad no salgan del orden común...”

Como se puede apreciar fácilmente si bien lo expresado en estos fallos es conceptualmente claro, no será fácil para el juez establecer cuantitativamente cuando una caída de agua es *“muy superior a lo normal”* o una tormenta de viento es de *“una magnitud o fuerza notoriamente inusuales con una intensidad que salga del orden común”*.

Es decir que, de acuerdo con la interpretación legal, las fuerzas de la naturaleza (inundaciones, vientos, huracanes, tornados, terremotos) son susceptibles de constituir caso fortuito cuando son extraordinarias y por su intensidad salen de lo común. ¿Pero cuándo uno de estos fenómenos naturales es realmente extraordinario?

Es en este punto donde creemos que el ingeniero puede y debe colaborar con el abogado en la definición contractual precisa y cuantitativa de cuando la intensidad de un fenómeno natural deja de estar prevista por las condiciones del contrato y se constituye en caso fortuito. El enfoque probabilístico que sigue a continuación está destinado a aclarar este aspecto y establecer ese límite.

2. ENFOQUE PROBABILÍSTICO DEL CASO FORTUITO

Si se desean evitar, o al menos minimizar, las subjetividades o ambigüedades implícitas en la definición del caso fortuito dada en el Código, debe recurrirse inexorablemente a conceptos basados en la Teoría de las Probabilidades y la Estadística. Así, puede definirse como caso fortuito el que tiene una probabilidad de ocurrencia pequeña. En muchos casos, esta probabilidad puede fijarse en un contrato entre partes, pudiendo entonces determinarse si un caso es fortuito o no en forma objetiva.

Una forma simple de fijar la probabilidad que determina si un caso es fortuito o no, es establecer contractualmente “a priori” el denominado tiempo medio de recurrencia o período de retorno de un fenómeno. A fin de ilustrar este concepto, recurrimos a un ejemplo.

En una póliza de seguro referida a un siniestro (inundación) de un obrador que se sitúa a la vera de un río, se establece que el caso fortuito ocurre cuando el nivel de crecida del río excede al que tiene un período de retorno de T años. En términos técnicos, se considera el evento “el nivel supera un valor crítico preestablecido, o simplemente, un *nivel crítico*, en un año calendario (del 1 de enero al 31 de diciembre)”. Este evento tiene sólo dos resultados posibles, según se supere, o no, el nivel crítico. Por lo tanto, el evento es, en la terminología de la Teoría de las Probabilidades, un ensayo de Bernoulli³. En una secuencia de tales ensayos, la cantidad n de estos hasta que el evento ocurra por primera vez, responde a la llamada *distribución geométrica*,

$$P(n) = p(1 - p)^{n-1}, \quad n = 1, 2, 3, \dots, N \quad (1)$$

siendo p la probabilidad de ocurrencia anual del evento. En efecto, como el evento

ocurre en el año n y no ha ocurrido en los $n-1$ años previos, la probabilidad de la primera ocurrencia está dada por la ecuación (1). Es de hacer notar que la probabilidad p se considera constante a lo largo de la secuencia, de modo que no es afectada por la no ocurrencia del evento en los $n-1$ años previos al n de la primera ocurrencia.

En la Figura 1 se representa la probabilidad $P(n)$ para $p = 0.1$ y $N = 20$. Se observa que la probabilidad de la primera ocurrencia del evento decrece al aumentar n . La probabilidad de que el evento ocurra en el primer año es 0.100, la probabilidad de que el evento no ocurra en el primer año y sí ocurra en el segundo es 0.090, la probabilidad de que el evento no ocurra en los primeros dos años y sí ocurra en el tercero es 0.081, etc.

