

**Ricardo Arturo Vetencourt**



**UNA VISIÓN CONVENIENTE  
DE LA CONSIDERACIÓN  
DEL RIESGO  
Y LA INCERTIDUMBRE EN LOS  
SISTEMAS DE ENSEÑANZA  
DE LA INGENIERÍA CIVIL**

## RESUMEN

El perfil del Ingeniero civil moderno apunta cada vez más su participación hacia una sociedad más sostenible y de mejor calidad de vida. Del rol tradicional de planificador, proyectista, constructor y operador de infraestructura, a conductor responsable del medio ambiente y sus recursos naturales, innovador e integrador de ideas en los campos públicos y privados, y en la Academia surge ya como una necesidad de la modernidad, formar individuos que puedan actuar como gestores del Riesgo e Incertidumbre provocadas por eventos naturales y accidentes de la Naturaleza. El marco legal en muchos países establece, obliga y otorga carácter vinculante a la realización de estudios que regulen la Gestión Integral de Riesgos (GIR) en proyectos financiados por organismos multilaterales.

**Palabras claves:** *Riesgo ; Incertidumbre; Factor de seguridad*

## RESUMEN

The profile of the modern civil engineer increasingly points to its share towards a more sustainable and better quality of life. From the traditional role of planner, designer, builder and operator of infrastructure, to driver responsible for the environment and natural resources, innovative ideas and integrating public and private fields, and the Academy as a need arises and the modern, form individuals who can act as managers of Risk and Uncertainty provoked by natural events and accidents. The legal framework established in many countries, and provides binding requires the studies to regulate the Integrated Risk Management (IRM) projects funded by multilateral agencies.

**Key words:** Risk; uncertainty; Safety factor

## La Ingeniería, el Riesgo y la Real Academia Española

El hombre desde sus principios se ha expuesto a una serie de eventos y estados de la naturaleza, que de una manera u otra, lo han expuesto al riesgo. La palabra riesgo ha evolucionado de tal manera, que hoy en día, obtener una definición universal del *riesgo* podría resultar una actividad lingüística difícil e imprecisa. Cada persona, cada profesional, cada comunidad, clasifica y define el riesgo de distintas maneras, en cuyas definiciones se registran coincidencias como aspectos vinculados con algo irreal y extraño que no se puede controlar. Es el caso que la Real Academia de la Lengua Española define el riesgo como: "*contingencia o proximidad de un daño; estar expuesto a perderse o a no verificarse*".

De tal forma que el ingeniero debería orientarse a analizar situaciones, amenazas naturales, tecnológicas o antrópicas, incluyendo sus probabilidades de ocurrencia, para luego establecer cuáles serían las posibles consecuencias negativas para el momento de su actuación. Con esta primera aproximación se estaría definiendo el riesgo hasta con un componente cualitativo. Es así como, en la Guía Técnica De Explotación De Presas y Embalses, Tomo 1128, del Comité Nacional Español de Grandes Presas (SPANCOLD), se refiere al riesgo como: "la combinación de tres conceptos: qué puede pasar, cómo de probable es que pase y cuáles son sus consecuencias".

En este primer enfoque se habrían involucrado términos como: probabilidad de que algo ocurra, exposición y consecuencias. Pero existen diversas formas de representar el riesgo. Una expresión matemática que tal vez involucra todo lo anterior mencionado de una manera sencilla, se representa en la ecuación (1)<sup>129</sup>:

$$R = V \times A \quad (1)$$

donde "R" es el Riesgo, objetivo del estudio; "V" la Vulnerabilidad del sistema de infraestructura; "A", la Amenaza del índole que corresponda y "x" representa la relación entre estos dos (2) últimos componentes. Esta expresión propone la necesidad de convolución entre la vulnerabilidad y la amenaza para que ocurra el riesgo. Omar Darío Cardona<sup>130</sup> menciona que la

128 Coedita: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, y el Comité Nacional Español de Grandes Presas, . SPANCOLD

129 Formulación para identificar el riesgo, "R".

130 Omar Darío Cardona: es Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Colombia, Sede

convolución"es un concepto matemático que se refiere a la concomitancia y mutuo condicionamiento..." de igual manera expresa que: "el riesgo corresponde al potencial de pérdida que pueden ocurrirle al sujeto o sistema expuesto, resultado de la convolución de la amenaza y la vulnerabilidad..." (Cardona, 2001).

Es así como Omar Darío Cardona expone la necesidad de trabajar el concepto de vulnerabilidad y amenaza de manera conjunta, por ser situaciones mutuamente condicionantes, pero resalta a su vez la importancia de estudiarlas independientemente, por las consideraciones metodológicas convenientes.

En términos generales, el riesgo atiende a tres características explicadas por José Grases<sup>131</sup> (Grases, J., 2012), en su libro "*Ingeniería forense y estudios de sitio guía para la prevención de gestión de riesgos*" las cuales son:

1. Que hayan ocasionado numerosas víctimas y/o elevadas pérdidas materiales, o que, en un futuro, pudieran conducir a situaciones comparables,
2. Que hayan generado o puedan generar una súbita simultánea demanda de atención de emergencias, que exceda la capacidad instalada del país
3. Que representen un riesgo de contaminación o un impacto ambiental negativo de larga duración, asociado a pérdidas humanas o económicas del país.

En tal sentido, definido el riesgo cualitativamente, esto contribuiría en el diseño de programas para mitigar situaciones que se pudiesen afrontar, vinculadas con una probable distribución de pérdidas. Sin embargo, el riesgo no puede definirse simplemente mediante la multiplicación de la vulnerabilidad y la amenaza porque implicaría una independencia entre ambas, lo cual no es del todo verdadero.

