

# CARACTERÍSTICAS DE LA ACEPTACIÓN DEL RIESGO SOBRE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA EN LADERAS DEL VALLE DE ABURRÁ

Juan Camilo Viviescas Restrepo \*

Ingeniero Civil, Esp, M.Ing, PhD (est)

Grupo de investigación: GeoResearch International – GeoR  
Universidad de Antioquia

## 1. Introducción.

Los crecimientos urbanísticos alrededor del mundo afrontan grandes retos del orden social, ambiental y económico, donde la ingeniería juega un papel importante a través del diseño y construcción de distintas obras de infraestructura seguras, para el desarrollo de las distintas sociedades.

Debido a las condiciones topográficas y alto crecimiento demográfico, las sociedades se vieron obligadas a crecer urbanísticamente sobre las laderas, donde poco a poco se asumieron mayores retos con el fin de atender los cada vez más exigentes proyectos de urbanísticos, o en su defecto asumir las condiciones de riesgo relacionado con los posibles problemas de inestabilidad.

El caso del área metropolitana del Valle de Aburrá no es indiferente a este tipo de crecimiento, el cual se ha visto desarrollado sobre zonas de alto riesgo, lo cual no solo afecta a la economía de la sociedad, sino que genera un alto riesgo a vidas humanas como son los casos de los deslizamientos de Alto verde (2008), La Gabriela (2011) y Villatina (1987), entre otros.

Los desarrollos urbanísticos y los problemas asociados al manejo de las laderas, ha generado la necesidad de realizar intervenciones por medio de obras de ingeniería y tratamientos urbanísticos especiales a través de sistemas de contención y/o cimentaciones especiales. Por lo que el presente artículo consta en una evaluación subjetiva sobre las características para la aceptación del riesgo sobre distintas obras de infraestructura en laderas (Muros de contención, viviendas, sistemas anclados) según las condiciones económicas para los que se desarrolló el proyecto y el tipo de financiación del mismo, con el fin de identificar aquellas condiciones que dictaminen la aceptabilidad social del riesgo en el área metropolitana del Valle de Aburrá.

## 2. Marco Contextual.

Las distintas obras de infraestructura alrededor del mundo se deben diseñar y construir bajo normatividades locales como el Eurocode en Europa y las ASCE en los Estados Unidos. En el contexto Colombiano, el código de construcción se denomina como el *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente*, comúnmente conocido como la NSR, el cual en su prefacio establece que “La norma sismo resistentes presentan requisitos **mínimos** que, en alguna medida, garantizan que se cumpla el fin primordial de salvaguardar las vidas humanas ante un sismo fuerte” (A.I.S, 2010). Aunque la norma es específica en términos sísmicos, no es del todo específico en el término del tratamiento de las vidas humanas.

---

\* Autor de correspondencia: Juan Camilo Viviescas Restrepo. Correo electrónico: [juan.viviescas@udea.edu.co](mailto:juan.viviescas@udea.edu.co)

La responsabilidad sobre las vidas humanas, sin importar el agente que vulnere las distintas obras de infraestructuras, son cuantificables por medio de los análisis de riesgo de las construcciones, los cuales consta en la identificación de los posibles agentes que pueden afectar las vidas humanas como son el caso de sismos y los deslizamientos. Aunque la norma hace énfasis en las condiciones sísmicas, los deslizamientos en el área metropolitana corresponden al 74.1% de las causas de muertes por eventos naturales en el Valle de Aburrá (Aristizábal & Gómez, 2007), lo cual supera ostensiblemente a las afectaciones de las estructuras y pérdidas de vidas humanas por sismo.

La NSR en sus versiones, donde solo la de 1998 presenta un capítulo de geotecnia, determina a los factores de seguridad como el único método para establecer las condiciones de seguridad de las geoestructuras (estabilidad de taludes, cimentaciones y muros de contención). Aunque existen otros métodos mundialmente aplicados como son los métodos LRFD (load resistance factors designs), aún las normas no presentan un alcance suficiente para la realización de los diseños aplicando los análisis por confiabilidad (diseño basado en la determinación de la probabilidad de falla).

Debido a que la NSR se fundamenta en el diseño sismo resistente y la obvia vulnerabilidad del Área metropolitana frente a los eventos de movimientos de masa, surgen los primeros lineamientos locales que atienden esta necesidad como el Acuerdo Metropolitano #9, también conocido como El Código de Laderas. Este acuerdo, ya exigido en muchos de los proyectos del área, establece aquellas actividades del orden geológico – geotécnico para determinar la influencia de los proyectos en la estabilidad de los taludes del contorno, pero aun no determina claramente cómo se debe establecer los análisis de riesgo desde la geotecnia.