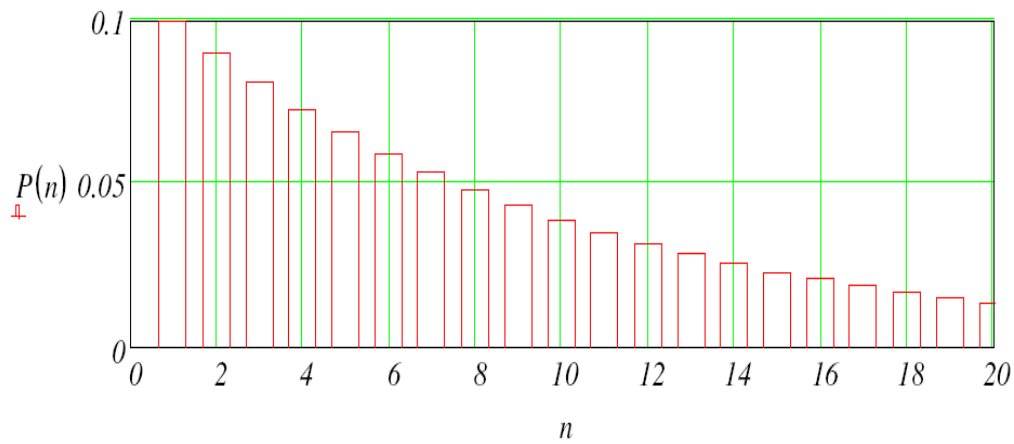


Figura 1

El *tiempo medio de recurrencia* o *período de retorno* T del evento en consideración es el valor medio de la distribución $P(n)$ para $N \rightarrow \infty$, o sea,

$$T = \sum_{n=1}^{\infty} n P(n) \quad (2)$$

Desarrollando la sumatoria, se demuestra que,

$$T = \frac{1}{p} \quad (3)$$

es decir, que el período de retorno es la inversa de la probabilidad de ocurrencia anual del evento. En el ejemplo anterior resulta, entonces, T igual a 10 años.

A fin de interpretar correctamente el significado del período de retorno, se calculan algunas probabilidades. En primer lugar, se evalúa la probabilidad P_T de que el evento ocurra durante el período de retorno, es decir, durante 10 años en el ejemplo. Se tiene,

$$P_T = \sum_{n=1}^T P(n) = 0.651 \quad (4)$$

En otras palabras, la probabilidad de que el evento ocurra durante el período de retorno de 10 años es del 65.1 %. Esta probabilidad P_T depende sólo de p o, en forma equivalente, sólo de T . En la tabla siguiente se dan los valores de P_T para varios valores de p o T .

p	T	P_T
0.10	10 años	0.651
0.05	20 años	0.642
0.02	50 años	0.636
0.01	100 años	0.634

En la tabla puede observarse que P_T no presenta variaciones significativas.

Ahora se calcula la probabilidad de ocurrencia del evento en la mitad del período de retorno. Para $T/2 = 5$ resulta,

$$P_{T/2} = \sum_{n=1}^{T/2} P(n) = 0.410 \quad (5)$$

de modo que la probabilidad de ocurrencia del evento durante los primeros 5 años es del 41.0 %.

Para determinar el nivel crítico al que se le adjudica el período de retorno T o, análogamente, la probabilidad de ocurrencia del evento p , es necesario recurrir a la estadística correspondiente al fenómeno en estudio. En el ejemplo, se recurre a los valores de los niveles máximos anuales registrados en el obrador o en un lugar próximo, en años anteriores al siniestro. En los 15 años anteriores, se registraron los siguientes niveles,

5.44 4.43 3.43 4.10 7.09 4.94 5.13 4.97 5.37 7.87 3.89 5.76 4.81 5.09 4.32

que se muestran en la Figura 2.

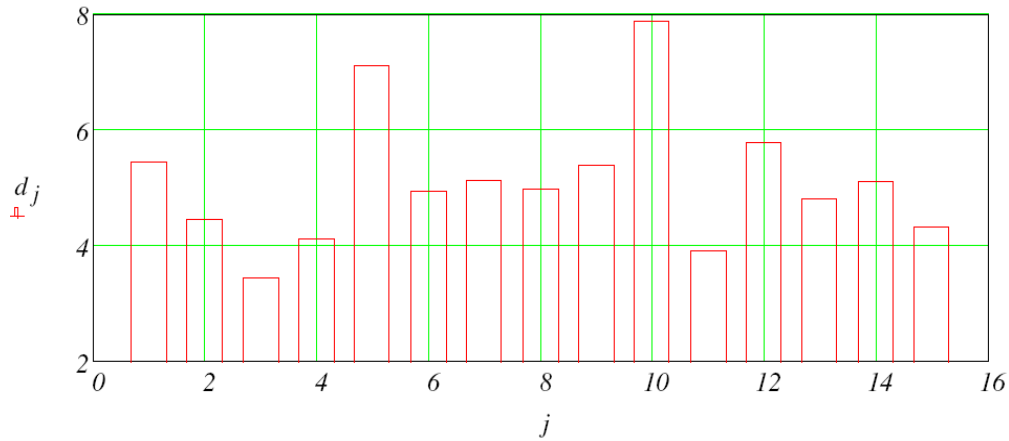


Figura 2

El valor medio, la desviación estándar y el coeficiente de variación valen, respectivamente,

$$\mu = 5.109, \quad \sigma = 1.116, \quad \delta = 0.218$$

Para su tratamiento probabilístico, conviene ordenar dichos niveles máximos anuales en un histograma. Adoptando 8 intervalos, se obtiene el histograma de la Figura 3.