Sólo para citar dos casos recientes, contrastantes en lo que corresponde a protección de la población. El terremoto que en enero de 2010 dejó un balance de 300.000 víctimas en Haití, liberó cerca de mil veces menos energía que el de Chile sucedido 30 días después; este último también afectó una zona densamente poblada, con un balance de víctimas mil veces menor.

Manizales, Doctor de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).

131 José Grases: Doctor en Ingeniería Civil, opción Estructuras, Universidad Central de Venezuela (UCV) 1959, y Doctorado en Ciencias de la Universidad Central de Venezuela en 1974. Profesor visitante de la Universidad Metropolitana (Venezuela); *Imperial College, London University* (Inglaterra); y la Politécnica de Barcelona, (España). Además ha sido coordinador y docente de cursos de ingeniería Sísmica UNESCO-RELACIS (1990-1997) en Guatemala, República Dominicana, Panamá, Jamaica, El Salvador, Trinidad y Ecuador. Coordinador y miembro de la Comisión ponente de las nuevas Normas para el diseño de edificaciones sismorresistentes (COVENIN - MINDUR: 1982; 2001) Coordinador del Proyecto CONICIT para la actualización de la nueva Norma para el Diseño de Edificaciones de Concreto Armado (COVENIN 1753-2003). Miembro fundador de la Academia Nacional de La Ingeniería y el Hábitat, Caracas (1998- ).

Tal diferencia en el desempeño de edificaciones, es resultado de medidas preventivas, igualmente contrastantes, que han dejado lecciones entre los profesionales de la ingeniería, independientemente de su especialidad y nacionalidad. Sin olvidar el deslave ocurrido en el Estado Vargas en diciembre de 1999, Venezuela.

La herramienta principal en la valoración del riesgo es la adecuada estimación de ocurrencia de eventos, basado en la consideración estadística, que incluye la teoría de las probabilidades y los procesos estocásticos. Por ejemplo, existen Normas que establecen para el diseño de plataformas de costa afuera, que una vez concluida la ejecución de la obra, la probabilidad de ruina  $P(R)$  no debe exceder el valor  $4 \times 10^{-4}$  si se encuentra habitada y no debe exceder el valor  $1 \times 10^{-3}$ , si no está habitada permanentemente (ISO 19901-2, 2004, Tabla 2, p.11).<sup>132</sup> Para obtener estos valores se debe recurrir a una evaluación cuantitativa del riesgo. Es así como para el caso de los sismos, José Grases obtiene una aproximación de la siguiente manera:

Una aproximación se puede obtener sumando las contribuciones a esa probabilidad de ruina, de las acciones externas ( ) la ruina (R) como el estado de desempeño (ED) indeseable, un estimador de la probabilidad de ruina  $P(R)$  viene dado por la siguiente suma de productos, para todos los valores ( $A_i$ ) desde los más pequeños a los más grandes concebibles:

$$P(R) = \sum P[(R)/A_i] \times P(A_i) \quad (2)$$

donde: la probabilidad  $P(A_i)$  representa la amenaza y  $P[(R)/A_i]$  la vulnerabilidad.

Es evidente cómo para evaluar y tener una noción más *precisa* del riesgo, es necesaria una visualización integral de todos los factores que representan o contribuyan a pérdidas o daños en el sistema. Por ello D.S. Bowles<sup>133</sup> menciona que *"el riesgo puede definirse como la probabilidad de consecuencias indeseables"*. (Bowles, D.S. 2012)

El análisis de riesgo resulta de una amplia serie de estudios para configurar condiciones en la toma de decisiones precisas, que logren disminuir, controlar y mitigar los daños y pérdidas. Es evidente que una primera etapa sería la evaluación cualitativa del riesgo donde la vulnerabilidad y la amenaza se estudien independientemente, con la finalidad de obtener el *cuál*, *por qué* y el *cómo* de la investigación del análisis o gestión integral del riesgo.

Por su parte Mauricio Sánchez, define el riesgo de la siguiente forma:

---

132 ISO: Organización Internacional de Normalización; ISO-19901-2 referida a "Procedimientos de Diseños Sísmicos y Criterios".

133 David Bowles es Profesor de Ingeniería Civil y Ambiental y ex director del Laboratorio de Investigación del Agua, University of Utah..USA.

$$\text{Riesgo} = E[L] = \sum_{i=1}^n \left[ \sum_{j=1}^m p(L_i, A_j) p(A_j) L_i \right] \quad (3)$$

donde  $L_i$  representa el nivel de pérdidas  $i$ ;  $p(L_i, A_j)$  es la probabilidad de que se presente un nivel de pérdidas  $L_i$  dado que ocurrió el escenario  $A_j$ , los eventos  $A_j$  están determinados por el contexto del problema y pueden describir diferentes intensidades de un mismo fenómeno o diferentes situaciones (para el caso de funciones de pérdidas continuas, la ecuación debe expresarse como integrales con la definición apropiada de los límites de integración); y  $p(A_j)$  es la probabilidad de que se presente dicho evento.

En las fórmulas (1), (2) y (3) los autores expresaron de manera distinta el riesgo, a pesar de estar involucrados prácticamente los mismos conceptos, es decir, vulnerabilidad, amenaza y consecuencias.

Como consecuencia de lo antes expuesto, se evidencia que el realizar una evaluación de riesgo es un proceso complejo, en el cual la herramienta más importante para la toma de decisiones, pareciera ser, dimensionar la incertidumbre.

## **La estricta consideración de las Normas Técnicas, ¿garantizaría que un sistema de infraestructura estaría completamente seguro?**

En la actualidad se considera un factor para la mejor caracterización de amenazas o la protección de las vulnerabilidades de un sistema. Este sistema de corrección *a priori* se conoce como el *Factor de Seguridad*, que de una manera u otra involucra la incertidumbre. Sin embargo interrogantes y discusiones por la falta de información en torno a este tema, son frecuentes. Numerosos especialistas, en todo el Mundo, han señalado que los ingenieros podrían no estar suficientemente documentados con el manejo de la incertidumbre, y, consecuentemente, podrían advertirse debilidades en la información considerada en los programas académicos para la formación de ingenieros civiles.