#### Implementación de obras de infraestructura en laderas.

La intervención sobre las laderas para los proyectos de ingeniería y con el fin de establecer las condiciones de seguridad tanto del proyecto como de sus alrededores, es común encontrar la implementación de cimentaciones profundas (cimentaciones menos susceptibles a alteraciones del entorno en comparación de las superficiales) además de implementar distintos tipos de sistemas de contención (muros de gravedad, in situ, mecánicamente estabilizados o anclados). Dichas obras geotecnicas deben ser diseñadas bajo las normatividades y por lo tanto cumpliendo con distintas condiciones de seguridad.

Aunque los diseños en ingeniería cuentan con un sin número de incertidumbres y restricciones, la ingeniería geotécnica presenta una condición particular, al ser el suelo uno de los materiales heterogéneos y con una variabilidad espacial significativa (Fenton & Griffiths, 2008; Lacasse & Nadim, 1998; Phoon & Kulhawy, 1999). Por lo tanto, los factores de seguridad junto con el criterio del ingeniero son las herramientas más comunes en la mitigación de las incertidumbres en los diseños (Elkateb, Chalaturnyk, & Robertson, 2003), aunque los diseños basados en su mayoría en el criterio presentan más o menos un 70% de probabilidad de generar diseños con predicciones malas o pobres (Morgenstern, 2000).

El efecto de las predicciones sobre los diseños de las diferentes obras de infraestructuras puede presentar efectos de sobre diseño, tal cual se evidencia sobre algunas estructuras geotécnicas después de eventos sísmicos (AASHTO, 2012). El sobre diseño de estos sistemas se encuentran atribuidos a la aplicación de grandes factores de seguridad, sobre estimación de las solicitudes de carga, subestimación de los parámetros geotécnicos, entre otros (Kloukinas et al., 2015), lo cual puede incurrir en la no implementación de los sistemas de contención por cuestiones de presupuesto en situaciones necesarias,

o la implementación de obras masivas que afectan ostensiblemente los costos de la infraestructura y por lo tanto el valor de las propiedades.

Por lo tanto, la implementación de diseños acompañados con un análisis de riesgo puede no solo concientizar sobre las variables que afectan las condiciones de seguridad en la sociedad de manera más clara, sino que puede permitir diseños con factores de seguridad de acuerdo a las condiciones de riesgo admisible y permitir la realización de aquellas obras más necesarias fuera del presupuesto de las mismas.

### **3. Análisis de riesgo.**

El riesgo corresponde a los efectos de aquellas variables no contempladas que pueden afectar el desempeño de los distintos elementos, y aunque es un término asimilable bajo el lenguaje social, los análisis de riesgo de fondo en ingeniería en su mayoría ausentes. De acuerdo a la ISO (2009), los análisis de riesgo corresponden a una serie de actividades para la medida y la determinación de la severidad en términos de probabilidad de un efecto adverso o **Amenaza** a las propiedades, vidas o el ambiente. La Amenaza a su vez se define como la probabilidad de ocurrencia de un peligro en una unidad de tiempo, por lo que el riesgo se determina como la amenaza multiplicado por la consecuencia de la misma expresado en dinero o vidas humanas (Lacasse & Nadim, 1998). Aunque el riesgo algebraicamente es sencillo de estimar, los análisis de riesgo corresponden en una de las tareas más complejas de realizar en ingeniería.

#### Aceptabilidad del riesgo

La complejidad de los análisis de riesgo corresponde fundamentalmente a los criterios de aceptabilidad o rechazo, los cuales son una tarea polémica y comúnmente no discutida, debido a que requiere aceptar la probabilidad de “permitir” pérdidas materiales, o en el peor de los casos, aceptar la posibilidad de pérdidas humanas en caso que se materialice la amenaza. Por lo tanto, es común encontrar que el ingeniero solo habla de amenaza lo cual puede dar valores “aceptables” bajo el criterio de la ingeniería, pero desde el punto de vista de riesgo pueden no serlo.

La aceptabilidad del riesgo, sea voluntaria (cuando se conoce que la genera) o involuntaria (cuando se está en un riesgo impuesto y desconocido), es una condición inevitable en los procedimientos humanos, donde la simple probabilidad de morir es de  $1 \times 10^{-6}$  por hora en países como los Estados Unidos o Europa y es inevitable de mitigar (Stern & Fineberg, 1996).