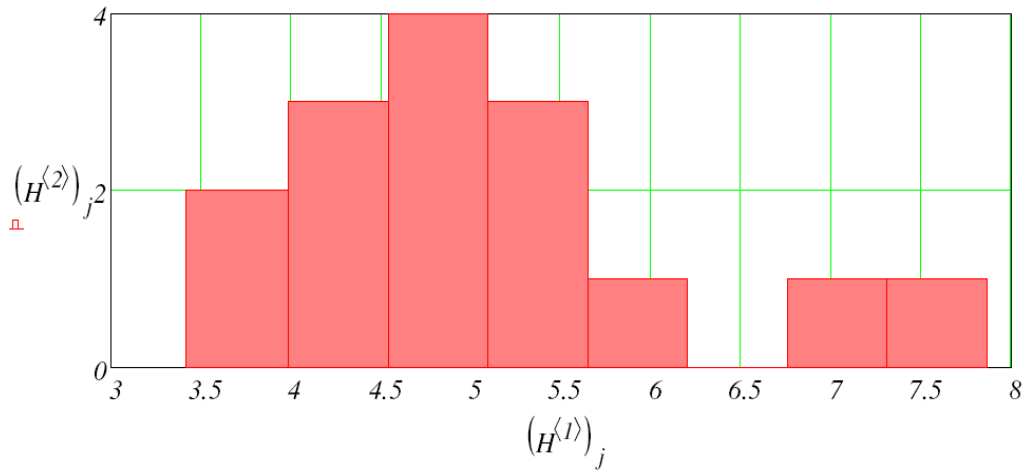


Figura 3

Para determinar el nivel crítico es necesario aproximar el histograma normalizado (histograma de área unitaria) mediante una función de distribución de probabilidad apropiada. En casos análogos al del ejemplo, se emplean habitualmente las denominadas Distribuciones de Máximos Tipo I (Gumbel) o Tipo II (Frechet).

Se aproxima el histograma normalizado con una Distribución de Máximos Tipo I (Gumbel), cuya densidad de distribución de probabilidad es,

$$f_1(x) = \alpha \exp\{-\alpha(x-u) - \exp[-\alpha(x-u)]\} \quad (6)$$

siendo α y u parámetros que dependen de μ y σ . En la Figura 4 se muestra esta función superpuesta al histograma normalizado de la Figura 3.

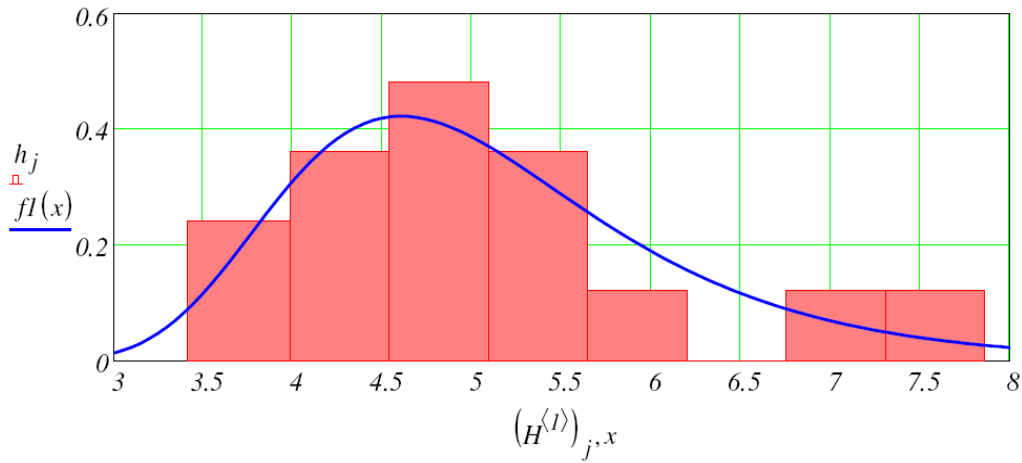


Figura 4

Para el período de retorno de 10 años, o sea, para $p = 0.10$, con esta Distribución de Máximos Tipo I se obtiene un nivel crítico $x_{T1} = 6.566$. Por lo tanto, si el siniestro en el obrador se debe a una inundación que alcanza un nivel mayor que x_{T1} , está cubierto por el seguro. Obviamente, los daños originados por inundaciones con nivel menor que x_{T1} no están cubiertos.