Una estrategia de análisis, para la *deconstrucción* de programas académicos de ingeniería, basándose en la gestión del riesgo y en el manejo de la incertidumbre, indagando en cada uno de los conceptos, sus avances y cómo los mismos son percibidos por los ingenieros, podría basarse en el planteamiento de interrogantes como: *¿Es el Factor de Seguridad en las fórmulas de diseño de ingeniería civil una garantía en la gestión integral del ingeniero civil?* Hay que tomar en cuenta que las herramientas utilizadas por los ingenieros para diseñar, construir, reparar y controlar repercuten directamente en la sociedad, en la vida civil, por ello, la necesidad y la

importancia en llegar a consensos con respecto a la elaboración de modelos más confiables.

En Venezuela, al igual que en el resto del mundo la ingeniería, ha evolucionado aceptando la incertidumbre en las variables que se consideran para sus procesos de análisis. Este avance ha sido paulatino; tal es el caso que José Grases en sus "Notas sobre la Incorporación de Conocimiento Incierto en la Ingeniería Estructural Venezolana" realiza una introducción a los antecedentes de la incertidumbre en la norma venezolana, donde argumenta que para el año 1945 se elaboran las Normas para la Construcción de Edificios, MOP 1945, la cual acepta la discrepancia en función de la elaboración del concreto y coloca un criterio dependiendo del uso del mismo. Para el año 1947 se publica la Norma de Cálculo del MOP reafirmando el interés de los profesionales en organizar, optimizar, controlar y profundizar en el manejo de las variables.

No es sino para el año 1962 que Víctor Sardi<sup>134</sup>(1911-2001) en sus trabajos empieza a proponer y a profundizar acerca de la naturaleza incierta y de los fenómenos naturales, destacando: "*También es corriente encontrar personas que, olvidándose de las grandes incertidumbres involucradas en la determinación de las solicitaciones, valores característicos de los materiales y de las estructuras, pretenden lograr una gran precisión en los cálculos*" V. Sardi (Grases, J., 2012)

Esa incertidumbre era, y sigue siendo, atendida, parcialmente, a través de los llamados "factores de seguridad", los cuales eran establecidos por un experto o varios expertos, que valiéndose de sus experiencias –con análisis y registro sistemático de casuísticas– asumían un *número* para la corrección de datos, dimensiones, solicitaciones, capacidades, etc., que podría garantizar –o alargar– la vida útil de la obra.

## A mayor conocimiento, mayor incertidumbre

El término incertidumbre engloba principalmente dos conceptos de naturaleza distinta: variabilidad natural e incertidumbre epistémica. Se entiende por variabilidad natural a la aleatoriedad inherente a los procesos naturales, que se manifiestan como la variabilidad a lo largo del tiempo, de fenómenos que tienen lugar en un punto concreto del espacio (variabilidad temporal) o

---

134 Víctor Sardi (1911-2001) hizo sus estudios en la Universidad Central de Venezuela graduándose de Doctor en Ciencias Físicas y Matemáticas el año 1936. Fue autor de variados informes técnicos y trabajos relacionados con sus investigaciones en los campos de la hidráulica y de la ingeniería estructural. Su última contribución titulada *Inundaciones del litoral central de Venezuela. Escala de magnitudes*, escrita el año 2000, puede considerarse equivalente a la escala de Mercalli en sismología ya que incorpora al registro cuantitativo de precipitaciones torrenciales el historial de eventos naturales ya sucedidos.

como la variabilidad a lo largo del espacio de fenómenos que tienen lugar en distintos puntos pero de forma simultánea (variable espacial). En cambio, la incertidumbre epistémica es la derivada de la falta de conocimiento, bien sea por escasez o por ausencia total de datos, o por ignorancia en la capacidad de comprensión de mecanismos que operan sobre un determinado fenómeno; esta incertidumbre es difícil de cuantificar. Ver figura 1.

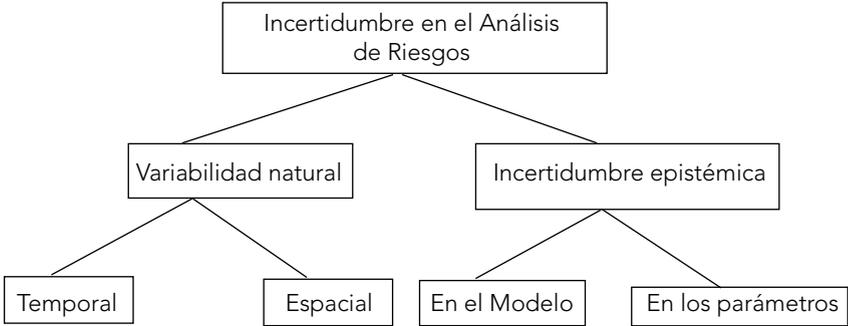


Figura 1 : Taxonomía de la incertidumbre en el análisis de riesgos. Tomado de "Análisis de riesgos aplicado a la gestión de seguridad de presas y embalses" por Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y Comité Nacional Español de Grandes Presas; s.f.

### Incertidumbre aleatoria e Incertidumbre epistemológica

En su concepto más amplio y general la incertidumbre se puede clasificar en aleatoria y en epistemológica. La incertidumbre aleatoria es inherente al problema o tema que se esté considerando. Por ejemplo: los eventos naturales, y la variabilidad de la carga de servicio sobre una viga. Mientras que la epistemológica se relaciona con el conocimiento y puede reducirse mediante la obtención de datos o información adicional.