#### **Voluntad para aceptar el riesgo en el área metropolitana de acuerdo al estrato socioeconómico.**

La amenaza generada por los deslizamientos y fallas en muros de contenciones generan riesgo tanto a infraestructuras públicas (e. g. vías, vías férreas, hospitales, escuelas, sistemas de recolección de agua potable, entre otros) como privadas (e. g. edificaciones habitacionales, oficinas, sótanos, entre otros). Por lo que, al momento de establecer ciertas obras de infraestructura, de manera voluntaria o involuntaria, los ejecutores del proyecto asumen ciertas actitudes frente a las condiciones de riesgo. De acuerdo con Winter & Bromhead (2012), la actitud está ligada de las condiciones culturales y económicas de cada uno de los sectores y es clasificado como la: voluntad de aceptabilidad del riesgo, voluntad de afectación del ambiente y voluntad para pagar o invertir, el cual se evalúa en un diagrama de voluntades tal cual se ilustra en la Figura 1.



Figura 1. Diagrama de volúmenes de Winter & Bromhead (2012)

Uno de los factores culturales que afectan la aceptabilidad del riesgo, tiene que ver con el contexto socioeconómico de los distintos sectores, el cual, en este caso se determina por el estrato donde se ubica el sitio en análisis. El área metropolitana divide su área según “estratos” socioeconómicos, los cuales son consecutivos numéricos del 1 al 6, donde el estrato 1 es de condiciones socio económicas más bajas y el 6 el de más altas. La clasificación tipo estratos, surgen con el fin de generar los costos de los servicios públicos más acordes a la capacidad económica de las sociedades que ocupan ciertos sectores.

Según el “anuario estadístico de Antioquia” (Gobernación de Antioquia, 2013) de 1,050,686 de viviendas reportadas, el 11% corresponde a estrato 1, el 34% corresponde a estrato 2, 34% a estrato 3, 11% a estrato 4, 7% a estrato 5 y 3% a estrato 6. Por lo que para efectos prácticos se hablará en términos de *capacidad económica baja* (estratos 1 y 2 que corresponden al 45%), *capacidad económica media* (estratos 3 y 4 que corresponden al 44%) y *capacidad económica alta* (estratos 5 y 6 que corresponden al 11%).

Por lo tanto y teniendo en cuenta lo anterior, los análisis de las características de la aceptabilidad el riesgo es realizado según los siguientes criterios:

1. *Tipo de financiación*: corresponde a la entidad que financia los proyectos, lo cual se clasifica como obras financiadas por entidades **públicas** o **privadas**.
2. *Capacidad económica del sector*: corresponde al estrato donde se encuentra el proyecto, donde se define según la capacidad baja, media o alta.
3. *Funcionalidad*: corresponde a aquellos sistemas donde su funcionalidad corresponde a predios privados, públicos o mixtos.
4. *Fecha de realización*: Aunque la fecha exacta no es una característica importante para el análisis de volúmenes de riesgo, lo importante es saber si estas deben cumplir o no con ciertos requerimientos mínimos normativos. Debido a la inclusión de la NSR98 del capítulo geotécnico, se define que aquellas obras post NSR98 corresponden a obras obligadas a cumplir con la norma y las pre NSR98 a aquellas que no.

Ejemplo 1: Capacidad económica: media – Financiación: Pública – Funcionalidad: Privada – fecha: post NSR98.

Corresponde a las obras ejecutadas con recursos públicos para efectos de entregas a viviendas a desplazados o habitantes de zonas de alto riesgo. Para este caso se analizaron dos obras de similares condiciones arquitectónicas y de pendiente sobre los costados orientales y occidentales del Valle de Aburrá, tal cual se presenta en la Figura 2.



**Figura 2.** Ejemplos de condiciones de aceptabilidad del riesgo para obras publicas de estratos medios.

Se puede evidenciar sobre el proyecto occidental una voluntad baja para aceptar el riesgo y alta para la afectación del ambiente, pero media a alta para el pago de las estructuras que controla el agente que desata el riesgo (deslizamientos). En cambio, la oriental presenta una aceptación al riesgo media a alta, afectación del ambiente media a alto y media a baja voluntad de pago.

Aunque los proyectos son similares en muchos sentidos, se diferencian en la empresa constructora e interventora del proyecto, por lo que para este tipo de proyectos la voluntad del riesgo la asume o se delega por parte de la entidad gubernamental al constructor como responsable de la ejecución.

Ejemplo 2: Capacidad económica: baja – Financiación: Privada – Funcionalidad: Privada – obras: pre NSR98.

La mayoría de estas estructuras corresponden a aquellas realizadas previo establecimiento de las normatividades para la construcción en el país. De acuerdo con los testimonios de Acevedo (2017), alrededor del 50% de este tipo de viviendas presentan deficiencias en su concepción estructural debido al encargo de la construcción y concepción a personal no calificado. Estos procedimientos en conjunto con el no cumplimiento de las normatividades, tornan a este tipo de estructuras en un elemento con altas incertidumbres en el comportamiento tanto estático como dinámico, además de ser posiblemente calificado como una obra de riesgo no tolerable, tal cual se presenta en la Figura 3.