La Distribución de Máximos Tipo I (Gumbel) es ampliamente usada, aunque también suele emplearse la Distribución de Máximos Tipo II (Frechet),

$$f2(x) = \frac{k}{v} \left(\frac{v}{x} \right)^{k+1} \exp \left[- \left(\frac{v}{x} \right)^k \right] \quad (7)$$

con k y v parámetros que dependen de μ y σ . Con esta distribución se obtiene, para $p = 0.10$, un nivel crítico $x_{T2} = 6.424$, que no difiere mayormente del obtenido con la Distribución de Máximos Tipo I (Gumbel). Sin embargo, en algún caso podría ser necesario determinar cual de estas dos distribuciones da el “mejor” resultado. La respuesta precisa a este interrogante se tiene con el cálculo del error cuadrático del ajuste. Cuanto menor sea este error, mejor será el ajuste de la distribución al histograma. En este caso, el error cuadrático de ajuste para la distribución de Gumbel es 0.040 y para la de Frechet 0.063, siendo entonces más apropiada la primera.

Para mostrar la relación entre nivel crítico x_T y el período de retorno T (o la probabilidad p), se calcularon con la distribución de Gumbel los valores indicados en la tabla siguiente:

p	T	x_T
0.10	10 años	6.566
0.05	20 años	7.192
0.02	50 años	8.003
0.01	100 años	8.611

Se observa que cuanto mayor es el período de retorno, mayor es el nivel crítico. Si, por ejemplo, en la póliza de seguro mencionada se hubiera establecido un período de retorno de 50 años en lugar de 10 años, el nivel crítico sería 8.003 en vez de 6.566.

Un interrogante relacionado con el ejemplo sería el siguiente: ¿Cuál es el riesgo (la probabilidad P_R) de que una póliza con $T=10$ años *no cubra* el siniestro debido a una crecida de nivel 7.000? Empleando la distribución de Gumbel, esta probabilidad P_R es del 6.196 %. En cambio, si el obrador se sitúa en un nivel 8.000, P_R se reduce al 2.007 %.

Otro interrogante podría ser el siguiente: ¿Cuál debería ser el período de retorno establecido en la póliza si se desea que los daños debidos a inundaciones de nivel mayor que 7.500 sean pagados por el seguro? Con la distribución de Gumbel se obtiene $P_R = 3.537$ %, o sea, $T = 28.270$ años. En cambio, si este nivel fuese 8.500 resultan $P_R = 1.135$ %, o sea, $T = 88.095$ años.

De las respuestas a los interrogantes de los dos últimos párrafos se concluye que el costo de la prima del seguro debe ser menor cuanto mayor sea el período de retorno, ya que es menor la probabilidad de ocurrencia de una creciente que supere el correspondiente nivel crítico.

Nótese que, implícitamente, se consideran fortuitos los casos, siempre azarosos, en los que se supera el nivel crítico que, como se ha visto, está asociado al período de retorno adoptado.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se demuestra en este trabajo que es posible establecer límites aleatorios, pero con una precisa definición probabilística, para la aplicación legal del caso fortuito en el caso de la ocurrencia de fenómenos naturales.

Para ello es necesario establecer en los documentos contractuales y en las especificaciones técnicas el período de retorno T o la probabilidad anual de ocurrencia p del parámetro ingenieril que define la demanda generada sobre la estructura por el evento natural considerado (terremoto, huracán, tornado, viento, inundación, etc.) y el nivel de performance que se espera para dicha demanda.

Aún en los casos en que los datos estadísticos fueran insuficientes para cuantificar dicha demanda en el momento de la firma de los documentos contractuales, es responsabilidad del contratista conocer y contemplar en sus acciones, presupuestos y primas de seguro los riesgos asociados a la incertidumbre en su determinación.

En caso de la ocurrencia de un evento que provoque una falla en la estructura, será una cuestión técnica objetiva la correspondiente evaluación estadística que permita determinar si el límite establecido en los documentos contractuales ha sido superado y las consecuencias del evento pueden ser consideradas bajo el instituto del caso fortuito.

4. REFERENCIAS

¹ Cámara Nacional de Apelaciones en lo Civil, sala C • 17/05/2002 • Giordani, Jorge S. c. Autopistas Urbanas S.A. • RCyS 2002, 474, con nota de Gonzalo López del Carril.

² Cámara Nacional de Apelaciones en lo Civil, sala D • 19/03/1996 • Lowy, Juan c. Municipalidad de la Ciudad de Buenos Aires. • LA LEY 1997-F, 955, (40.070-S)

³ Ang A. H-S and Tang W.H, "*Probability Concepts in Engineering Planning and Design*". J. Wiley & Sons. Vol. I, 1975. Vol. II, 1984.