No existe una interpretación única de la incertidumbre, es así que se habla de: i) incertidumbre asociada a la decisión, proviene de la dificultad para precisar si un evento ha ocurrido realmente; ii) incertidumbre sobre la modelación, que está relacionada con la selección de relaciones simplificadas entre las variables básicas para la representación de las relaciones reales o del fenómeno de interés; iii) incertidumbre por la predicción, que revela la dificultad para elaborar modelos que describan escenarios futuros, etc. A pesar de las infinitas interpretaciones, la descripción de las fuentes de incertidumbre busca mejorar la información en un análisis de riesgo para

permitir la elaboración de modelos más confiables que conduzcan a la toma de decisiones apropiadas.

Ignacio Escuder<sup>135</sup> (comunicación personal, Abril 4, 2013) expresa lo siguiente, refiriéndose a todas estas interpretaciones de la incertidumbre: *"en el coeficiente de seguridad no se tiene en cuenta la variabilidad natural. La incertidumbre epistémica está ahí escondida y arbitraria, pero no está explícitamente reconocida"*.

## Cambios y Paradigmas de la Ingeniería Civil

Para la **Sociedad Americana de Ingenieros Civiles - ASCE**<sup>136</sup>: El Ingeniero Civil está involucrado con la sociedad para crear un mundo sostenible y mejorar la calidad global de vida; los ingenieros civiles se desempeñan con maestría, en forma competente, colaborativa y éticamente como: planificadores, diseñadores, constructores y operadores de infraestructura; conductores responsables del medio ambiente natural y sus recursos; innovadores e integradores de ideas y tecnologías en los campos públicos, privados y académicos; gestores para el riesgo e incertidumbre provocados por eventos naturales, accidentes y otras causas y como líderes en las discusiones y decisiones de las políticas públicas ambientales y de infraestructura.

Ahora bien, se ha definido la incertidumbre sus interpretaciones y relación con el factor de seguridad, de igual forma, se ha puesto en duda la garantía de protección del factor de seguridad y se ha mencionado que para obtener un análisis de riesgo apropiado es necesaria la elaboración de modelos más confiables, Por tal razón desde hace ya algunas décadas, el concepto de Factor de Seguridad fue sustituido por el de "confiabilidad".

En su forma más básica, los sistemas de confiabilidad consideran la relación que existe entre la resistencia del sistema y la sollicitación a la que éste se encuentra sometido (Barreiro, M. 2006). Debido a la naturaleza incierta de la resistencia de los materiales y de las sollicitaciones se describen estas, como variables aleatorias, que deben ser caracterizadas por funciones de probabilidad. Si se designa como (X) una determinada variable aleatoria y (x) un valor particular, la probabilidad de que (X) esté comprendida entre dos valores (x1) y (x2), expresándolo como  $P[x_1 \leq X \leq x_2]$ , es el área bajo la curva que caracteriza la distribución de densidades de probabilidad.

Esta ecuación se designa de la siguiente forma:

135 Ignacio Escuder, actual Presidente del Comité Internacional de ICOLD sobre los aspectos computacionales de análisis y diseño de las presas . Secretario general en club Europeo de ICOLD (Comisión Internacional de Grandes Presas) Profesor Titular en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España.

136 ASCE (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles), (2006) "Como alcanzar la Visión para la Ingeniería Civil en 2025", Preparado por el Comité. Directivo de la ASC para planificar Cumbre sobre el Futuro de la Profesión de la Ingeniería Civil en 2025.

$$P[x_1 \leq X < x_2] = \int f_X(x) \times dx \quad (4)$$

Pareciera que el factor de seguridad podría presentar importantes limitaciones debido a su interpretación determinística, debido a la invariancia, que no es conveniente para modelos que están relacionados a una naturaleza incierta. El manejo probabilístico de la incertidumbre, surge como la mejor alternativa en este proceso con lo cual los trabajos de ingeniería de vanguardia se refieren a márgenes de seguridad, en lugar de la aplicación de factores de seguridad, ya sean estos aplicados a las condiciones mecánicas de los materiales o a las solicitudes de servicio de una infraestructura.

Desde un enfoque más elevado del paradigma determinístico, José Bolívar, proyectista y consultor, invita a los ingenieros a ir "más allá de solo aplicar la norma", y se refiere a esto como el Metacálculo estructural:

El problema de diseño estructural debe acometerse desde una óptica que vaya más allá de la simple aplicación de Normas, fórmulas y números. Que vaya más allá de lo que suele llamarse: cálculo. Algo que, para diferenciarlo de las convenciones prácticas, hemos osado denominar, sin ánimo de inquietar a los puristas de la terminología: Metacálculo. (Bolívar, 2006)

## **Tendencias mundiales hacia la mitigación de desastres naturales. Nuevo Marco Legal Nacional e Internacional**

El Marco de Acción de Hyogo (MAH) es el instrumento más importante para la implementación de las acciones y medidas para reducción del riesgo de desastres que adoptaron los Estados Miembros de las Naciones Unidas. Su objetivo general es aumentar la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres, al intentar lograr, a partir del año 2015, una reducción considerable de las pérdidas que ocasionan los desastres, tanto en términos de vidas humanas como en cuanto a los bienes sociales, económicos y ambientales de las comunidades y los países. El MAH ofrece cinco áreas prioritarias para la toma de acciones, al igual que principios rectores y medios prácticos para aumentar la resiliencia de las comunidades vulnerables a los desastres, en el contexto del desarrollo sostenible.

Desde la adopción del MAH, diversos esfuerzos realizados en los ámbitos mundial, regional, nacional y local han abordado la reducción del riesgo de desastres de una forma más sistemática. Sin embargo, todavía queda mucho por hacer. La Asamblea General de las Naciones Unidas ha hecho un llamado a la implementación del MAH y ha reafirmado la importancia del Sistema multisectorial de la Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres (EIRD, 2012), al igual que de la Plataforma Global para la

Reducción del Riesgo de Desastres para apoyar y promover el Marco de Hyogo. Asimismo, la Asamblea General ha instado a los Estados miembros a establecer plataformas nacionales multisectoriales para coordinar la reducción del riesgo de desastre en los respectivos países. También, diversos entes regionales han formulado estrategias a ese nivel para la reducción del riesgo de desastres en la región andina, Centroamérica, El Caribe, Asia, el Pacífico, África y Europa, de conformidad con el MAH.