**Figura 3.** Ejemplo de condiciones de aceptabilidad del riesgo para obras privadas de estratos bajos.

De acuerdo a lo anterior se concluye que este tipo de obras privadas realizadas antes de la vigencia de la NSR98, presenta una alta aceptación del riesgo, con baja aceptación al pago y media a alta disponibilidad a afectar el ambiente.

*Ejemplo 3: Capacidad económica: media – Financiación: Privada – Funcionalidad: Privada – tiempo: post NSR98.*

Corresponde a las obras ejecutadas con recursos privados para la venta al público de capacidad económica media a baja. De acuerdo a los distintos requerimientos para el desarrollo de proyectos de viviendas de estratos bajos, se requiere la conformación espacios públicos que afrontan los mismos retos para el desarrollo en laderas. Al igual que cualquier obra entregada a un usuario final, estas deben cumplir con ciertas condiciones de uso que aseguren la funcionalidad en el corto y largo plazo, por lo que para el análisis se divide de acuerdo a la voluntad del riesgo que asume el constructor del proyecto y la del usuario final.

- *Actitud del constructor:* Dentro de la visualización de estos proyectos, se evidencia que el constructor presenta una voluntad media a baja para aceptar el riesgo, alta para la afectación del ambiente y media a baja para la inversión. La voluntad para la inversión está ligada directamente con la tipología del público objetivo de estos proyectos, debido a que a mayores precios para el tratamiento del riesgo, mayores los costos finales al usuario, lo cual afectaría notoriamente las ventas del mismo.

- *Actitud del usuario final o residente:* El usuario final de los proyectos de infraestructura no solo asume los riesgos de aquellas obras que corresponden a su propiedad, sino a aquellas ocurridas sobre las zonas comunes. La Figura 4 presenta un tratamiento de un talud sobre las zonas comunes, la cual cumple como obra para la mitigación del riesgo, pero debido a la falta de mantenimiento de las estructuras hidráulicas sobre el costado superior, llevaron a la falla del mismo. Lo anterior se debe no solo a la poca voluntad al pago del usuario, sino al desconocimiento y falta de concientización de los agentes que generan el riesgo al usuario final.



**Figura 4.** Ejemplo de aceptabilidad del riesgo del usuario sobre zonas comunes en proyectos de capacidades económicas media.

Aunque las zonas comunes son aquellas comúnmente más vulnerables en este tipo de proyectos, sobre las mismas propiedades también se puede infringir en actos que afecten la funcionalidad estructural, los cuales constan en aquellas actividades que alteren el comportamiento estructural (remoción o alteración de muros cargueros, columnas o losas), la capacidad de las cimentaciones (aumento de las cargas y excavaciones sobre cimentaciones tal cual se presenta en la Figura 5) y de uso de la estructura (cambio de residencial a bodegas) entre otros.



**Figura 5.** Ejemplo de aceptabilidad del riesgo del usuario sobre las propiedades en proyectos de capacidades económicas medias.

Lo anterior evidencia, desde el punto de vista del usuario, una alta aceptabilidad del riesgo, una baja voluntad para el pago y una voluntad media para afectar el ambiente. Lo anterior se debe al desconocimiento de los factores que generan riesgo y a las falencias económicas para atenderlo.

Ejemplo 4: Capacidad económica: media – Financiación: Pública – Funcionalidad: mixta – tiempo: post NSR98.

Corresponden aquellas obras realizadas posteriores a obras de incrementos de las secciones viales o realización de nuevos trazados con el fin de proteger predios vecinos. De acuerdo al ejemplo de la Figura 6, el incremento de la vía requirió cortes cercanos un proyecto privado, donde se estableció un muro inicial que debido a la presencia de escarpes sobre el talud la entidad se vio obligada a tratamientos posteriores, de los cuales las dimensiones y la tipología del muro se definía según las condiciones visuales del proceso de inestabilidad al momento del tratamiento.

Lo anterior evidencia una alta voluntad a la afectación del ambiente, una media disposición al pago y una aceptación del riesgo media a alta, por lo que los usuarios se ven bajo condiciones de riesgo involuntario el cual es impuesto por la entidad encargada de la obra.



**Figura 6.** Ejemplo de aceptabilidad del riesgo de proyectos públicos con serviciabilidad mixta de capacidades económicas media.

Ejemplo 5: Capacidad económica: alta – Financiación: Privada – Funcionalidad: privada a mixtas – tiempo: post NSR98.

Corresponde a aquellas obras residenciales ubicadas sobre aquellos sectores con mayores capacidades económicas del Valle de Aburrá, como son: El Poblado, Envigado y Sabaneta. Sobre estos sectores es común encontrar grandes proyectos de infraestructura para el máximo aprovechamiento de los terrenos en términos de capacidad habitacional. Debido a lo anterior se recurre comúnmente a la construcción de grandes muros de contención o “pantallas”, tal cual se evidencia en la Figura 7.