El enfoque de amenazas múltiples puede mejorar la eficacia. Las comunidades suelen estar expuestas a una variedad de riesgos debido a múltiples amenazas, las que pueden ser de origen natural o inducidas por el hombre tales como las amenazas hidrometeorológicas, geológicas, biológicas o medioambientales. Los riesgos acumulados no pueden ser abordados eficazmente si simplemente se consideran algunas amenazas. Un enfoque de riesgos múltiples considera vincular los conocimientos de las distintas amenazas en la gestión de desastres y de riesgos de desastres, en las estrategias políticas, evaluaciones profesionales y análisis técnicos, en las capacidades operativas y en las de comprensión del público, que conduzca a una mayor efectividad y mayor costo-eficiencia. (Words into Action: A Guide for Implementing the Hyogo Framework. International Strategy for Disaster Reduction. 2007)137138

## La importancia de la gestión del riesgo en la educación a nivel universitaria.

El concepto incluido en la palabra riesgo en sus definiciones primigenias consideraba cierto nivel de inseguridad ante el comportamiento de un sistema. La palabra seguro, por su parte, proviene del latín "securus" y representaba estar alejado de cuidados y preocupaciones, proporcionando tranquilidad.

De esta manera, la consecuencia directa de un determinado riesgo sobre una infraestructura se cuantifica por sus modos de fallo, expresada de forma cualitativa y cuantitativa.

La probabilidad de falla (ó de fallo) de cada caso o parte integrante de la infraestructura, vinculada a su vez con distintas amenazas o condicionadas por las vulnerabilidades (parciales o integrales) del sistema de infraestructura, sirven para medir la seguridad en un sistema. La modelación de una falla, por lo tanto, es fundamental para cualquier análisis de riesgo ya que identifica

137 Los Objetivos del Desarrollo del Milenio son: erradicar la pobreza y el hambre; lograr la enseñanza primaria universal; promover la igualdad entre los géneros y la autonomía de la mujer; reducir la mortalidad infantil; mejorar la salud materna; garantizar la sostenibilidad del medio ambiente; fomentar una asociación mundial para el desarrollo en base a una plataforma global para la reducción de desastres; combatir el VIH/Sida y la incidencia del paludismo y otras enfermedades graves.

138 Ley de Gestión Integral de Riesgos Socio Naturales y Tecnológicos (Gaceta Oficial N°39.095 del 9 de Enero de 2009) 39035,9-1-13;República Bolivariana de Venezuela

todos los posibles escenarios que representen consecuencias negativas. Entre los principales aspectos que se deben considerar para la modelación de una falla se encuentra: (a) definición y caracterización del sistema, (b) contexto del sistema, (c) determinación de las consecuencias, y (d) manejo y consideración de la incertidumbre.

Consecuentemente, la modelación del riesgo, desde un enfoque académico, debe considerar todos los posibles escenarios que se puedan presentar y las consecuencias que se pueden derivar directamente de cada uno. Dentro de un análisis de escenarios futuros la incertidumbre juega un papel muy importante, pues es imposible, conocerlos con total certeza.

Evidentemente una clasificación primaria de los modos de falla, debería considerar el origen de una falla, pudiendo ser ésta de distintas naturalezas; con lo cual podría clasificarse en: (a) fallas estructurales, (b) fallas ocasionadas por el factor humano, y (c) fallas de diseño y operación.

Es importante destacar que las fórmulas para la estimación del Riesgo, tratan de disminuir la incertidumbre presente en todos los procesos y en su análisis posterior. Los ingenieros en su afán de proteger la vida humana y sus proyectos, suelen –o deben– considerar una serie de variables que son factores importantes en la toma de decisiones, ya que modificarían o disminuirían las consecuencias que se pueden desencadenar por un evento. Por ello, el énfasis de involucrar y tener presente la incertidumbre en todas las etapas de un proyecto, inclusive en la construcción y mantenimiento de las obras de infraestructura civil, es de vital importancia.

Un enfoque conveniente de la incorporación del riesgo en los programas académicos para la enseñanza de estudios de ingeniería civil podría ser el siguiente. (Ver figura 2)

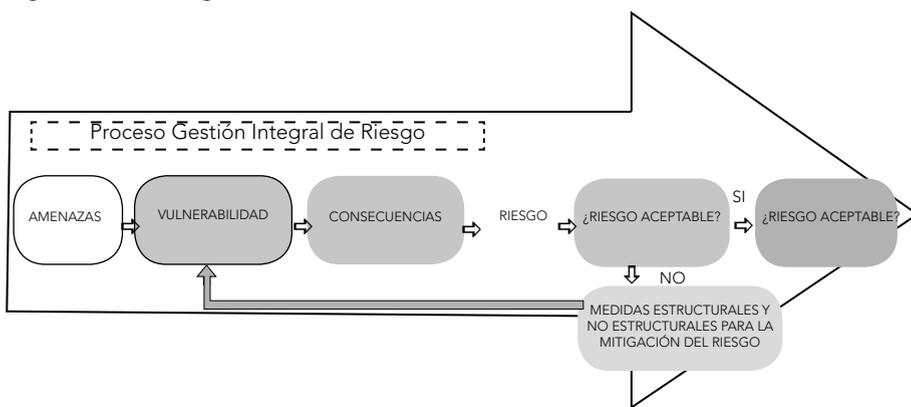


Figura 2: Proceso para Gestión Integral de Riesgo en infraestructuras ( Rivas et al, 2012)

En el campo académico, un propósito paralelo y coherente con el anterior, lo constituiría la incorporación de la gestión del riesgo en los programas de pregrado y de postgrado que adelantan las instituciones de educación superior de la región hemisférica.