Los sistemas de contención en este tipo de obras no solo se realizan con el fin de establecer mayores áreas utilizables, sino para controlar las posibles afectaciones sobre los vecinos, que pueden ser tanto públicos como privados. Lo anterior representa una muy baja aceptación del riesgo y por lo tanto en una gran voluntad para pagar e intervenir el ambiente para la prevención de la materialización de la amenaza.





**Figura 7.** Ejemplo de aceptabilidad del riesgo sobre proyectos privados de capacidades económicas altas.

*Ejemplo 6: Capacidad económica: alta – Financiación: Privada – Funcionalidad: mixta – tiempo: pre NSR98.*

Este ejemplo consta en estructuras realizadas bajo condiciones y con presupuesto privado previa aplicación de la NSR98, por lo que no se obligaba el cumplimiento de esta sin importar la funcionalidad de la misma. En este tipo de proyectos es común encontrar la implementación de sistemas de contenciones económicas como son los muros en gaviones, los cuales debido a las falencias en el conocimiento del comportamiento del mismo y al alto criterio aplicado en los diseños, son altamente susceptibles a la falla, tal cual se presenta en la Figura 8.



**Figura 8.** Ejemplo de aceptabilidad del riesgo de proyectos con financiación privados con funcionalidad mixta en sectores de capacidades económicas altas previos al año 1990.

Este tipo de proyectos presentan una voluntad media a alta para aceptación al riesgo, media a baja para el pago y alta para cambiar el ambiente. Se puede decir que la aceptación del riesgo en estos casos tiende a ser involuntaria, lo cual se relaciona al desconocimiento en la época del uso de estos sistemas, lo que lleva a asumir riesgos similares a los previos privados y públicos.

*Ejemplo 7: Capacidad económica: especial – Financiación: Pública – Funcionalidad: Pública – tiempo: post NSR98 - sectores públicos de gran importancia*

Aunque la mayoría de obras de infraestructura públicas pueden ser contextualizadas bajo el estrato económico en el que se realiza, hay obras de alta importancia o “especiales” y de gran influencia en la

sociedad, como son aquellas relacionadas con el transporte masivo y corredores viales de primer orden. Aunque estas obras de infraestructura son ejecutadas por una entidad privada, los requerimientos y la voluntad de riesgo son intrínsecos de las entidades que financian este tipo de proyectos. Teniendo en cuenta lo anterior, la noción del riesgo de este tipo de infraestructura debe ser acorde a la importancia de las mismas, por lo que el ejemplo de la Figura 9 evidencia una media a baja aceptabilidad del riesgo, una alta voluntad al pago y una alta voluntad a modificar el ambiente, lo cual es acorde a la tipología de proyectos.

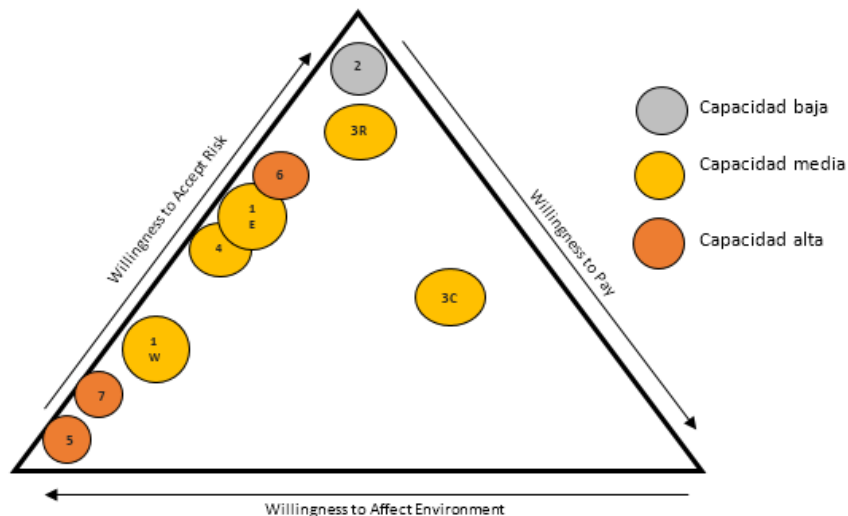


**Figura 9.** Ejemplo de aceptabilidad del riesgo de proyectos con recursos públicos de gran importancia o impacto.

**Análisis grafico de la voluntad para aceptar el riesgo según Winter & Bromhead (2012).**

Teniendo en cuenta los ejemplos anteriores, se procede con los análisis gráficos para la evaluación de la voluntad de algunos proyectos de infraestructuras en laderas según Winter & Bromhead (2012), según la capacidad económica, tipo de financiación, tipo de funcionalidad y fecha de ejecución del proyecto, donde los números corresponden a los ejemplos mencionados anteriormente<sup>1</sup>.

Análisis según la capacidad económica.



**Figura 10.** Análisis grafico de voluntades según la capacidad económica

<sup>1</sup> E=oeste W=occidente R= residente C=constructor

Las zonas con mayor capacidad económica presentan una media a baja capacidad para aceptar el riesgo, en cambio los de capacidad media presentan una aceptabilidad media y los de baja capacidad una alta aceptabilidad del riesgo, lo que evidencia que el contexto económico si es un factor importante en la aceptabilidad del riesgo sobre los proyectos de infraestructura debido al costo de las mismas y a las condiciones culturales y educativas del sector.

Tipo de financiación.

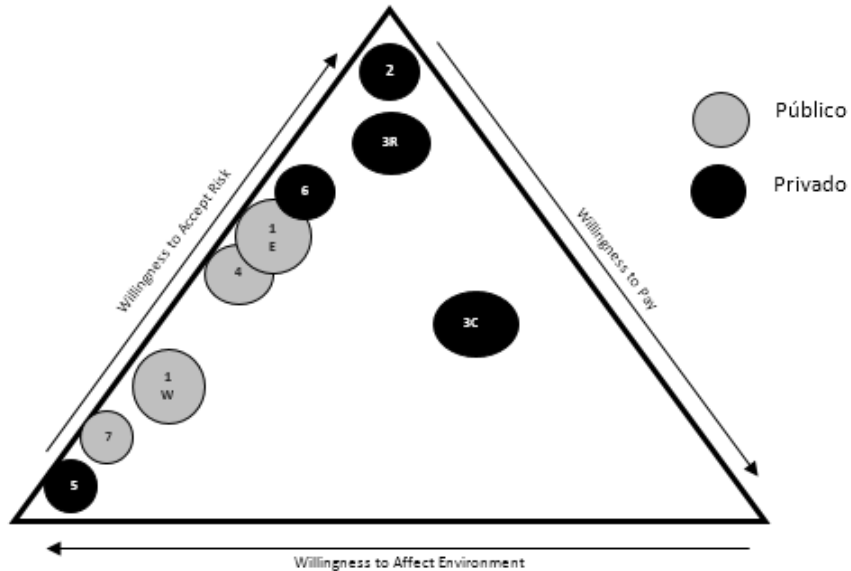


Figura 11. Análisis grafico de voluntades según tipo de financiación

La aceptabilidad del riesgo sobre obras de infraestructura con financiación pública tiene a una aceptabilidad de ser media a baja sin importar el estrato económico y uso, en cambio el privado puede presentar cualquier tipo de actitud del riesgo dependiendo de la factibilidad económica del proyecto.

Tipo de funcionalidad

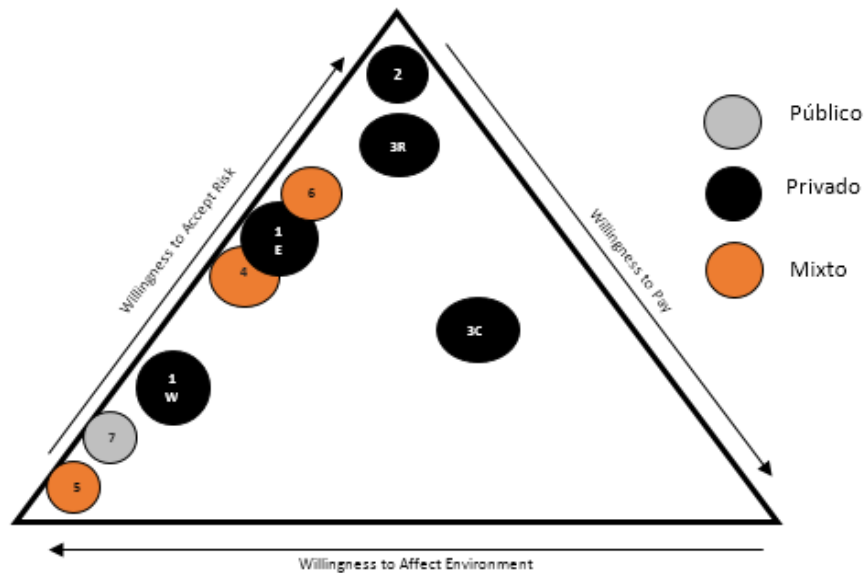
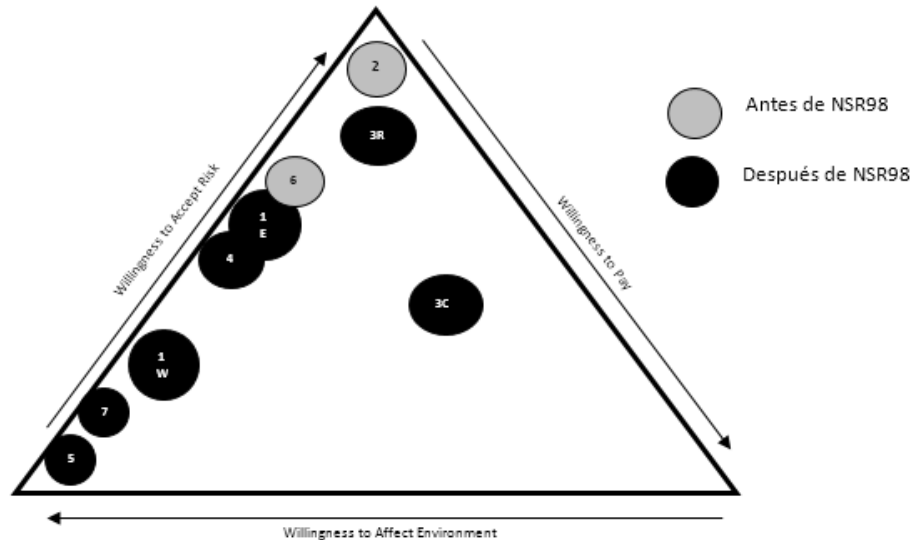