Para lograr esto, existen dos campos actuales y potenciales de acción: uno, la incorporación de la gestión del riesgo como una dimensión indispensable y complementaria en cualquier perfil profesional, lo cual le debe permitir al egresado de cualquier programa de postgrado identificar la responsabilidad que le corresponde a su respectiva profesión o especialidad, tanto en la conformación de los riesgos que afectan o pueden llegar a afectar a una sociedad, como en la gestión de los mismos para reducirlos y evitar que se conviertan en desastres. Y así mismo, en los procesos de atención a emergencias y de recuperación y reconstrucción que le siguen a la ocurrencia de un desastre. Es decir, el reto aquí es garantizar que todo profesional se convierta en actor y gestor del desarrollo sostenible de la sociedad.

El segundo campo de acción es la formación de especialistas en gestión del riesgo o, mejor, en alguna de las ramas específicas de la gestión del riesgo, dotados de conocimientos, aptitudes, habilidades y actitudes que los faculten para investigar, para tomar decisiones y para ejecutar acciones específicas tendentes a reducir los factores de riesgo presentes en una determinada sociedad, o para resolver los complejos problemas que se derivan de la existencia presente o futura de esos riesgos.

Algunos avances se han registrado recientemente. En el III Foro Latinoamericano y del Caribe sobre educación para la Gestión del Riesgo de Desastre, Panamá 25 y 26 de noviembre del 2010 se concluyó en la importancia de considerar que .." Es clave intervenir en la sensibilización sobre la Gestión de Riesgo e influir en momentos oportunos, tales como la revisión y el rediseño curricular".

De importancia singular reviste lo considerado para la Tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre Reducción del Riesgo de Desastre:

Fomentar que la academia y las instituciones de investigación se centra en la naturaleza evolutiva del riesgo y escenarios a mediano y largo plazo aumenta la investigación para aplicar localmente y apoyar acciones de las comunidades locales y de las autoridades y apoyar la interfaz entre política y ciencia para que se tomen decisiones efectivas (Papel de los Actores, número 34 numeral B).

La integración de ciencias y disciplinas especializadas, y la ética, por una parte, y las prácticas de casos de estudio, detalladamente documentados,

por la otra, son fundamentos vitales para el logro de los objetivos académicos e institucionales de los estudios de Maestría correspondientes.

La concepción de un nuevo modelo social, no centrado en el desastre, pero sí un ambiente de resiliencia en las instituciones universitarias, serían parte del basamento regional que permitiría un plan inter-universitario como sólido inicio para el apoyo en la construcción de una sociedad basada en un desarrollo humano verdaderamente sostenible.

A lo largo y ancho de Latinoamérica múltiples asociaciones civiles, redes universitarias y comunidades organizadas, están haciendo plausibles e importantes esfuerzos, individuales y mancomunados, para influenciar en las posturas culturales de casi 350 millones de personas, que viven en una extensión equivalente al triple de la extensión europea, pero con similar población. Pero aún hay mucho por incorporar al trabajo inter-universitarios o en las cimas estratégicas de decisiones políticas y sociales de esta región del hemisferio. Según registros recientes, en las universidades de Latinoamérica, el 57% de los estudiantes de la región cursan carreras en ciencias sociales, mientras que apenas el 16% cursan carreras de ingeniería y tecnología. (Oppenheimer, 2011). Por su parte, en China ingresan en las universidades casi 1.242.000 estudiantes de ingeniería contra 16.300 de historia y 1.520 de filosofía todos los años. Apenas 27% de los jóvenes en América Latina están en la universidad y otras instituciones de educación terciaria, comparado con 69% en los países industrializados. Esto combinado con los registros de amenazas naturales y eventos sociales, así como la proliferación de acciones agresivas y de orden colectivo por parte del hombre, como lo son los "*asentamientos urbanos no controlados*", amerita acciones inmediatas.

## Nuevas exigencias éticas en la enseñanza de la Ingeniería

Bajo la consideración de que las amenazas se potencian o manifiestan, en muchas oportunidades debido a la intervención del hombre, los esquemas de enseñanza de la ingeniería y sus impactos en la comunidad, pareciera ser obligatorio *repensar* sobre ellos. Propuestas académicas que representen respuestas ante estos nuevos paradigmas de la consideración del riesgo en los contenidos curriculares de la enseñanza de la ingeniería civil tomando en cuenta la ocurrencia, cada vez más frecuentes, de amenazas que se convierten en catastróficas.

Por su parte, el crecimiento institucional en función de las oportunidades y desarrollo de las necesidades del mercado profesional, son, sin duda, motivaciones para el diseño de novedosas ofertas académicas.

Pero cuando esta oferta académica puede estar, además, orientada por responsabilidades éticas, tienen sin duda, un valor superior con características propias de sustentabilidad en el tiempo.

Adicionalmente a lo anteriormente indicado por el ASCE, también hay manifestaciones similares en los altos niveles de la Iglesia Católica. En los últimos años la Comisión Pontificia de la Ciencia ha reorientado sus campos de atención. Uno de los aspectos de más relevancia, se refiere a conocer y tratar de definir la postura ética y responsabilidades de la comunidad científica mundial ante los cambios ambientales y la ocurrencia de desastres naturales. Ciertamente el Hombre y particularmente los ingenieros civiles, no pueden controlar las amenazas naturales, pero sí pueden evitar que éstas sean catastróficas.