Figura 12. Análisis grafico de voluntades según tipo de financiación

La Figura 12 evidencia que cuando la funcionalidad es mixta los sistemas se encuentra en una aceptabilidad media a baja debido a la responsabilidad ante los propietarios y con las entidades gubernamentales. En cambio, cuando la funcionalidad es privada el constructor puede tomar atribuciones sobre la aceptabilidad del riesgo presentando aceptabilidades medias a altas. Por ultimo las entidades gubernamentales sobre obras de gran importancia toman una actitud de aceptabilidad baja.

#### Fecha de ejecución.



**Figura 13.** Análisis gráfico de voluntades según tipo fecha de ejecución del proyecto.

La Figura 13 evidencia que la fecha de realización puede influir sobre la voluntad al riesgo, debido a que el requerimiento de la realización de las obras geotécnicas a la luz de la norma ayuda a mitigar en la implementación de obras altamente susceptibles. A su vez, se puede evidenciar que independiente del requerimiento de las normatividades, la voluntad del riesgo se torna subjetivo y dependiente de la actitud de los usuarios y constructores.

#### **4. Conclusiones.**

En general, el hecho de realizar estructuras sobre laderas (muros de contención y edificaciones) requiere de una voluntad media a alta para la afectación del ambiente, por lo que esta evaluación no es un factor relevante para los análisis de las características de la aceptabilidad social de riesgo.

La introducción de la normatividad para obras de infraestructura y su exigencia por parte de los entes otorgadores de licencias de construcción, sin importar el estrato económico o el tipo de contratación, pueden ser un método de reducción de la aceptabilidad voluntario del riesgo. Por lo que los métodos de control por parte de las entidades públicas juegan un papel importante debido a la subjetividad para asumir el riesgo, lo que explica la aparición de proyectos de infraestructura con riesgos no tolerables independiente del tipo de financiación o año de ejecución.

Las obras pre NSR98 de estratos bajos presentan la particularidad, en algunos casos, que desde la concepción del proyecto el usuario es el mismo encargado de la construcción, lo cual debido a las falencias económicas en conjunto con la falta de control de la entidad pública, conllevan a que las nociones del riesgo del constructor se hereden al usuario final de la estructura. Lo anterior explica la

practica comun sobre estos sectores del crecimiento en altura sucesiva de las estructuras a medida que se ocupen las losas de cubierta sin estudios detallados de ingeniería.

Según los análisis realizados sobre los proyectos de infraestructura del área metropolitana, se enumera a continuación, las características de la falta de los análisis de riesgo y los diseños por confiabilidad (diseños basados en la probabilidad) en la concepción de las distintas obras de infraestructura:

- a) El ingeniero civil no es concientizado en la relación entre las herramientas estadísticas con los diseños de los elementos estructurales.
- b) La determinación de la probabilidad de ocurrencia requiere de un estudio profundo de las propiedades mecánicas del suelo para la determinación de las funciones de densidad de probabilidad para cada uno de los parámetros, lo que representa en un alto costo sobre la investigación de campo y laboratorio, lo cual puede ser económicamente inviable comparado con los costos de la competencia.
- c) Desconocimiento o falta de uso de herramientas computacionales para la transición de un diseño determinístico en un diseño basado en la probabilidad.
- d) Las normatividades locales no establecen el uso de los diseños por confiabilidad para los análisis de riesgo.
- e) La determinación de la unidad de tiempo en que la amenaza se materializa puede ser de alta complejidad ante eventos pluviométricos, por flujos regionales o por alteraciones sobre las condiciones de frontera (usos del suelo, geometría, excavaciones, vibraciones, entre otros).

#### Conclusiones sobre la actitud de los usuarios de los proyectos.

Se evidencia una notoria diferencia en la voluntad de riesgo del constructor y la del usuario final, debido a que el primero se rige entre los requerimientos de la normatividad y la economía, al cambio el usuario asume una voluntad pasiva “involuntaria” frente al riesgo. Lo anterior se debe a que el usuario no tiene en cuenta que juega un papel importante en la mitigación de la materialización del riesgo, el cual se realiza por medio de la promoción y establecimientos de los planes de mantenimiento estructural.

Los planes de mantenimiento son normalmente ausentes debido a la falta de cultura misma y a la baja voluntad al pago, la cual es indiferente a la ubicación y condición socio-económica del proyecto. Por lo tanto, al momento manifestarse una amenaza, se requiere grandes inversiones para la mitigación de la misma, la cual pudo ser prevenida por medio de inversiones constantes establecidas en los planes de mantenimiento.

Teniendo en cuenta lo anterior, la falla o comportamiento deficiente de los distintos sistemas estructurales no corresponden necesariamente a la materialización de un agente de riesgo como los sismos o deslizamientos, sino más bien a un error humano sobre la desestimación de las amenazas y consecuencias al momento de la materialización de las mismas. Por lo tanto, indiferente al tipo de proyecto y sus condiciones económicas, se debe realizar una capacitación sobre la realización de los análisis de riesgo de los proyectos desde su concepción y métodos control durante la ejecución del mismo, además de la promulgación y establecimiento de los planes de mantenimiento de acuerdo a los agentes que permiten la manifestación de la amenaza por parte del usuario final o residente.

## 5. AGRADECIMIENTOS

El autor quiere agradecer la ayuda económica a través de la beca otorgada por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación “Colciencias” por medio de la convocatoria 727 del 2015.

## 6. REFERENCIAS

- A.I.S. (2010). Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10). Colombia: A.
- AASHTO. (2012). AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. Washington, DC.
- Acevedo, A. B. (2017, June 29). Media Medellín no resistiría un terremoto. *El Colombiano*. Medellín. Retrieved from <http://www.elcolombiano.com/antioquia/obras/media-medellin-no-resistiria-un-terremoto-LN6816379>
- Aristizábal, E., & Gómez, J. (2007). Inventario de emergencias y desastres en el Valle de Aburrá . *Gestión Y Ambiente*, 10(2), 17–30.
- Elkateb, T., Chalaturnyk, R., & Robertson, P. K. (2003). An overview of soil heterogeneity : quantification and implications on geotechnical field problems. *Canadian Geotechnical Journal*, 40, 1–15. <https://doi.org/10.1139/T02-090>
- Fenton, G. A., & Griffiths, D. V. (2008). *Risk Assessment in Geotechnical Engineering*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Gobernación de Antioquia. (2013). *Anuario estadístico de Antioquia*. Medellín. Retrieved from [http://antioquia.gov.co/planeacion/ANUARIO\\_2013/es-CO/capitulos/servicios/estratificacion/cp-13-19-1.html](http://antioquia.gov.co/planeacion/ANUARIO_2013/es-CO/capitulos/servicios/estratificacion/cp-13-19-1.html)
- ISO. Riks management - Principles and guidelines (2009). Switzerland.
- Kloukinas, P., Scotto di Santolo, A., Penna, A., Dietz, M., Evangelista, A., Simonelli, A. L., ... Mylonakis, G. (2015). Investigation of seismic response of cantilever retaining walls: Limit analysis vs shaking table testing. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 77, 432–445. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2015.05.018>
- Lacasse, S., & Nadim, F. (1998). Risk and reliability in geotechnical engineering. *Geotechnical Engineering*, 1172–1192.
- Morgenstern, N. R. (2000). Performance In Geotechnical Pradlce. In *The inaugural Lumb lecture* (pp. 37–41). Hong Kong Institution of Engineers.
- Phoon, K.-K., & Kulhawy, F. H. (1999). Characterization of geotechnical variability. *Canadian Geotechnical Journal*, 36, 612–624. <https://doi.org/10.1139/t99-038>
- Stern, P. C., & Fineberg, H. (1996). *Understanding Risk: Informing Decisions in a Democratic Society*. National Academies Press.
- Winter, M. G., & Bromhead, E. N. (2012). Landslide risk : some issues that determine societal acceptance. *Natural Hazards*, 62, 169–187. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9987-1>