Por su parte, las amenazas sobre las cuales se basan estas reflexiones de índole ético, son las amenazas antrópicas en las cuales el Hombre, es el "Constructor primordial de los Riesgos". Estos aspectos se ven expresamente referidos en las Encíclicas "*Caritas in Veritate*" (2010) y "*Centesimus Annus*" (1991) del Sumo Pontífice Benedicto XVI y de S. Juan Pablo II, respectivamente

El hombre recibe de Dios su dignidad esencial y con ella la capacidad de trascender todo ordenamiento de la sociedad hacia la Verdad y el bien. Sin embargo, está condicionado por la estructura social en que vive, por la educación recibida y por el ambiente. *Centesimus Annus*, Carta Encíclica de Juan Pablo II (Mayo 1991)

El modo en que el hombre trata el ambiente influye en la manera en que se trata a sí mismo, y viceversa *Caritas in Veritate*, Carta Encíclica del Sumo Pontífice Benedicto XVI. (2009)

Dado el análisis de la situación planteada y los marcos internacionales que regulan las actuaciones preventivas en virtud de disminuir la ocurrencia de desastres, deberían surgir propuestas de programas académicos –contemporáneos y actualizados– en la enseñanza de la ingeniería civil, orientados hacia la Gestión Integral de Riesgos sobre las Infraestructuras<sup>139</sup>.

---

139 El autor de este artículo, coordinó a un equipo de profesores (2011-2014) de la Universidad Católica Andrés Bello, la Universidad Politécnica de Valencia, España, Universidad de Princeton y de Berkeley, USA, que presentaron un proyecto inédito para un Programa de Maestría con fundamentos transdisciplinarios de la ingeniería civil, sobre las consideraciones profesionales, científicas y éticas en la inclusión del Riesgo e Incertidumbre en los estudios de cuarto nivel de la ingeniería civil. Este programa se llama: "Programa de Maestría de Gestión Integral de Riesgo en Infraestructuras, UCAB "UPV".

## Ontología de Riesgo en infraestructuras y su participación en la educación superior

La ontología del riesgo representa un esfuerzo por ofrecer una nueva interpretación de lo que significa el riesgo de las infraestructuras; interpretación que reivindica situarse fuera de las normas de los programas de enseñanza que han servido de base durante largo tiempo para definir la forma de cómo observamos la ingeniería.

En tal sentido, se trata no sólo de una propuesta postmoderna sino casi también de una propuesta en el enfoque de pensamiento de la ingeniería civil.

La inquietud principal de la "ontología del riesgo en infraestructuras" se sitúa en el ámbito de la ética; se trata, en rigor, de un ensayo sobre la ética de la convivencia humana y con ello se apunta en dos direcciones diferentes. En primer lugar, se remite a la gran temática del valor y permanencia de las estructuras, lo que se considera el desafío fundamental de la ingeniería civil; y, en segundo lugar, nos dirige hacia los problemas que guardan relación con la construcción de nuevas edificaciones y modalidades de convivencia en un mundo globalizado, incluyendo la observancia, registro sistemático y permanente de la ocurrencia de amenazas (casuística), lo cual nos obliga a cambios en cuanto a la mirada al Otro, (Levinas Ugalde) quizás muy distinta de aquella a la que estábamos acostumbrados

Alguna similitud con este punto de inflexión en la filosofía del pensamiento en Ingeniería Civil, se le puede atribuir al llamado "giro cartesiano" que ocurrió desde la ruptura con la cosmovisión medieval y que se realizara por la erupción del pensamiento científico y la filosofía de René Descartes quien ha orientado en tantas maneras al pensamiento racional de los ingenieros civiles de nuestros días.

Estamos sin duda participando en una transformación histórica fundamental. Se está gestando una nueva y radicalmente diferente comprensión de la Ingeniería; la inclusión formal del "Paradigma del Riesgo y el manejo de la Incertidumbre" en el desempeño de la ingeniería civil, es uno de aquellos acontecimientos especiales singulares en la Historia de la Ingeniería, que tienen el poder de reconfigurar lo posible y de aumentar los niveles de seguridad de las obras de infraestructura. Estamos en el umbral de una nueva era histórica y los primeros en comprender la naturaleza e importancia de este cambio, les permitirán convertirse en pioneros en las respectivas disciplinas de la ingeniería civil.

La consideración del riesgo pone el énfasis no en el concepto general de las obras de infraestructuras, sino en la singularidad de las edificaciones que definitivamente cambia en durante su "historia evolutiva particular como

infraestructura” por su exposición ante las amenazas, que el mismo Hombre desarrolla, parcialmente, en su proceder y el surgimiento de vulnerabilidades intrínsecas de la infraestructura.

De alguna manera, el conflicto entre “factores de seguridad” y “márgenes de seguridad”, evidencia el conflicto entre la racionalidad, fundamentada en la Ciencia y la Con-ciencia con la adopción de los márgenes de seguridad y los sistemas de confiabilidad.

Por tal razón, no existen dudas en concluir, que solamente a través de un análisis interdisciplinario de las especialidades de la ingeniería civil, se podría lograr una gama válida de respuestas ante lo que estamos identificando como, patrón sin orden aparente de las amenazas naturales, que sí se están convirtiendo en catastróficas. De tal manera que incorporando ese análisis interdisciplinar, es que se podría concebir una verdadera gestión integral del riesgo, incluyendo la consideración del individuo y su verdadera capacidad de organizarse en diferentes niveles.

A este punto, estaríamos ante un posible instante de equilibrio para la propuesta de un nuevo paradigma científico en la ingeniería civil, más orientada a preservar la relación armónica del Hombre y su Ambiente, sin desconsiderar el conveniente e indetenible desarrollo de la Sociedad y del Individuo.

“Dios perdona siempre, los hombres alguna vez, y la Naturaleza nunca... estamos destruyendo la Creación, matando la Naturaleza, sin darnos cuenta de que nos estamos quedando con un desierto no con un jardín” S.P. Francisco, enero 2015, Alocución pública en Roma, Italia.

## Referencias Bibliográficas

- ALTAREJOS, Luis. Contribución a la estimación de la probabilidad de fallo de presas de hormigón en el contexto del análisis de riesgos. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. 2009. p. 683.
- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE). La visión para el ingeniero civil en 225. Basada en La Cumbre sobre el Futuro de la Ingeniería Civil en 2025, 21 y 22 de junio de 2006 p.100.
- Benedicto XVI, Caritas in Veritate, Carta Encíclica del Sumo Pontífice Benedicto XVI., Capítulo Cuarto. Desarrollo De Los Pueblos, Derechos Y Deberes, Ambiente, Copyright. Libreria Editrice Vaticana. 2009.
- BOLÍVAR, José. “Metacálculo estructural” en Ingeniería forense y Estudios de sitio. Guía para la prevención de gestión de riesgos, Volumen I. BANESCO SEGUROS, C.A. Caracas Venezuela 2006 p. 310.

- BOWLES, D. S. Tolerable risk guidelines for dams: principles and applications. TAYLOR & FRANCIS GROUP. Madrid,2012, p215
- CARDONA, O.D. La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. "Una crítica y una revisión necesaria para la gestión". Artículo y ponencia para International Work-Conference on Vulnerability in Disaster Theory and Practice. Holanda. sf. p1.
- CENTENO, R. Significado del factor de seguridad en geotecnia. ¿cuán confiable resultan los diseños geotécnicos a comienzos del siglo XXI?. C. Jimeno (Ed.), Ingeniería del Terreno. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.2006.
- CENTENO, V. I y III Foro de Perú y Panamá. " La unión de esfuerzos: Es el medio indudable para alcanzar La Necesaria Resiliencia, en Pueblos y Países, (II Foro Latinoamericano y del Caribe Sobre Educación para la Gestión del Riesgo de Desastre). Perú 6 y 7 de noviembre 2008.
- COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS Y PUERTOS, COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS. Análisis de riesgos aplicado a la gestión de seguridad de presas y embalse. Guía Técnica de Explotación de Presas y Embalses. Tomo 1. EXCE CONSULTING GROUP. sf. Madrid.p 6, 9, 17, 18.
- EIRD & UNISD. La gestión del riesgo de desastres hoy. Contextos globales, herramientas locales. 2008.
- GRASES, G. Venezuela. Amenazas naturales: terremotos, maremotos y huracanes. Caracas.1994.
- GRASES, G. "Principios básicos para el estudio de la contaminación de un suelo" en Ingeniería forense y estudios de sitio guía para la prevención de gestión de riesgos: Banesco Seguros, C.A. 2006.
- GRASES, J. Nota introductoria. J. Grases, M. Fuentes & C. Genatios (Eds.), Ingeniería forense y Estudios de sitio. Guía para la prevención de gestión de riesgos. Volúmen I., Caracas, Venezuela, CENTRO CITI & CONSULIBRIS. 2006, p11
- GRASES, J. Notas sobre la incorporación de conocimiento incierto en la ingeniería estructural venezolana. Notas dirigidas al Boletín ACADING.2011-2012, p. 03,08,11.
- Organización Internacional de Normalización; ISO-19901-2 referida a OPPENHEIMER, A. ¡Basta de Historias! La obsesión latinoamericana con el pasado y las 12 claves del futuro. Editorial Random House Mondadori, S. A. de C.V. México, D.F. 2010
17. JUAN PABLO II. Centesimus Annus, Sobre la cuestión social, Carta Encíclica del Sumo Pontífice Juan Pablo II en el Centenario de la

Rerum Novarum, Ediciones Palabra S.A. Castellana, 2010, Madrid.  
Capítulo IV, número 37.

REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Diccionario de la lengua española vigésima primera edición. ESPASA CALPE S.A, Madrid, España, 1998.

SÁNCHEZ, M. Introducción a la confiabilidad y evaluación de riesgos: teoría y aplicaciones en ingeniería. UNIANDES. 1era Edición. Colombia, 2005, p. 40,183,206.

WORDS INTO ACTION. A Guide for Implementing the Hyogo Framework. International Strategy for Disaster Reduction. 2007.

## Referencias electrónicas:

(Pdf)VISIÓN VISIÓN-ASCE.

[www.asce.org/.../About\\_Civil\\_Engineering/.../vision2025-espanol.pdf](http://www.asce.org/.../About_Civil_Engineering/.../vision2025-espanol.pdf).  
12 de abr. de 2010 - ASCE y American Society of Civil Engineers:  
... www.asce.org. Copyright © 2010 The American Society of Civil Engineers. Reservados .Cómo alcanzar la visión para la ingeniería civil en 2025 ... 21 y 22 de junio de 2006. Visita el 08/01/15.

IDEAS-CLAVE EN CARITAS IN VERITATE

[www.catedraldemallorca.info/.../978-ideas-clave-en-caritas-in-veritate](http://www.catedraldemallorca.info/.../978-ideas-clave-en-caritas-in-veritate). Una vez más, la autoridad moral y el rigor intelectual de Benedicto XVI se ponen de manifiesto en la encíclica Caritas in veritate, cuya repercusión universal es....  
Visitaste esta página el 08/01/15.

“Caritas in veritate” Carta Encíclica, Benedicto XVI

[www.vatican.va/...xvi/.../hf\\_ben-xvi\\_enc\\_20090629\\_caritas-in-veritate](http://www.vatican.va/...xvi/.../hf_ben-xvi_enc_20090629_caritas-in-veritate) ...29 de jun. de 2009 - CARTA ENCÍCLICA CARITAS IN VERITATE DEL SUMO PONTÍFICE BENEDICTO XVI A LOS OBISPOS A LOS PRESBITEROS Y DIACONOS  
Visita el 08/01/15.